

DOCUMENTO SIRM

AUTOPSIA VIRTUALE

INDIRIZZI TECNICI E ORGANIZZATIVI

REDAZIONE

Zairo Ferrante, Laura Filograna, Federica Fuzzi,
Claudia Giaconi, Claudio Gardina, Giuseppe Lo Re,
Francesco Monteduro, Placido Romeo

REVISIONE

Corrado Bibbolino, Stefano Canitano, Antonio Pinto

Documento approvato dal CD SIRM in data 21/05/2021

Documento SIRM

AUTOPSIA VIRTUALE. INDIRIZZI TECNICI E ORGANIZZATIVI

REDAZIONE

Zairo Ferrante, Laura Filograna, Federica Fuzzi,
Claudia Giaconi, Claudio Giardina, Giuseppe Lo
Re, Francesco Monteduro, Placido Romeo

REVISIONE

Corrado Bibbolino, Stefano Canitano, Antonio
Pinto

Documento approvato dal CD SIRM in data 21/05/2021

INDICE

INTRODUZIONE	pag. 3
LE FIGURE COINVOLTE	pag. 6
PROTOCOLLO WHOLE BODY PMTC	pag. 10
PROTOCOLLO DELLA WB-PMTC NELL'ADULTO	
PROTOCOLLO WB-PMTC NEL BAMBINO	
CONCLUSIONI	
INDICAZIONI ALL'AUTOPSIA VIRTUALE	pag. 15
IDENTIFICAZIONE	
LESIONI D'ARMA DA FUOCO	
GRANDI TRAUMATISMI	
SINDROME DEL BAMBINO BATTUTO	
ANNEGAMENTO	
ASFISSIA	
CARBONIZZAZIONE	
EMBOLIA GASSOSA	
IL REFERTO	pag. 20
STUDIO DEI PROCESSI ORGANIZZATIVI IN AUTOPSIA VIRTUALE	pag. 23
RICHIESTA	
INSERIMENTO IN RIS-PACS E PRIVACY	
POST-PROCESSING E REFERTAZIONE	
AZIENDA E ISTITUZIONI	
CONSIDERAZIONE SUGLI ASPETTI ECONOMICI	pag. 27

INTRODUZIONE

Tra la fine dello scorso millennio e l'inizio del nuovo, la radiologia forense ha mostrato un rapido, progressivo e diffuso utilizzo in ambito legale, diventando una realtà pressoché imprescindibile nella giornaliera attività giudiziaria e forense.

La radiologia forense, infatti, ha mostrato una sua significativa specificità di utilizzo fin dagli albori delle scienze radiologiche stesse, tanto da essere stata utilizzata per la prima volta già nel 1895, anche se con utilizzo limitato prevalentemente alla ricerca di corpi estranei, proiettili o di lesività traumatica e/o cronica ossea.

La collaborazione tra medico legale e specialista radiologo rappresenta, oggi, una realtà quotidiana in molti ambiti: dallo svolgimento di azioni di responsabilità civile o privata, ai casi di responsabilità medica, alla valutazione di resti umani o corpi esanimi per fini forensi.

“La particolare sinergia tra il radiologo e il medico legale è radicata in uno dei principi cardinali della medicina legale: la verifica del nesso causale.”

In ambito clinico - assicurativo, per esempio, il medico-legale spesso ha solo una descrizione frammentata e incompleta dell'evento traumatico o clinico, in più le indagini diagnostiche eseguite, sono state condotte per scopi diagnostici e terapeutici, a volte in urgenza, e certamente non allo scopo di stabilire un nesso causale o cronologico con un dato evento traumatico.

L'esatta etiologia e la valutazione cronologica di una lesione o di una situazione pregiudizievole, infatti, hanno un'importanza fondamentale nel campo medico legale e assicurativo: la diagnosi di patologia naturale preesistente o il riscontro di una causa esterna risultano importanti per l'identificazione di lesioni personali nei casi penali, per gli infortuni sul lavoro nel campo dell'assicurazione sociale e nel privato (ad es. diritto dell'assicurato all'indennità).

In ambito forense l'autopsia medico-legale costituisce una fonte insostituibile di prove in tutti i casi di morte non naturale evidente o sospetta.

L'autopsia medico-legale ha lo scopo infatti di evidenziare e documentare tutti gli elementi utili per definire:

- causa della morte e mezzi che l'hanno determinata;
 - la modalità dell'evento,
 - l'epoca della morte,
- ma anche
- rilevare oggetti, strumenti o tracce connesse con il crimine;
 - recuperare, identificare e conservare materiale probatorio;
 - provvedere alla interpretazione ed alla correlazione di fatti e circostanze relative alla morte;
 - evidenziare fattori concausali che hanno favorito o modificato l'effetto delle lesioni;
 - identificare la vittima;
 - rilevare elementi utili per identificare l'autore o gli autori del crimine.

Il radiologo specializzato, sempre più frequentemente, è chiamato a collaborare nello svolgimento di valutazioni strumentali ex novo o come seconda valutazione per riesaminare le possibili dinamiche o scenari non presi precedentemente in considerazione.

L'introduzione in pratica clinica delle metodiche tomografiche, di tomografia computerizzata e di risonanza magnetica, ha dato nuovo sprone all'uso forense delle tecniche radiologiche portando allo sviluppo del concetto di virtopsy, neologismo formato dai termini "virtual" ed "autopsy".

Nella fusione, viene eliminato il termine "auto" per sottolineare il superamento di uno dei limiti propri dell'autopsia, e cioè la soggettività dell'esame.

Per virtopsy, infatti, si intende dunque la possibilità di una valutazione cadaverica, minimamente od addirittura non invasiva, che spesso precede l'atto autoptico medico-legale convenzionale.

Il ruolo particolarmente importante della virtopsy è anche stato delineato da numerosi significativi lavori di letteratura scientifica. Un recente studio del 2012 ha infatti evidenziato una concordanza forense convenzionale – radiologica nella valutazione delle cause di morte del 68% con l'utilizzo delle metodiche TC e del 57% con l'utilizzo delle metodiche RM.

Una delle prime esperienze in questo campo è stata quella dell'Istituto di medicina legale dell'Università di Berna che a metà degli anni '90 ha dato vita a un progetto di ricerca, chiamato Virtopsy Project per dimostrare i vantaggi derivanti dall'uso di metodi radiologici non invasivi o minimamente invasivi in campo forense, come TC MultiSlice, MRI, tecniche di contrasto.

Queste metodiche offrono maggiori vantaggi rispetto alla radiologia convenzionale minimizzando il limite rappresentato dalla soggettività.

La tomografia computerizzata (CT) e, anche se con utilizzo meno diffuso, la risonanza magnetica (MRI), consentono un approccio non invasivo il che permette non solo di eseguire l'esame su un corpo senza il deterioramento dei tessuti, ma risulta una pratica maggiormente accettata da parte dei familiari.

Permettono inoltre una valutazione sistematica di tutto il corpo in tempi molto brevi con la possibilità di memorizzare i dati grezzi, che possono essere trasmessi a distanza e visionati in seguito e da figure specializzate differenti; consentono inoltre di eseguire il post processing fornendo immagini esaustive e di facile comprensione anche per le figure lavorative non mediche, ad esempio permettono la descrizione e ricostruzione dettagliata delle lesioni politraumatiche, l'identificazione dei cadaveri in caso di eventi catastrofici di massa, permettono di togliere virtualmente vestiti e cute, separare regioni selezionate del corpo dal resto, fare ricostruzioni delle immagini 3D etc...

Tuttavia, va ricordato che l'autopsia giudiziaria non è solo necessaria, ma è insostituibile. La virtopsy, non alterando alcun reperto utile ai fini medico-legali, può essere considerata

un tassello importante nella comprensione delle cause e dinamiche di morte proponendosi come valido ausilio e non come atto sostitutivo.

In conclusione, non esiste un campo della medicina legale in cui non sia utile ricorrere allo specialista radiologo la cui valutazione, come abbiamo visto, è decisiva nel decidere molte questioni assicurative, di diritto civile e forensi in relazione all'attuazione della qualità di l'indagine medico-legale.

