

Importance of 3D-CT imaging in single-bullet cranioencephalic gunshot wounds

L'importanza dell'imaging TC 3D nella valutazione delle lesioni cranioencefaliche da arma da fuoco a carica singola

T. Tartaglione¹ • L. Filograna¹ • S. Roiati¹ • G. Guglielmi^{2,3} • C. Colosimo¹ • L. Bonomo¹

¹Dipartimento di Bioimmagini e Scienze Radiologiche, Istituto di Radiologia, Università Cattolica del Sacro Cuore, Largo Francesco Vito 1, 00168 Roma, Italy

²Dipartimento di Diagnostica per Immagini, Università degli Studi di Foggia, Viale Luigi Pinto 1, 71100 Foggia, Italy

³Dipartimento di Radiologia, Ospedale IRCCS “Casa Sollievo della Sofferenza”, Viale dei Cappuccini 1, 71013 San Giovanni Rotondo, Foggia, Italy

Correspondence to: T. Tartaglione, Tel.: +39-06-30155402, Fax: 39-06-97252173, e-mail: Tommaso.Tartaglione@rm.unicatt.it

Received: 15 September 2010 / Accepted: 19 November 2010 / Published online: 24 January 2012

© Springer-Verlag 2012

Abstract

Purpose. The aim of this paper is to demonstrate that computed tomography (CT) and three-dimensional (3D) CT imaging techniques can be useful tools for evaluating gunshot wounds of the skull in forensic medicine. Three purposes can be achieved: (1) identifying and recognising the bullet entrance wound - and exit wound, if present; (2) recognising the bullet's intracranial course by studying damage to bone and brain tissue; (3) suggesting hypotheses as to the dynamics of the event.

Materials and methods. Ten cadavers of people who died of a fatal head injury caused by a single gunshot were imaged with total-body CT prior to conventional autoptic examination. Three-dimensional-CT reconstructions were obtained with the volume-rendering technique, and data were analysed by two independent observers and compared with autopsy results.

Results. In our experience, CT analysis and volumetric reconstruction techniques allowed the identification of the bullet entrance and exit wounds and intracranial trajectory, as well as helping to formulate a hypothesis on the extracranial trajectory to corroborate circumstantial evidence.

Conclusions. CT imaging techniques are excellent tools for addressing the most important questions of forensic medicine in the case of gunshot wounds of the skull, with results as good as (or sometimes better than) traditional autoptic methods.

Riassunto

Obiettivo. Scopo del nostro lavoro è stato dimostrare come le tecniche di imaging con tomografia computerizzata (TC) e 3D TC possano essere applicate in ambito medico-legale nella valutazione delle lesioni cranio-encefaliche da arma da fuoco, in particolare rispondendo a tre specifici quesiti: (1) individuare il foro d'entrata del proiettile e quello di uscita, se presente, differenziandoli tra di loro; (2) riconoscere la traiettoria intrasomatica del proiettile attraverso lo studio delle lesioni ossee e parenchimali; (3) fornire ipotesi sulla dinamica dell'evento.

Materiali e metodi. Sono stati esaminati mediante esame TC total body, prima dell'esame autoptico tradizionale, 10 cadaveri, deceduti in seguito a trauma cranio-encefalico mortale, causato da singolo proiettile esploso da arma da fuoco a carica singola; dagli esami TC sono state ricavate ricostruzioni 3D con tecnica volume rendering; i dati sono stati esaminati da due esaminatori separati, quindi confrontati con i risultati autoptici.

Risultati. Nella nostra esperienza, le tecniche TC e di ricostruzione volumetrica, hanno permesso d'identificare il foro d'entrata e quello d'uscita, documentare la traiettoria intrasomatica del proiettile, fornendo ipotesi anche su quella extrasomatica, a conferma dei dati circostanziali.

Conclusioni. Le tecniche d'imaging TC sono in grado di soddisfare con performances uguali o, in alcuni casi, superiori alla metodica autoptica tradizionale, molti dei principali quesiti forensi in casi di ferite cranio-encefaliche d'arma da fuoco a carica singola.