Bibliografia essenziale

1. Brough, AL, Morgan, B. & Ruty, GN (2015) Postmortem computed tomography (PMCT) and disaster victim identification. *Radiol Med* 120:866–873.
2. Chesne A, Benthaus S, Brinkmann B (1999) Manipulated radiographic material—capability and risk for the forensic consultant. *Int J Legal Med* 112, 329–332
3. De Marco, E., Vacchiano, G., Frati, P et al (2018) Evolution of post-mortem coronary imaging: from selective coronary arteriography to post-mortem CT-angiography and beyond. *Radiol Med* 123:351–358.
4. Lo Re G, Argo A, Midiri M et al *Radiology in Forensic Medicine: From Identification to Post-mortem Imaging*. Springer, 2020
5. Kahana T, Goldstein S, Kugel C et al (2002) Identification of human remains through comparison of computerized tomography and radiographic plates. *J Forensic Ident* 52, 151–158.
6. La Russa R, Catalano C, Di Sanzo M et al (2019) Postmortem computed tomography angiography (PMCTA) and traditional autopsy in cases of sudden cardiac death due to coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis. *Radiol Med* 124:109–117.
7. Madea B (2012) Histology in forensic practice. *For Sci Med Pathol* 8: 64–65
8. Madea B, Preuss J (2009) Medical malpractice as reflected by the forensic evaluation of 4450 autopsies. *Forensic Sci Int* 190(1-3):58-66.
9. Madea B, Rothschild M (2010) The post mortem external examination: determination of the cause and manner of death. *Dtsch Arztebl Int* 107:575-86; quiz 587-8.
10. Malgora, S, Gibelli, D, Floridi, C et al (2020) CT examination and 3D analysis of Egyptian animal mummies. *Radiol Med* 125:943–950
11. Moch H (2013) Autopsie und moderne Medizin. In: Tag B, Mausbach J, Moch H (Hrsg.) *Autopsie und Religion. Die Sektion aus medizinischer, ethischer und religiöser Sicht*.
12. Olivetti L, Fileni A, De Stefano F et al (2008) The legal implications of error in radiology. *Radiol Med* 113:599–608.
13. Thali MJ, Yen K, Vock P et al. (2003) Image-guided virtual autopsy findings of gunshot victims performed with multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging and subsequent correlation between radiology and autopsy findings. *Forensic Sci Int*, 138, 8–16.

LE FIGURE COINVOLTE

Oggi, le tecniche di imaging sono considerate una modalità investigativa di routine in molti istituti di medicina legale in tutto il mondo. Stati Uniti, Svizzera, Regno Unito, Germania, Svezia, Danimarca, Australia e Giappone hanno introdotto varie tecnologie d'imaging dedicate nel processo di esame forense.

Le potenzialità dell'introduzione delle tecniche di imaging nelle indagini forensi erano chiare già da pochi anni dopo la scoperta dei raggi X da parte di Roentgen nel 1895. Nello stesso anno, i raggi X furono usati per la documentazione di proiettili ritenuti all'interno del corpo e nel 1896 queste metodiche d'imaging sono entrate nelle aule di tribunale degli Stati Uniti e nel Regno Unito come mezzo di prova per indagini relative a casi di ferite da arma da fuoco. Inoltre, nel 1986 questa tecnica di imaging è stata utilizzata per la stima dell'età ossea e nel 1920 a scopo identificativo con lo studio della morfologia dei seni paranasali.

Tuttavia, il vero impulso per un uso più ampio ed efficace delle tecniche d'imaging nella medicina legale è stato fornito dalla scoperta della tomografia computerizzata (TC) nel 1971, e in particolare dall'introduzione della tecnologia TC spirale nel 1989, grazie alla sua capacità di fornire un'immagine tridimensionale delle strutture corporee.

Fra il 1970 ed il 1980 sono stati pubblicati, dunque, molti lavori scientifici sul tema della radiologia forense. Proprio gli stessi stimoli hanno spinto nei primi anni '90 il Direttore dell'istituto di medicina legale dell'università di Berna, all'epoca il prof. Dirnhofer, ad iniziare un progetto con la Polizia di Zurigo volto a documentare in maniera tridimensionale corpi ed oggetti con la fotogrammetria ed il 3D surface scanning. Pochi anni dopo questo progetto ebbe una evoluzione che segnò la nascita della Virtopsy. In particolare, fu creato un sodalizio fra gli istituti di medicina legale e quello di radiologia dell'Università di Berna con l'obiettivo di documentare reperti d'interesse forense desunti dall'imaging corporeo di TC e RM. Lo studio 3D della superficie corporea veniva a sommarsi a quello dello studio 3D intracorporeo.

Per quanto riguarda le tecnologie di risonanza magnetica (RM), scoperte da Lauterbur e Mansfield nel 1973, e clinicamente impiegate per la prima volta nei primi anni '80, solo nel 1990 sono entrate a far parte delle indagini forensi con lo studio di Ros et al., che propose la RM come tecnica pre-autopsia, con risultati promettenti.

Tuttavia, poiché l'imaging TC è una tecnica in grado di fornire in pochissimo tempo una rappresentazione completa di tutto il corpo con una raffigurazione dettagliata del sistema scheletrico e delle principali alterazioni parenchimali, essa rappresenta la tecnica di imaging più frequentemente utilizzata nella pratica di routine delle istituzioni forensi di tutto il mondo.

Sebbene la RM sia in grado di fornire una rappresentazione perfetta della patologia dei tessuti molli, a causa dei suoi lunghi tempi di esecuzione e dei relativi costi, non è disponibile in maniera capillare sul territorio per uso clinico o forense, ed addirittura, specialmente all'interno degli istituti di medicina legale, con rarissime eccezioni, come accade a Zurigo e Berna. Di conseguenza, il suo impiego in ambito post mortale è in realtà limitato a specifici campi d'indagine e perlopiù allo studio di singoli distretti corporei, e.g. cuore o cervello.

Mentre la TC post-mortem TPCM è molto utile per analizzare le morti violente a causa della sua eccellente visualizzazione di lesioni traumatiche scheletriche, gas intravascolare, corpi estranei, presenta alcuni limiti nell'indagine sulle morti naturali, in particolare legati alla scarsa capacità di distinguere sottili alterazioni densitometriche focali nei tessuti molli e di rappresentare lesioni vascolari.

Pertanto, nel 2005 Jackowski, all'interno del gruppo di ricerca virtopsy sotto la guida del Prof. Thali, l'erede del Prof. Dirnhofer, ha introdotto l'angiografia TPCM come una nuova tecnica supplementare al TPCM per superare questi limiti. Da allora, la stessa tecnica è stata migliorata e sono state proposte altre metodologie di angiografia TPCM su tutto il corpo. Queste tecniche differiscono per il tipo di mezzo di contrasto intravascolare utilizzato, il metodo di iniezione / propulsione del mezzo di contrasto.

Sebbene la TPCM, eventualmente implementata con angiografia TPCM, e la RM post-mortem (RMPM) siano in realtà considerate uno strumento molto utile nelle indagini forensi, un grande limite di queste tecniche è il fatto di non fornire una documentazione di reperti istopatologici o campioni corporei per analisi tossicologiche o microbiologiche. In effetti, la loro risoluzione dell'immagine non è sufficiente per dimostrare un'alterazione patologica a livello microscopico cellulare o ancor più molecolare.

Dal 2007, lo stesso gruppo svizzero guidato dal Prof. Thali ha pubblicato numerosi studi, dimostrando che la biopsia post mortem è in grado di fornire campioni istologici di tessuto idonei all'esame istologico e di condurre conclusioni forensi con una tecnica minimamente invasiva. Pertanto, la biopsia post-mortem è stata suggerita come metodo prezioso in aggiunta alla TPCM e infine all'angiografia TPCM come utile tecnica ausiliaria dell'autopsia virtuale per aumentarne le potenzialità.

Dunque, attualmente, le tecniche utilizzate in autopsia virtuale sono le seguenti: TC, RM, fotogrammetria e 3D surface scanning, angiografia TC, biopsia percutanea TC guidata e non. A queste si aggiungono, a livello del tutto sperimentale, micro TC e micro RM.

Questo è tutto l'insieme delle tecniche che posso essere applicate in autopsia virtuale. Dunque, indubbiamente molteplici sono le figure professionali coinvolte in un'autopsia virtuale, come del resto accade per certi aspetti nelle indagini forensi classiche. Naturalmente, ogni autopsia virtuale si fonda sulla professionalità di radiologo e medico-legale, ma anche il tecnico di radiologia, il tecnico di sala settoria, ma anche l'esperto di balistica, l'ingegnere ecc. Tuttavia, se poi si focalizza l'attenzione specificatamente sull'indagine dell'autopsia virtuale mediante esame TPCM total body, i passaggi principali che la caratterizzano sono i seguenti e coinvolgono in senso stretto differenti figure professionali.

Dopo l'esame esterno il medico legale ne comunica i risultati al radiologo che si occupa del caso, il quale esegue preferibilmente con l'aiuto di un tecnico l'esame TC total body sul cadavere, spesso all'interno degli istituti di radiologia, con ovvi problemi organizzativi e burocratici relativi all'impiego di macchinari presi in prestito all'attività clinica ed inerenti alla movimentazione del cadavere. I risultati preliminari dell'imaging TC sono riportati dal radiologo al medico legale, che insieme decidono sull'opportunità di procedere con le tecniche ausiliarie (angio-tc postmortale e/o biopsia percutanea, eventualmente TC guidata, qualora ne riscontrassero indicazione e ce ne fosse la possibilità), evento che spesso non accade in Italia, purtroppo. A questo punto, viene effettuata l'autopsia classica

dopo la quale il medico legale ed il radiologo discutono i risultati delle rispettive indagini per raggiungere conclusioni comuni preliminari.

In conclusione, l'autopsia virtuale TC è un utile strumento per le indagini forensi su cadavere. L'effettuazione di una autopsia virtuale TC richiede una sinergia fra medico legale, radiologo, tecnico di radiologia, tecnico di sala settoria, ecc. Imprescindibile è sicuramente una stretta collaborazione fra medico legale e radiologo; entrambe queste figure devono essere formate in radiologia forense, non solo per un'appropriata applicazione delle corrette procedure e dei protocolli, ma anche per il riconoscimento delle appropriate indicazioni della TCRM e delle sue tecniche ancillari.

Bibliografia essenziale

1. Aghayev E, Ebert LC, Christe A, et al. (2008) CT data-based navigation for post-mortem biopsy-a feasibility study. *J Forensic Leg Med*;15:382-7.
2. Aghayev E, Thali MJ, Sonnenschein M et al (2007) Post-mortem tissue sampling using computed tomography guidance. *Forensic Sci Int* 166:199-203.
3. Ampanozi G, Hatch GM, Flach PM et al (2015) Postmortem magnetic resonance imaging: Reproducing typical autopsy heart measurements. *Leg Med (Tokyo)*17:493-8.
4. Ampanozi G, Ruder TD, Preiss U et al (2010) Virtopsy: CT and MR imaging of a fatal head injury caused by a hatchet: A case report. *Leg Med (Tokyo)*; 12(5):238-41.
5. Bolliger SA, Filograna L, Spendlove D et al (2010) Post-mortem image-guided biopsy as an adjuvant to minimal invasive autopsy with computed tomography and post-mortem angiography: a feasibility study. *AJR* 195:1051-6.
6. Bolliger SA, Tomasin D, Heimer J et al (2018) Rapid and reliable detection of previous freezing of cerebral tissue by computed tomography and magnetic resonance imaging. *Forensic Sci Med Pathol* 14:85-94.
7. Crooijmans HJ, Ruder TD, Eggert S et al (2013) Feasibility of post mortem cardiac proton density weighted fast field echo imaging in two cases of sudden death. *Leg Med (Tokyo)* 15:310-4.
8. Filograna L, Bolliger SA, Kneubuehl B et al (2012) A minimally invasive technique for the detection and analysis of pulmonary fat embolism: a feasibility study. *J Forensic Sci* 57:1329-35.
9. Grabherr S, Doenz F, Steger B et al (2011) Multi-phase post-mortem CT angiography: development of a standardized protocol. *Int J Legal Med* 125:791-802.
10. Iizuka K, Sakamoto M, Kawasaki H et al (2009) Examination of the usefulness of the contrast-enhanced Post mortem CT imaging diagnosis. *Innervision* 24:89-92
11. Jackowski C, Bolliger S, Aghayev E et al (2006) Reduction of postmortem angiography-induced tissue edema by using polyethylene glycol as a contrast agent dissolver. *J Forensic Sci* 51:1134-1137.
12. Jackowski C, Persson A, Thali MJ (2008) Whole body postmortem angiography with a high viscosity contrast agent solution using polyethylene glycol as contrast agent dissolver. *J Forensic Sci* 53:465-468.
13. 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*; 50:1175-1186.
14. Ros PR, Li KC, Vo P, et al (1990) Preautopsy magnetic resonance imaging: Initial experience. *Magn Reson Imaging* 8:303-308
15. Ross S, Spendlove D, Bolliger S et al (2008) Postmortem whole-body CT angiography: evaluation of two contrast media solutions. *AJR Am J Roentgenol* 190:1380-1389.
16. Ruder TD, Ebert LC, Khattab AA et al (2013) Edema is a sign of early acute myocardial infarction on post-mortem magnetic resonance imaging. *Forensic Sci Med Pathol* 9:501-5.
17. Rutty GN, Morgan B, O'Donnell C, et al (2008) Forensic institutes across the world place CT or MRI scanners or both into their mortuaries. *J Trauma* 65:493-494

18. Schueller A (1921) Das Roentgenogramm der Stirn hoehle. Ein Hilfsmittel fuer die Identitaets bestimmung von Schaedeln. Mschr Ohrenheilk 55:1617-1620
19. Schwendener N, Jackowski C, Persson A et al (2017) Detection and differentiation of early acute and following age stages of myocardial infarction with quantitative post-mortem cardiac 1.5T MR. Forensic Sci Int 270:248-254.
20. Schwendener N, Jackowski C, Schuster F et al (2017) Temperature-corrected post-mortem 1.5 T MRI quantification of non-pathologic upper abdominal organs. Int J Legal Med 131:1369-1376.
21. Shelmerdine SC, Hutchinson JC, Al-Sarraj S et al (2018) British Neuropathological Society and International Society of Forensic Radiology and Imaging. British Neuropathological Society and International Society of Forensic Radiology and Imaging expert consensus statement for post mortem neurological imaging. Neuropathol Appl Neurobiol. 44:663-672
22. Thali MJ, Yen K, Schweitzer W et al (2003) Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI)--a feasibility study. J Forensic Sci 48:386-403.
23. Tschui J, Jackowski C, Schwendener N et al (2016) Post-mortem CT and MR brain imaging of putrefied corpses. Int J Legal Med 130:1061-1068.
24. Zech WD, Hottinger AL, Schwendener N et al (2016) Post-mortem 1.5T MR quantification of regular anatomical brain structures. Int J Legal Med 130:1071-1080.
25. Zech WD, Schwendener N, Persson A et al (2015) Postmortem MR quantification of the heart for characterization and differentiation of ischaemic myocardial lesions. Eur Radiol 25:2067-73.

PROTOCOLLO WHOLE BODY PMTC

L'autopsia virtuale TC consiste nel sottoporre il cadavere ad esame TC total body, generalmente prima dell'autopsia classica.

La TC risulta essere indubbiamente la tecnica cardine in autopsia virtuale, non solo per la sua maggiore diffusione sul territorio (soprattutto se si pensa all'apparecchiatura RM), ma soprattutto per la sua capacità di fornire in pochi secondi una rappresentazione completa dell'intero sistema scheletrico anche in 3D e di identificare lesioni parenchimali maggiori. In particolare, la TC è la metodica d'imaging più frequentemente applicata in ambito forense nell'analisi di casi di morte violenta, per la sua capacità di identificare lesioni traumatiche scheletriche, gas intravascolare, corpi estranei.

Solo attraverso la standardizzazione ed uniformità di tecniche e protocolli, in Italia come nel mondo, è possibile ottenere risultati di valenza forense in autopsia virtuale.

Naturalmente, ci sono delle variabilità legate sia al cadavere, sia alla macchina, sia a vincoli burocratico-organizzativi (macchinari TC dedicati o non-dedicati), legati alle singole realtà italiane, che possono influenzare il protocollo da applicare.

I protocolli proposti in questa sezione sono desunti dalla letteratura e dalla esperienza personale di chi scrive.

E' necessario a tale proposito fare una opportuna distinzione fra il protocollo di acquisizione su cadavere di adulto e di bambino.

Preme a questo punto sottolineare che, sebbene possa esserci in qualche caso il tentativo da parte dell'autorità giudiziaria o del medico legale, di richiedere l'esame TC di un singolo segmento corporeo e non la TC total body, questo deve essere evitato. Non solo per una questione concettuale, e cioè come in autopsia classica si procede all'esame dell'intero cadavere, così è plausibile che l'autopsia virtuale debba comprendere l'intero volume corporeo, ma anche per una motivazione scientifica, in quanto come sappiamo bene spesso alterazioni all'imaging di diversi distretti corporei sono correlate fra di esse in maniera rilevante dal punto di vista forense.

Protocollo della TCPM nell'adulto

Prima di tutto, si vuole rimarcare che qualsiasi protocollo dovrebbe essere mirato all'ottimizzazione dell'acquisizione, in modo da rendere l'esame il più diagnostico possibile. In quest'ottica il protocollo messo a punto dal gruppo del Prof. Thali in Svizzera, ove è disponibile apparecchiatura dedicata, è il seguente, riportato nella pubblicazione della dr.ssa Flach del 2014, e dalla più recente pubblicazione del medesimo gruppo è riportato di seguito e riassunto nella relativa tabella (tabella 1). Esso consta di vari step.

Tabella 1: whole body TCPM dell'adulto

Acquisizione/Ricostruzione								
	Distretto	FoV	kV	mAs	Pitch	SL (mm)	I (mm)	Kernel
Step 1	Whole body	eFoV	120	≈400	0.35	2	1	Soft (B30)
								Hard (B50)
Step 2	Testa e Collo	Max 300 mm	120	≈80	0.35	0.6	0.4	Soft (H31)
								Hard (H60)
Step 3	Torace e Addome	Max 500 mm	120	≈400	0.35	1	0.6	Soft (B30)
								Hard (B60)

SL: slice thickness; I: increment

Step 1:

Il protocollo di acquisizione PMTC prevede una prima acquisizione dell'intero volume corporeo, includendo per quanto possibile gli arti superiori, che dovrebbero essere idealmente posizionati lungo i fianchi o incrociati anteriormente, e cercando di posizionare il cranio in asse. Questo naturalmente potrebbe implicare una certa manipolazione del cadavere contenuto nel sacco; tuttavia questa deve essere evitata nel caso di traumatismi maggiori a carico del cranio e delle strutture scheletriche degli arti superiori. Il protocollo di acquisizione PMTC prevede una prima acquisizione dell'intero volume corporeo, con FoV in massima estensione, al fine di non escludere dal volume acquisito alcuna regione corporea. Se l'escursione del lettino non lo dovesse consentire (macchinari con meno di 16 strati), a questo fine, è necessario ruotare il cadavere di 180 gradi e procedere con un'acquisizione cranio-caudale dalla punta dei piedi fino al III medio di coscia, in modo da ottenere immagini anche sull'intero volume degli arti inferiori, eventualmente esclusi nella prima acquisizione. Saranno poi effettuate ricostruzioni con kernel di ricostruzione per i tessuti molli (B30) e con kernel per osso (B50). E' possibile in questo modo ottenere ricostruzioni in volume rendering dell'intero scheletro, che molta importanza può avere a fini espositivi, didattici e anche per fornire una immediata overview dei vari foci lesivi nei casi di trauma.