Keywords Virtopsy · Brain gunshot injury · 3D-CT reconstructions

Parole chiave Autopsia virtuale · Lesioni cerebrali da arma da fuoco · Ricostruzioni 3D-TC

Introduction

Since their inception, radiological sciences have enjoyed a close connection with forensic medicine. The first radiographic documentation of gunshot wounds dates back to 1895, the year in which X-rays were discovered, whereas the first radiographic study of a cadaver was performed in 1898 [1]. Conventional techniques, however, have always had the disadvantage of reducing a 3D body to a 2D image [2]. In the past 30 years, the connection between radiology and forensic medicine has been revitalised by the remarkable progress of diagnostic imaging and the introduction of computed tomography (CT) in forensic investigations on corpses. Historically, the first forensic application of CT to document an intracranial firearm wound was carried out by Wullenweber in 1977 [3]. In the following years, the spread of spiral CT opened the door to 3D acquisitions and post-processing, and CT increasingly became a standardised modality for evaluating intracranial gunshot wounds, making its unique contribution to forensic science.

It is now widely recognised [4–7] that CT scanning and 3D reconstructions can provide fast, accurate and complete demonstration of:

- bullet location and bullet and bone fragments within the skull;
- intracranial course of the bullet;
- skull fractures associated with the gunshot wound.

In addition, in some cases, it can even replace the conventional autopsy examination.

The aim of this study was to establish, on the basis of our experience with cranioencephalic gunshot wounds, whether the advances in CT and 3D imaging techniques can be transferred to the medicolegal domain to assist in three specific tasks:

- locating, describing and differentiating the bullet entrance and, if present, exit wound;
- identifying the intracranial trajectory of the bullet through depiction of bony and parenchymal lesions;
- identifying elements that may help in formulating hypotheses about the dynamics of the event.

Materials and methods

Our experience is based on ten cases of fatal cranioencephalic wounds caused by a single bullet. Of the ten cases, five were homicides and five were suicides. All cases underwent postmortem total-body CT imaging and conven-

Introduzione

Uno stretto legame con la medicina legale ha caratterizzato le scienze radiologiche fin dai loro inizi. La prima documentazione radiografica di ferite da arma da fuoco, infatti, risale al 1895, anno della scoperta dei raggi X, mentre nel 1898 fu eseguito il primo esame radiografico su cadavere [1]. Le tecniche tradizionali, tuttavia, hanno presentato da sempre lo svantaggio di ridurre un corpo tridimensionale ad immagine bidimensionale [2]. Nell'ultimo trentennio, si è assistito alla rivitalizzazione di questo connubio grazie agli enormi progressi della diagnostica per immagini e all'introduzione ed ottimizzazione di metodiche di imaging con tomografia computerizzata (TC) nelle investigazioni forensi su cadavere. Cronologicamente si deve a Wullenweber [3] nel 1977 la prima applicazione forense della TC mirata alla descrizione dei caratteri di una lesione da arma da fuoco alla testa. In seguito, la diffusione della TC spirale ha aperto le porte all'acquisizione e al post-processing tridimensionale divenendo sempre più un metodo standardizzato nella valutazione delle lesioni cranio-encefaliche da arma da fuoco e apportando un contributo peculiare alla scienza forense.

Ad oggi è stato ampiamente riconosciuto [4–7] che l'indagine TC e le ricostruzioni tridimensionali sono in grado di delineare in maniera rapida, accurata e completa:

- la posizione del proiettile, dei suoi frammenti e di frammenti ossei nel cranio nelle tre dimensioni;
- la traiettoria intracranica del proiettile;
- le fratture craniche associate alla lesione;
- vicariando, quando possibile, la tecnica autoptica tradizionale.

L'obiettivo del nostro studio è appunto quello di stabilire, attraverso la nostra esperienza sulle lesioni d'arma da fuoco cranio-encefaliche, se il progresso nelle tecniche d'immagine TC e 3D-TC può essere trasferito in ambito medico-legale tanto da consentire di rispondere a tre quesiti specifici:

- individuare e descrivere il foro d'entrata e, ove presente, quello di uscita del proiettile, differenziandoli tra di loro;
- individuare la traiettoria intrasomatica del proiettile attraverso lo studio delle lesioni ossee e parenchimali;
- fornire elementi utili alla formulazione di ipotesi riguardanti la dinamica dell'evento.