Step 2:

Successivamente, è consigliabile effettuare un'acquisizione dedicata al distretto cranio-collo, a FoV ristretto per ottenere una maggiore qualità delle immagini e ridurre gli artefatti originanti dalle ossa della base cranica. Anche in questo caso, le immagini potranno poi essere ricostruite con kernel per i tessuti molli (H31) e con kernel per osso (H60) e in volume rendering.

Step 3:

Infine, si suggerisce di procedere con un'acquisizione dedicata e con FoV opportunamente ristretto, su torace ed addome, previo sollevamento delle braccia del cadavere al di sopra dei cingoli scapolari, per ottenere una migliore qualità delle immagini. Ricostruzioni dedicate per osso, polmone e tessuti molli, e volume rendering potranno essere poi ottenute dalle immagini acquisite.

Naturalmente, acquisizioni aggiuntive dedicate, ad esempio dental scan, acquisizione su un segmento corporeo come collo, estremità, ecc. e specifiche ricostruzioni, ad esempio sulla colonna, potranno essere ottenute in base alle esigenze del caso.

Chiaramente, o per motivi burocratici ed amministrativi (ad esempio, per problemi di igiene e tutela degli operatori e dei pazienti, come nel caso di apparecchiature che devono essere utilizzate subito dopo per la routine clinica), o per motivi legati al cadavere, non sempre è possibile modificare la posizione del cadavere, aprendo il sacco in cui è contenuto e movimentarne gli arti o il cranio, come ad esempio in cadaveri in avanzato stato di decomposizione o quando massivi effetti di carbonizzazione sono presenti. Dunque, nel caso in cui il sacco in cui è contenuto il cadavere non possa essere aperto come più spesso accade in Italia, si suggerisce comunque di applicare il protocollo di acquisizione descritto, negli step 1 e 2.

Protocollo della TCPM nel bambino

Dalla collaborazione fra la European Society of Paediatric Radiology (ESPR) and International Society for Forensic Radiology and Imaging (ISFRI) è nato nel 2019 un protocollo di acquisizione della autopsia virtuale TC in condizioni di base nel bambino. Il gruppo di studio, dopo aver esaminato i vari protocolli applicati nei vari centri che compiono questo tipo di indagini, ha estrapolato una linea prevalente. A differenza degli adulti, in ambito pediatrico da questa survey è emerso come possa essere sufficiente una sola acquisizione total body (tabella 2), con algoritmi di ricostruzione separati per l'encefalo ed il corpo. Alcuni centri, tuttavia, fanno seguire un'acquisizione dedicata sull'encefalo, come riportato di seguito e nella tabella 2 (tabella 2).

Tabella 2: whole body TCPM del bambino.

Acquisizione/Ricostruzione								
	Distretto	FoV	kV	mAs	Pitch	SL (mm)	I (mm)	Kernel
Step 1	Whole body	aFoV	120	≥250	0.5-0.8	≤0.75	0.4	Soft (B25)
								Hard (B50)
(Step 2)	Testa e Collo	Max 300 mm	120	>250	0.35	0.6	0.4	Soft (H31)
								Hard (H50)

SL: slice thickness; I: increment

Step 1:

Per quanto riguarda il bambino vi è in generale accordo sul protocollo di acquisizione PMTC che prevede una prima acquisizione dell'intero volume corporeo, con FoV aggiustato per coprire l'intero volume corporeo, restringendo al massimo il FoV. Saranno poi effettuate ricostruzioni con kernel di ricostruzione per i tessuti molli (B25) e con kernel per osso (B50).

Step 2:

Successivamente, si può procedere o con un'acquisizione dedicata sul distretto testa collo oppure si possono effettuare opportune ricostruzioni. In ogni caso, le immagini potranno poi essere ricostruite con kernel per i tessuti molli (H31) e con kernel per osso (H50).

Conclusioni

Questi protocolli di acquisizione di una autopsia virtuale mediante TCPM nell'adulto e nel bambino intendono fornire un modello guida volto alla standardizzazione delle tecniche e procedure di TCPM applicate all'analisi forense, al fine di suggerire un protocollo unitario nei vari centri che in Italia effettuano in via routinaria o meno l'autopsia virtuale mediante TCPM.

Naturalmente, come anticipato, non sempre per motivi organizzativi e burocratici, oppure legati al cadavere ed al caso particolare, è possibile applicare in maniera rigorosa il protocollo suggerito. Margini di flessibilità devono essere applicati in base alle necessità del caso o della realtà scientifica in cui l'autopsia virtuale viene ad essere eseguita. Il principio fondamentale che deve, tuttavia, essere considerato una regola imprescindibile in ogni esame TCPM in autopsia virtuale è che ciascun protocollo venga applicato, questo, come anticipato, deve essere volto alla ottimizzazione delle immagini ed al raggiungimento di una adeguata qualità diagnostica dell'esame, al fine di poter fornire in maniera confidente risultati validi ed utili alle indagini forensi.

Bibliografia essenziale

1. Filigrana L, Pugliese L, Muto M et al (2019) A Practical Guide to Virtual Autopsy: Why, When and How. *Semin in Ultrasound CT MRI* 40:56-66.
2. Flach PM, Gascho D, Schweitzer W et al (2014) Imaging in forensic radiology: an illustrated guide for postmortem computed tomography technique and protocols. *Forensic Sci Med Pathol* 10:583-606.
3. Gascho D, Thali MJ, Niemann T (2018) Post-mortem computed tomography: Technical principles and recommended parameter settings for high-resolution imaging. *Med Sci Law* 58:70-82.
4. Shelmerdine SC, Gerrard CY, Rao P et al (2019) Joint European Society of Paediatric Radiology (ESPR) and International Society for Forensic Radiology and Imaging (ISFRI) guidelines: paediatric postmortem computed tomography imaging protocol. *Pediatr Radiol* 49:694-701.

INDICAZIONI ALL'AUTOPSIA VIRTUALE

I principali obiettivi della medicina forense sono documentare, analizzare e correlare le prove medico-scientifiche, sia che si tratti di soggetti viventi che di persone decedute, presentandole in un modo facilmente comprensibile in un'aula giudiziaria. Gli obiettivi principali di questa metodica nei casi giudiziari sono identificare il soggetto, determinare la causa e le modalità di morte, valutare la presenza di segni vitali a carico delle strutture anatomiche lesionate e sviluppare una ricostruzione forense coerente sulla base dei diversi reperti analizzati. Qui di seguito riassumiamo i principali obiettivi dell'autopsia virtuale.

- Identificazione del o dei soggetti
- Documentazione iconografica
- Causa e modalità di decesso quale esito di differenti modalità
- Ricerca di segni vitali a carico delle strutture anatomiche lesionate
- Ricostruzione forense
- Istruzione
- Ricerca

Analizzeremo quindi le singole indicazioni:

Identificazione

L'identificazione rappresenta il diritto degli esseri umani di non perdere la loro identità dopo la morte, ma soprattutto il diritto delle famiglie di sapere cos'è accaduto ai loro cari in ogni circostanza. A tal fine è fondamentale che sulla scena del crimine collaborino strettamente patologi forensi, tecnici e forze di dell'ordine. "La diagnosi più importante nella vita di ognuno è l'ultima". Solo tre metodiche vengono considerate sicure come metodi identificativi: l'analisi del DNA, il confronto delle impronte digitali e l'analisi dentaria. Altre tecniche frequenti nella pratica forense sono il confronto con i parenti, l'esame degli indumenti e il riconoscimento caratteristiche fisiche: tatuaggi, cicatrici, piercing; ma tali metodi vengono utilizzati quando esiste già un'elevata sicurezza riguardo l'identità. Nei casi di massima incertezza possiamo ipotizzare due scenari possibili: quello in cui vi sia un singolo corpo sconosciuto e allora effettueremo il confronto tra dati ante e post-mortem e in caso di disastri di massa, ipotesi in cui ricercheremo informazioni ante-mortem, effettueremo l'esame dei corpi per stabilire la causa della morte e confronteremo i dati ottenuti dalle indagini post-mortem con i dati ante mortem. Se prima le metodiche utilizzate si limitavano alla radiologia tradizionale con l'avvento della TCMS abbiamo assistito al proliferare di informazioni utili riguardo alle salme non identificate. I reperti analizzati sono: l'età scheletrica, le caratteristiche di genere, eventuali variazioni anatomiche, la presenza di corpi estranei, dispositivi medicali o esiti di pregressi interventi chirurgici ed eventuali esiti traumatici.

Lesioni da arma da fuoco

Oltre alle procedure di identificazione, uno dei principali campi di applicazione della radiologia forense post-mortem è rappresentato dalle lesioni da arma da fuoco. La conoscenza dell'esatta posizione di un proiettile all'interno del corpo, prima dell'inizio di una autopsia tradizionale, consentirà al medico-legale di risparmiare il tempo necessario all'indagine autoptica, specialmente se il proiettile ha in realtà abbandonato il corpo. I proiettili infatti sono spesso rinvenuti anche in sedi distanti dai loro punti di ingresso, soprattutto se deviati da ossa curve come le coste o la teca cranica. La TCMS è utile quindi a individuare il proiettile, il foro d'ingresso ed eventuale foro di uscita, indica il percorso compiuto dal proiettile, e può aiutare a identificare i diversi munizionamenti e il tipo di arma utilizzata. Questo facilita il recupero del proiettile e di frammenti potenzialmente importanti. Anche la precisa valutazione del percorso compiuto dal proiettile attraverso il corpo è di estrema importanza, specie poiché aiuta a ricostruire la dinamica del delitto. Differenti tecniche sono disponibili per valutare la direzione da cui sono state create le ferite da arma da fuoco. La TCMS è particolarmente utile nella valutazione delle lesioni ossee identificando le lesioni scheletriche di distretti anatomici mal valutabili nell'esame autoptico tradizionale quali lo splancnocranio, la colonna vertebrale e il bacino. La TC e la RM sono quasi equivalenti nella valutazione delle emorragie extra-assiali che, nel complesso, trovano una soddisfacente correlazione con l'autopsia. La TCMS si dimostra superiore all'autopsia in merito alla valutazione dell'emorragia ventricolare, nonché dello pneumoencefalo, pneumotorace, pneumoperitoneo e per il riconoscimento di eventuali quote di enfisema sottocutaneo.

Grandi traumatismi

Nei paesi occidentali gli incidenti stradali rappresentano la prima causa di morte nei giovani sotto i quarant'anni, costituendo pertanto un capitolo di grande impatto sociale. Più in generale i grandi traumatismi comprendono anche gli incidenti aerei e le precipitazioni, siano esse a scopo suicidario che accidentale. In tutti questi casi la TCMS fornisce un ausilio insostituibile al fine di identificare e fornire una rappresentazione iconografica riproducibile i differenti complessi fratturativi e consente di ricostruire nella maniera più accurata possibile la dinamica lesiva. Lo studio particolareggiato di distretti anatomici difficilmente valutabili con l'esame autoptico tradizionale quali il bacino, la colonna e gli arti, qualifica l'esame di imaging a indagine di assoluta necessità. Il ruolo della vittima può infatti essere molteplice, quale pedone investito, conducente dell'auto, passeggero, etc; il riconoscimento del pattern lesivo aiuta nel collocare esattamente la vittima nella dinamica dell'incidente. Fondamentale la ricostruzione della dinamica lesiva anche nel caso di disastri aerei e di precipitazioni. Anche in tal caso oltre all'identificazione del soggetto costituisce un ausilio insostituibile la ricostruzione del complesso lesivo per la valutazione della dinamica dell'evento traumatico.

Sindrome del bambino battuto

È una tipica forma di maltrattamento che si verifica quando i genitori o le persone che si prendono cura del bambino “provocano o permettono che siano provocate lesioni fisiche o mettono il bambino in condizioni di subire lesioni fisiche”. Il range di età dei bambini maltrattati varia dai pochi mesi fino ai 10-11 anni ed oltre, ma i due terzi dei casi sono rappresentati da bambini che hanno meno di 3 anni. Il grande capitolo dei maltrattamenti infantili sia nel vivente che nei casi post-mortem è storicamente di pertinenza radiologica. Nel 1946 John Caffey, un radiologo, rilevò un’inspiegabile associazione tra ematoma sottodurale e fratture multiple delle ossa lunghe nei bambini, descrivendo la storia di 6 bambini, che presentavano ematomi sottodurali cronici ed un totale di 23 fratture delle ossa lunghe. Purtroppo Caffey non seppe riconoscere l’esatta natura di tali lesioni, anche se sospettò un’origine traumatica nonostante il diniego da parte dei genitori. Negli anni seguenti un altro radiologo, Frederic N. Silverman, eseguì analoghi studi e dichiarò che le fratture “spontanee” in bambini con una normale struttura ossea sono causate da un trauma non riconosciuto (Silverman, 1953). La tipologia delle lesioni che si ricerca, l’estensione e l’eventuale polidistrettualità delle lesioni patognomiche vengono valutate accuratamente con la TCMS, la quale consente una panesplorazione del bambino mantenendo l’integrità del corpo, fattore molto importante in casi che necessitano di particolare delicatezza. Nella sindrome del bambino battuto si ricercano eventuali alterazioni anatomiche di origine traumatica a carico delle strutture scheletriche (coste e ossa lunghe in particolare), dei visceri addominali e del neurocranio.

Annegamento

Le autopsie tradizionali non forniscono indicazioni inequivocabili di annegamento. Secondo l’Organizzazione Mondiale della Sanità, l’incidenza di morte per annegamento nel mondo è di circa 400000 casi l’anno. La morte da annegamento è più comune nei bambini sotto i cinque anni. Negli adulti, il suicidio è una frequente causa di morte per annegamento, spesso connesso ad un vissuto di tipo psichiatrico. Attualmente l’annegamento si riscontra soprattutto nei giovani adulti che abusano di alcol e altre droghe. La diagnosi si basa principalmente sulle caratteristiche individuali del soggetto e sulle circostanze, sulle alterazioni post-mortem macro- e micro-patologiche, e sugli studi dei polmoni, tra cui il volume polmonare. In questi casi la TCMS offre un’ulteriore possibilità per determinare la causa di morte. Gli specialisti del settore possono studiare il volume polmonare post-mortem, l’attenuazione media, le differenze di attenuazione antero-posteriore, il profilo di densità polmonare e l’ammontare di acqua presente nei polmoni. La presenza di fluido nelle vie aeree nei casi di annegamento è patognomica, in particolare sono reperibili segni di aspirazione sia in trachea che nei bronchi principali. A livello parenchimale polmonare nella maggior parte dei casi di annegamento si nota un pattern a mosaico con aree polmonari ipo- e iperperfuse nelle sedi di aspirazione. Si osserva inoltre nella pressoché totalità dei soggetti distensione fluida dello stomaco e del duodeno in relazione all’ingestione di acqua e oblitterazione dei seni paranasali per inalazione. Tutti questi reperti, tipici dell’annegamento sono stati rilevati utilizzando la

TCMS post-mortem, e si è evinto dalla letteratura una buona correlazione tra la TCMS e l'autopsia tradizionale. L'indubbio vantaggio della TCMS è stato il rilievo diretto del broncospasmo, dell'emodiluizione e della presenza di acqua in tutti i seni paranasali, reperto piuttosto complicato o impossibile da rilevare con la classica autopsia.

Asfissia

Casi comuni di asfissia sono l'impiccagione e lo schiacciamento della gabbia toracica, reperto di frequente riscontro negli incidenti sul lavoro. Nell'asfissia i reperti patognomonicamente si ricercano a carico delle alte vie aeree prima di tutto, con l'analisi TC della laringe glottica e sovraglottica, dell'osso ioide e della colonna aerea.

Le immagini 3D consentono di visualizzare i segni della legatura aiutando a ricostruire il processo di strangolamento. Il sanguinamento in corrispondenza delle inserzioni dei muscoli sternocleido-mastoidei o a carico dei tessuti molli del collo dimostrano che la vittima era in vita al momento dello strangolamento, come pure i tentativi di respirazione forzata, per vincere l'occlusione delle vie aeree, possono causare rotture alveolari con conseguente pneumomediastino ed enfisema dei tessuti molli con carattere ascendente nel collo. Per quanto riguarda l'analisi delle basse vie respiratorie e del parenchima polmonare i reperti TC appaiono spesso di non univoca interpretazione in quanto rappresentati spesso da aspetti parenchimali di ARDS, scarsamente rappresentativi di quadri specifici.

Carbonizzazione

L'autopsia virtuale apporta un contributo significativo in tutti i casi che coinvolgono corpi estesamente carbonizzati e quindi di difficile valutazione con il preliminare esame esterno. Essa fornisce informazioni riguardo l'identificazione, eventuali lesività corporee, sia scheletriche che viscerali, la distribuzione dei gas e l'eventuale presenza di corpi estranei. Nei cadaveri bruciati è di fondamentale aiuto nel verificare la presenza di segni vitali per escludere che si tratti di una simulazione post-mortem o nel reperire eventuali proiettili nei delitti commessi con arma da fuoco.

Embolia Gassosa

Particolarmente frequenti nei mesi estivi e in determinate località costiere, le morti per embolia gassosa riguardano soggetti in giovane età e in completo stato di benessere. E' nota dall'esperienza e dalla letteratura l'estrema difficoltà di reperire quote aeree, soprattutto se minime, all'interno del volume corporeo con la semplice autopsia tradizionale. La valutazione invece di limitate quantità di aria nei vasi polmonari o cerebrali e nelle cavità cardiache appare di facile e immediata documentazione e quantificazione con la TCMS. Per tal motivo, sebbene siano ancora pochi gli studi condotti su subacquei vittime del mare, l'autopsia virtuale riveste un ruolo primaria importanza per un'analisi preliminare della distribuzione dei gas e per l'identificazione di eventuali traumatismi in relazione a possibili diagnosi differenziali.

IL REFERTO

Il referto è il prodotto radiologico per eccellenza. Rappresenta il nostro parere professionale motivato. Non delegabile ad alcun altro che non sia il medico radiologo e, per quanto riguarda la TCMS effettuata post-mortem, il medico radiologo esperto di radiologia forense. E' richiesta infatti una particolare preparazione ed esperienza allo specialista che si avvicina a tale disciplina. Lo specialista non dovrà fornire notizie clinico anamnestiche della vittima, informazioni inerenti il crimine o ipotesi sulle circostanze della morte, in quanto prerogativa del medico legale. Dovranno essere riportati invece alcuni dati tecnici sulle modalità di acquisizione dell'esame, ad esempio la lunghezza della scansione o eventuali mobilizzazioni della salma durante le varie acquisizioni. Il medico radiologo dovrà saper riconoscere e valutare correttamente i fenomeni post mortali differenziandoli da eventuali alterazioni anatomiche, chirurgiche o traumatiche avvenute in vita e saper identificare correttamente i reperti patognomonic di lesività post mortale. Dovrà inoltre rispondere a quesiti specifici forniti dal collega e possedere specifica competenza di tanatocronologia per aiutare il medico legale nell'identificare l'epoca della morte. Nella maggior parte dei casi gli obiettivi essenziali sono la dimostrazione meccanismo di morte, l'energia applicata, direzione dell'impatto, l'analisi della sequenza di eventi. Il referto dal punto di vista formale dovrà essere chiaro, conciso, coerente, completo, corretto ai fini forensi, utile al medico legale, applicabile al metodo scientifico e pertinente all'indagine. Si discosta dal referto clinico tradizionale, perché non viene richiesto al medico radiologo di formulare un'ipotesi diagnostica o eventuali diagnosi differenziali, che sono prerogativa unica del medico legale titolare dell'indagine. "Il referto è l'atto, redatto obbligatoriamente in forma scritta, con il quale lo specialista dichiara conformi a verità i risultati degli esami diagnostici ottenuti" ci dice l'Istituto Superiore di Sanità nel 2006, non è quindi possibile né consentito consegnare alla Procura della Repubblica un prodotto radiologico nel quale la documentazione sia rappresentata unicamente dalle immagini. Al medico legale, oltre all'esame completo e al referto, dovranno essere consegnate le ricostruzioni Volume Rendering (VR) e MultiPlanar Reconstruction (MPR) al fine di presentare in maniera chiara, comprensibile e meglio tollerata anche dai laici, la documentazione iconografica del caso oggetto di reato.

Bibliografia essenziale

1. Andenmatten MA, Thali MJ, Kneubuehl BP et al (2008) Gunshot injuries detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): a feasibility study. *Leg Med(Tokyo)* 10:287–29239.
2. Burton EC, Phillips RS, Covinsky KE et al (2004) The relation of autopsy rate to physicians' beliefs and recommendations regarding autopsy. *Am J Med* 117:255–26154.
3. Nakhleh R, Coffin C, Cooper K (2006) Association of directors of anatomic and surgical pathology. Recommendations for quality assurance and improvement in surgical and autopsy pathology. *Hum Pathol* 37:985–98855.
4. Byard RW, Houldsworth G, James RA et al (2001) Characteristic features of suicidal drownings: a 20-year study. *Am J Forensic Med Pathol* 22:134–13834.
5. Pomara C, Fineschi V, Scalzo G et al (2009) Virtopsy versus digital autopsy: virtuous autopsy. *Radiol Med* 114:1367-82.
6. Christe A, Aghayev E, Jackowski C et al (2008) Drowning-post-mortem imaging findings by computed tomography. *Eur Radiol* 18:283–29037.

7. Oliver WR, Chancellor AS, Soitys J et al (1995) Three-dimensional reconstruction of a bullet path: validation by computed radiography. *J Forensic Sci* 40:321–32438.
8. Dirnhofer R, Jackowski C, Vock P et al (2006) VIRTOPSY: minimally invasive, imaging-guided virtual autopsy. *Radiographics* 26:1305–13339.
9. Donchin Y, Rivkind AI, Bar-Ziv J et al (1994) Utility of postmortem computed tomography in trauma victims. *J Trauma* 37:552–55610.
10. Harke HT, Levy AD, Abbott RM et al (2007) Autopsy radiography: digital radiographs (DR) vs multidetector computed tomography (MDCT) in high velocity gunshot wound victims. *Am J Forensic Med Pathol* 28:13–1957.
11. Hayakawa M, Yamamoto S, Motani H et al (2006) Does imaging technology overcome problems of conventional postmortem examination? A trial of computed tomography imaging for postmortem examination. *Int J Legal Med* 120:24–2628.
12. Jackowski C, Aghayev E, Sonnenschein M et al (2006) Maximum intensity projection of cranial computed tomography data for dental identification. *Int J Legal Med* 120:165–16724.
13. 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* 50:1175–118614.
14. Mackie IJ (1999) Patterns of drowning in Australia, 1992–1997. *Med J Aust* 171:587–59035.
15. Cummings P, Quan L (1999) Trends in unintentional drowning: the role of alcohol and medical care. *JAMA* 281:2198–2202
16. Madea B, Henssge C, Lockhoven HB (1986) Priority of multiple gunshot injuries of the skull. *Z Rechtsmed* 97:213–21840.
17. Yen K, Lövblad KO, Scheurer E et al (2007) Post-mortem forensic neuroimaging: correlation of MSCT and MRI findings with autopsy results. *Forensic Sci Int* 173:21–3541.
18. Thali MJ, Yen K, Plattner T et al (2002) Charred body: virtual autopsy with multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging. *J Forensic Sci* 47:1326–133142.
19. Pomara C, Karch SB, Mallegni F et al (2008) A medieval murder. *Am J Forensic Med Pathol* 29:72–7421.
20. Yen K, Thali M, Aghayev E et al (2005) Strangulation signs: initial correlation of MRI, MSCT and forensic neck findings. *J Magn Reson Imaging* 22:501–51022.
21. Pomara C, Marrone A, D'Errico S et al (2005) L'autopsia nelle morti da arma da fuoco: integrazione mediante TC spirale. Utile contributo? *Riv It Med Leg* 6:1131–1140
22. Poulsen K, Simonsen J (2007) Computed tomography as routine connection with medico-legal autopsies. *Forensic Sci Int* 171:190–19758.
23. Ross S, Spendlove D, Bolliger S et al (2008) Postmortem whole-body CT angiography: evaluation of two contrast media solutions. *AJR Am J Roentgenol* 190:1380–138915.
24. Sidler M, Jackowski C, Dirnhofer R et al (2007) Use of multislice computed tomography in disaster victim identification: advantages and limitations. *Forensic Sci Int* 169:118–12827.
25. Thali MJ, Dirnhofer R, Becker R et al (2004) Is “virtual histology” the next step after the “virtual autopsy”? Magnetic resonance microscopy in forensic medicine. *Magn Reson Imaging* 22:1131–11385.
26. Thali MJ, Jackowski C, Oesterhelweg L et al (2007) Virtopsy - the Swiss virtual autopsy approach. *Leg Med* 9:100–1044.
27. 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* 51:113–11925.
28. Thali MJ, Schweitzer W, Yen K et al (2003) 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* 24:22–276.
29. 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* 48:1336–134212.
30. Thali MJ, Yen K, Schweitzer W et al (2003) Into the decomposed body-forensic digital autopsy using multislice-computed tomography. *Forensic Sci Int* 134:109–1147.

31. Thali MJ, Yen K, Schweitzer W et al (2003) Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) –a feasibility study. *J Forensic Sci*48:386–4038.
32. Thali MJ, Yen K, Vock P et al (2003) Image-guided virtual autopsy findings of gunshot victims performed with multislice computed tomography(MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) and subsequent correlation between radiology and autopsy findings. *Forensic Sci Int* 138:8–1656.
33. Vennemann B, Du Chesne A, Brinkmann B (2001) The practice of medical post-mortem examination. *Dtsch Med Wochenschr* 126:712–71653.
34. World Health Organisation (2002) Reducing risks, promoting health life. The world health report.
35. WHO, Geneva 32.National Center for Injury Prevention and Control (2000) WISQARS -Leading causes of death reports. CDC,Atlanta33.
36. Yen K, Vock P, Tiefenthaler B et al (2004)Virtopsy: forensic traumatology of the subcutaneous fatty tissue: multislice computed tomography(MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) as diagnostic tools. *J Forensic Sci* 49:799–80620.

STUDIO DEI PROCESSI ORGANIZZATIVI IN AUTOPSIA VIRTUALE

La PMTC è divenuta ormai un supporto tecnico-scientifico fondamentale alla medicina legale ed è destinata a implementarsi ulteriormente, pertanto si proceduto è definire una proposta di percorso organizzativo, che di seguito viene rappresentato scomposto nelle sue singole fasi, al fine di fare chiarezza e cercare di superare, in un'ottica di uniformità e standardizzazione, le principali criticità che si possono riscontrare.

Richiesta d'esame

Quando la morte è stata accertata e l'indagine esterna è stata eseguita, il Medico Legale incaricato dell'autopsia valuta la possibilità di sottoporre la salma a riscontro diagnostico radiologico. Pertanto, previa disposizione del Procuratore, il Medico Legale discuterà il caso con il Medico Radiologo responsabile della prestazione, concordando il giorno e l'ora in cui occorre eseguire la TCPM.

Successivamente il Medico richiedente potrà compilare un modulo di richiesta da inoltrare alla Segreteria della radiologia (Fig. 1).

RICHIESTA DI ESECUZIONE ESAMI RADIOLOGICI POST-MORTALI	
<p>ATTENZIONE: PRIMA DI INVIARE LA RICHIESTA CONTATTARE IL REFERENTE OPERATIVO AL NUMERO: IL REFERENTE OPERATIVO, CONCORDATA DATA ED ORA, 'PROVVEDERA' AD INFORMARE IL PERSONALE COINVOLTO NELL'EROGAZIONE DELLA PRESTAZIONE. L'INVIO DEL MODULO DEVE ANTICIPARE L'ESECUZIONE DELLA PRESTAZIONE</p>	
<p>All'attenzione del Referente operativo per l'organizzazione dell'attività FAX</p>	
<p>e p.c. Direzione Sanitaria FAX e-mail</p>	
<p>Ufficio Libera professione FAX</p>	
<p>PARTE DA COMPILARE A CURA DEL CONSULENTE TECNICO MEDICO LEGALE In qualità di Consulente Tecnico richiedo l'esecuzione di esami radiologici post-mortali secondo le modalità di seguito dettagliate</p>	
<input type="checkbox"/> RX Data Paviglione: RICHIESTA CONCORDATA CON: Nome Recapito telefonico Codice Fiscale Indirizzo	<input type="checkbox"/> TC TOTAL BODY Ora SALA CONSULENTE TECNICO MEDICO LEGALE Cognome E-mail P. Iva Identificativo Caso Data Conferimento incarico Procura di Salma Cognome Luogo di Nascita Data Constatazione di morte Residenza
<p>1</p>	
<p>- Si allega alla presente copia dell'autorizzazione da parte dell'Autorità Giudiziaria all'esecuzione dell'esame radiologico. - Il Consulente Tecnico medico legale sarà presente durante l'esecuzione degli esami radiologici post-mortali.</p>	
<p>Data: _____ Il Consulente Tecnico _____</p>	
<p>PARTE DA COMPILARE A CURA DEL MEDICO RADIOLOGO CHE ESEGUE L'ESAME</p>	
<p>Data esecuzione Ora di esecuzione</p>	
<p>Esami eseguiti: <input type="checkbox"/> TC total body <input type="checkbox"/> RX torace <input type="checkbox"/> RX addome <input type="checkbox"/> Segmenti scheletrici n. _____</p>	
<p>Medico radiologo che ha eseguito l'esame (in stampatello leggibile) _____</p>	
<p>Tecnico che ha partecipato all'esecuzione dell'esame (in stampatello leggibile) _____</p>	
<p>Note: _____ _____ _____</p>	
<p>Data: _____ Il Medico Radiologo _____</p>	
<p>2</p>	

Fig 1. Esempio di modulo di richiesta di esami radiologici forensi adottato presso l'Azienda Ospedaliero-Universitaria Policlinico S. Orsola-Malpighi, Bologna, Italia.

Inserimento in RIS-PACS e Privacy

Dalla richiesta d'esame vengono estrapolati i dati del paziente deceduto da inserire nel Ris, quindi viene richiamata l'anagrafica corretta per evitare la creazione di anagrafiche rindondanti e duplicate; l'id patient, se già presente nel sistema, rimane valido anche per gli esami eseguiti post-mortem. Se invece la salma non è identificata o vi è necessità di mantenere segreta l'identità della stessa, si applicherà la procedura per l'inserimento di una nuova anagrafica, che porterà a generare un nuovo id patient , identificabile in

maniera univoca tramite l'inserimento di un NOME e COGNOME che riconduca inequivocabilmente all'indagine effettuata, ad esempio Nome: PMCT e Cognome: DATA (giorno, mese, anno) e ORARIO (ora, minuti) della prenotazione.

NOME	PMCT
COGNOME	gg/mm/aa _ ora/min

Inoltre, per gli esami eseguiti a fini identificativi, sarebbe opportuno, ove possibile e una volta accertata l'identità della salma, ricondurre gli stessi ad un'unica anagrafica, correggendo in un secondo momento l'id patient.

Ottimizzazione dei tempi e degli spazi.

Nei casi in cui non si dispone di apparecchiature TC dedicate esclusivamente alle indagini Forensi e collegate alla sala autoptica, gli esami dovrebbero essere eseguiti nella diagnostica logisticamente più comoda per il trasporto e più vicina al servizio di Medicina legale e condotte come ultimo esame della sessione; al fine di non interferire con la regolare attività assistenziale ed agevolare l'igienizzazione della strumentazione e dei locali al termine della procedura.

La salma viene trasportata in Radiodiagnostica, posizionata e successivamente rimossa dal lettino radiologico esclusivamente dagli Operatori preposti (Servizio cimiteriale, Servizio Trasporti, etc. etc.); inoltre dovrebbe essere sempre accompagnata dal Medico Legale e dal personale tecnico legale, i quali assistono a tutte le fasi del processo e partecipano attivamente con l'equipe della diagnostica, in modo ricavare il maggior numero di informazioni ed eventualmente ottimizzare l'indagine in itinere.

Il cadavere durante l'accertamento permane all'interno di un sacco sigillato (body bag), nel quale è stato collocato in posizione supina ed anatomica (braccia lungo il corpo, gomiti accostati ai fianchi, le mani in posizione volare, piedi ravvicinati e leggermente divaricati in punta).

Il body bag previene la fuoriuscita di odori, liquidi biologici o materiali di recupero; deve necessariamente essere pulito all'esterno altrimenti non potrà essere accettato. Potrà essere parzialmente aperto se dalla scout della TC la salma risulti posizionata in maniera non ottimale.

La tempistica media di un'indagine TC post-mortem, considerando la preparazione e l'esecuzione dell'esame, è di circa 45 - 60 minuti. Ovviamente, essere pronti ad accogliere la salma velocizza i tempi, limita il suo scongelamento e riduce i costi dell'intera prestazione.

Benchè il body bag sia dotato di chiusura ermetica, la sala deve essere sempre igienizzata dal personale addetto alla pulizia, con opportuna sanificazione ed areazione degli ambienti. Di norma non si tratta di una pulizia straordinaria. L'unica precauzione da adottare è quella di evitare ogni tipo di contatto diretto con il contenuto del "sacco", sia da parte dei Professionisti che delle superfici; qualora questo non dovesse accadere occorre darne immediata segnalazione al fine di attuare eventuali procedure di sanificazione straordinaria.

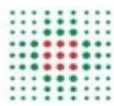
Post-processing e refertazione

Alla work station il Medico radiologo rielabora le immagini registrate sul software, eseguendo post-processing mirati anche alle particolari esigenze del Medico Legale, come ricostruzioni multiplanari (MPR, MIP) e rielaborazioni 3D col volume rendering. Con la consulenza del Medico Legale, verranno analizzate e discusse insieme le immagini, in modo da correlare e distinguere le fisiologiche alterazioni tomografiche post-mortem dai segni secondari alla dinamica della morte traumatica. Il referto sarà prodotto sul sistema dedicato (e-Ris) in tempi utili e concordati tra le parti e sarà archiviato nel sistema RIS-PACS; verrà successivamente stampato e consegnato in un'unica copia, insieme alle immagini registrate su un supporto informatico (DVD), al Medico Legale, che lo alleggerà alla relazione autoptica richiesta dalla procura della Repubblica.

Azienda e Istituzioni

Il percorso di PMTC dovrebbe seguire un flusso procedurale ben definito, che prenda in considerazione tutte le necessità organizzative, burocratiche e logistiche.

In tale ottica sarebbe auspicabile, come già sperimentato e standardizzato in alcune realtà (Fig. 2), giungere ad avere un protocollo operativo chiaro, condiviso da tutte le parti in causa ed eventualmente sancito da una delibera ufficiale, sottoscritta dall'Azienda che eroga la prestazione, dalla Procura della Repubblica di riferimento, dal Comune di appartenenza e dall'eventuale Società di servizi preposta alla movimentazione della salma.



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE
EMILIA-ROMAGNA
Azienda Ospedaliero - Universitaria di Bologna

Policlinico S. Orsola-Malpighi



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Accordo per **la richiesta di prestazioni di radiologia ad opera dei consulenti tecnici medico legali, incaricati dalla Procura della Repubblica di Bologna di eseguire esami radiologici post mortali**

Delibera n.16870 del 06/09/2017 sottoscritta da:

- Azienda Ospedaliero Universitaria Policlinico S. Orsola-Malpighi
- Alma Mater Studiorum - Università di Bologna
- Procura della Repubblica di Bologna
- Comune di Bologna
- Società Bologna servizi Cimiteriali Srl

Fig.2 Delibera n.16870 del 06/09/2017 Az. Ospedaliero Universitaria Policlinico S. Orsola-Malpighi.

Bibliografia essenziale

1. Busardò, F.P., Frati, P., Guglielmi, G. et al (2015) Postmortem-computed tomography and postmortem-computed tomography–angiography: a focused update. *Radiol Med* 120, 810–823
2. Cartocci G, Santurro A, Neri M et al (2019). Post-mortem computed tomography (PMCT) radiological findings and assessment in advanced decomposed bodies. *Radiol Med* **124**, 1018–1027
3. Filograna L, Guglielmi G, Floris R et al (2018) The development of forensic imaging in Italy. A systematic review of the literature. *Journal of Forensic Radiology and Imaging* 15:14-20.
4. Fuzzi F, Monteduro F, Pasquali M et al (2018) Virtopsy: current knowledge and open questions. *G Ital Radiol Med* 2018;5:583-90.
5. Lo Re G, Vernuccio F, Galfano MC et al (2015) Role of virtopsy in the post-mortem diagnosis of drowning. *Radiol Med* 120, 304–308
6. Pomara C., Fineschi V., Scalzo G et al (2009) Virtopsy versus digital autopsy: virtuous autopsy. *Radiol Med* 114:1367-82

CONSIDERAZIONI SUGLI ASPETTI ECONOMICI

Il D.P.R. 10/09/1990, n. 285 (Approvazione del Regolamento Nazionale di Polizia Mortuaria) attua una distinzione terminologica e funzionale fra **riscontro diagnostico** (art. 37) ed **autopsia giudiziaria** (art. 45) basata sull'Autorità sanitaria o giudiziaria che ne fa richiesta e quindi sulle diverse finalità: clinico-scientifiche o giuridico-forensi.

Il riscontro diagnostico sui cadaveri è regolato dalla legge 13/2/1961, n. 83 dall'Art. 32 del T.U. istruzione superiore (R.D. 31 agosto 1933, n. 1592 e dall'art. 37 del Regolamento di Polizia Mortuaria); è un'operazione anatomo-patologica che consente di riscontrare al tavolo anatomico la causa della morte per le seguenti finalità:

- 1) verifica anatomica della diagnosi clinica;
- 2) chiarimento dei quesiti clinico-scientifici;
- 3) riscontro di malattie infettive e diffuse o sospette tali, ai fini dell'igiene pubblica;
- 4) accertamento delle cause di morte di deceduti senza assistenza medica, trasportati in ospedale o in obitorio;
- 5) accertamento delle cause di morte delle persone decedute a domicilio quando sussiste dubbio sulla causa stessa.

L'autopsia giudiziaria è l'attività settoria eseguita per disposizione dell'autorità giudiziaria. Differisce dal riscontro diagnostico perché non ha lo specifico fine di riscontrare l'esattezza della diagnosi clinica, né è soggetta alle limitazioni vigenti per i riscontri diagnostici che vietano le operazioni settorie non necessarie ad accertare la causa della morte.

Nel sospetto di un reato il Procuratore della Repubblica (PdR) dovendo accertare la causa di morte (Art. 116 Norme di attuazione del Codice di Procedura Penale) se reputa necessario dispone l'autopsia (esame autoptico); il PdR in casi in cui l'autopsia non sia strettamente necessaria (la dinamica della morte è già sufficientemente chiara) o nei casi in cui sia poco agevole (carbonizzazione del cadavere, traumatismi annegamenti) può disporre la virtopsia.

In questo caso i costi dell'indagine, essendo richiesta della Procura, devono essere a carico della stessa.

Nel caso in cui il medico legale incaricato dal Procuratore, consideri necessario e/o utile effettuare l'esame autoptico virtuale ai fini dell'accertamento di morte, del coinvolgimento di strutture anatomiche solitamente non sezionate con l'indagine autoptica (arti superiori e/o inferiore) o comunque reputi utile avvalersi della tecnica autoptica virtuale i costi sono da attribuire al consulente incaricato (medico legale), come similmente accade quando lo specialista incaricato richiede prestazioni o indagini laboratoristiche/tossicologiche utili per il riscontro diagnostico.

I costi della Virtopsia sono riconducibili intrinsecamente alla prestazione radiologica effettuata dal Medico Radiologo che differisce da caso a caso; può infatti essere richiesta l'esecuzione esclusivamente di una TCMS, di una RM, ma anche di una biopsia percutanea imaging-guidata o di un'Angiografia post-mortem; I riferimenti per la tariffazione delle prestazioni radiologiche effettuate possono essere mutuati dal Nomenclatore Tariffario o dalle tariffe Aziendali utilizzate per analoghe procedure su paziente vivente.

Nel Caso della PMTC vanno aggiunti i costi relativi all'utilizzo di risorse umane, del profilo sanitario e non, coinvolte:

- 1) Medico Radiologo, responsabile dell'esecuzione e della refertazione dell'esame.
- 2) Tecnico sanitario di radiologica medica esecutore materiale dell'indagine.

- 3) Operatore tecnico necroscopo e personale ausiliario deputato al trasporto della salma dal Servizio di necroscopia/obitorio alla radiologia e viceversa e deputato alla preparazione della salma per il riscontro diagnostico virtuale.
- 4) Personale incaricato per la sanificazione della sala diagnostica e degli ambienti coinvolti nella prestazione diagnostica al termine della stessa per renderla renderli nuovamente fruibile per l'attività clinica

Il costo di tale personale può essere mutuato dal costo orario del personale impiegato attraverso la definizione di tempi medi di durata delle singole indagini.

Bibliografia essenziale

1. Bibbolino C, Ferrante Z, Canitano S, Chersevani R (2020) Working hypothesis for the drafting of ethical-deontological regulations in radiodiagnostics and interventional radiology. J Radiol Rev 7:165-72
2. Bibbolino C. et al: Documento SIRM Appropriately Prestazionale – https://www.sirm.org/wp-content/uploads/2019/06/Appropriatezza_prestazionale.pdf
3. D.P.R. 10 settembre 1990, n. 285. Approvazione del regolamento di polizia mortuaria; http://presidenza.governo.it/USRI/ufficio_studi/normativa/D.P.R.%2010%20settembre%201990,%20n.%20285.pdf
4. LEGGE 15 febbraio 1961, n. 83. Norme per il riscontro diagnostico sui cadaveri. (GU n.63 del 11-3-1961) - <https://www.normattiva.it/uri-res/N2Ls?urn:nir:stato:legge:1961-02-15;83@originale>
5. Nomenclatore Assistenza specialistica ambulatoriale <http://www.trovanorme.salute.gov.it/norme/renderPdf.spring?seriegu=SG&datagu=18/03/2017&redaz=17A02015&artp=4&art=1&subart=1&subart1=10&vers=1&prog=001>

REDAZIONE

- **Zairo Ferrante**
UO di Radiologia Vascolare ed Interventistica, Dipartimento di Radiologia, Azienda Ospedaliero-Universitaria Arcispedale Sant'Anna, Ferrara, Italia).
- **Laura Filograna MD, PhD**
Dirigente medico in Radiodiagnostica, Dipartimento dei Processi assistenziali integrati, Area funzionale Diagnostica per Immagini, Fondazione PTV Policlinico Universitario Tor Vergata, Roma, Italia.
- **Federica Fuzzi**
Dirigente Medico in Radiodiagnostica, U.O. di Radiologia, Dipartimento delle Radiologie, Azienda Ospedaliero-Universitaria di Bologna, Policlinico San Orsola-Malpighi, IRCCS, Bologna, Italia.
- **Claudia Giaconi MD, PhD,**
Dirigente Medico in Radiodiagnostica Universitaria, Dipartimento Diagnostica per Immagini, Azienda Ospedaliera Universitaria Pisana, Pisa, Italia.
- **Claudio Giardina**
UOC Radiodiagnostica - Ospedale San Vincenzo, Taormina - ASP Messina, Taormina, Italia.
- **Giuseppe Lo Re**
RTDB, Medico Radiologo, Dipartimento Biomedicina, Neuroscienze e Diagnostica avanzata (BIND) dell'Università degli Studi di Palermo, Istituto di Radiologia "P. Cignolini" dell' A.O.U.P. "Paolo Giaccone", Palermo, Italia.
- **Francesco Monteduro**
U.O. di Radiologia, Dipartimento delle Radiologie, Azienda Ospedaliero-Universitaria di Bologna, IRCCS, Bologna, Italia).
- **Placido Romeo**
Direttore UOC Radiologia San Marco, AOU Policlinico-San Marco, Catania, Italia

REVISIONE

- **Corrado Bibbolino**
Past President Sezione di Studio di Etica e Radiologia Forense - SIRM, Milano, Italia
- **Stefano Canitano**
Presidente Sezione di Studio Etica e Radiologia Forense, SIRM, Milano, Italia. Direttore del Dipartimento dei Servizi, Direttore UOC Diagnostica per Immagini, ASL di Rieti, Rieti, Italia
- **Antonio Pinto**
Past Past President Sezione di Studio Etica e Radiologia Forense – SIRM, Milano, Italia
Direttore UOC Radiodiagnostica Ospedale CTO, Azienda Ospedaliera dei Colli, Napoli, Italia.

© 2020 Società Italiana di Radiologia Medica e Interventistica

Via della Signora, 2 - 20122 Milano MI

ISBN: 979- 12- 80086-48-8

ISBN (e-book): 979- 12-80086-49-5

ISBN-A: 10.979.1280086/488