Materiali e metodi

La nostra esperienza si basa su 10 casi di ferite cranio-encefaliche mortali da singolo proiettile esploso da arma da

tional autopsy, the findings of which were considered the gold standard. In 9/10 cases the CT study was performed within 72 h of death and prior to autopsy; in the remaining case, it was carried out after exhumation of the body 10 years after the individual's death. Nine of ten cases were imaged with multislice CT scanners and, specifically, with a 16-slice scanner in four cases and a 64-slice device in the remaining five. In one case only was the study obtained using single-slice spiral CT equipment. Section thickness was 1.25 mm, with 1-mm reconstruction interval and 0.25-mm overlap. For all examinations, 3D surface reconstructions with volume-rendering technique and 2D images in multiple planes were obtained.

Two radiologists with specific experience in neuroimaging and postmortem imaging independently assessed the images of the head and neck region. Neither examiner was aware of the findings of the conventional forensic investigation. The two radiologists were asked to note the number of holes detected on the skull; distinguish the bullet entrance and, if present, exit wound; locate in the three spatial planes the final position of the bullet and bullet and bone fragments; describe tissue lesions so as to trace the bullet's likely course within the victim's body. Results obtained by the two readers were compared with each other and with the autopsy report and circumstantial evidence.

Results

In 8/10 cases, both examiners identified two wounds in the skull and distinguished the entrance wound from the exit wound. In these cases, the bullet's intracranial course was defined in the three spatial planes by ideally joining the entrance and exit holes and considering the spatial distribution of bone fragments and lesions caused by the passage of the bullet within the brain. In all cases, on entering the skull, the bullet broke up into several metallic fragments. In the remaining 2/10 cases, the examiners recognised only the bullet entrance wound. In both cases, a large bullet fragment was located in the skull, together with other small fragments of metal and bone. The bullet's intracranial course was defined in both cases by studying the final location of the largest bullet fragment, the smaller fragments, the bone fragments and the tissual signs of the bullet's passage (haemorrhage/air bubbles). In one case, numerous metallic fragments from the bullet were also detected at the level of the laterocervical soft tissues. A trajectory in the three spatial planes was also defined for the cervical finding and was found to be discordant with respect to the bullet's intracranial course. The trajectory angles in the three spatial planes calculated by the two observers did not reveal significant differences in amplitude.

Comparison with autopsy findings did not reveal any disagreement in the number of bullet holes detected in the skull

fuoco a carica singola. Dei 10 casi, 5 erano di natura omicidaria e 5 di natura suicidaria. In tutti i casi, è stato eseguito uno studio d'imaging post-mortale total body mediante apparecchiatura TC ed un esame autoptico, i cui rilievi sono stati utilizzati come gold standard. In 9/10 casi lo studio TC è stato eseguito entro le 72 ore successive al decesso e prima dell'autopsia; nel caso rimanente, a distanza di 10 anni, dopo la riesumazione del cadavere. In 9/10 casi, sono state utilizzate apparecchiature TC multistrato, rispettivamente in 4 casi con un tomografo a 16 strati, nei restanti 5 con un tomografo a 64 strati. In un singolo caso lo studio è stato ottenuto con una TC spirale a strato singolo. Lo spessore delle sezioni era di 1,25 mm, ricostruite a distanza di 1 mm, con 0,25 mm di overlapping. Per tutti gli esami sono state ottenute ricostruzioni 3D di superficie con tecnica volume rendering, nonché immagini 2D secondo piani multipli.

Due radiologi con specifica esperienza in neuroimaging e imaging post-mortale hanno esaminato indipendentemente fra loro le immagini del distretto cranio e collo. Nessuno degli esaminatori era a conoscenza dei dati dell'indagine forense tradizionale. Per ciascun caso, è stato richiesto ai radiologi di annotare il numero di fori presenti sulla teca cranica; di distinguere il foro di entrata, ed eventualmente quello di uscita del proiettile; di individuare nei tre piani dello spazio la posizione finale dei proiettili, dei loro frammenti e dei frammenti ossei, di descrivere le lesioni tissutali al fine di tracciare le probabili traiettorie dei proiettili nel corpo delle vittime. I risultati ottenuti dai due osservatori sono stati confrontati fra loro e con i dati autoptici e circostanziali.

Risultati

In 8/10 casi analizzati, gli esaminatori hanno concordemente individuato due fori nella teca cranica e distinto il foro d'entrata del proiettile, da quello di uscita. In questi casi, la traiettoria intrasomatica è stata definita nei tre piani dello spazio congiungendo idealmente il foro d'entrata con quello d'uscita e tenendo conto della distribuzione spaziale nell'encefalo dei frammenti ossei e delle lesioni tissutali causate dal passaggio del proiettile. In tutti i casi il proiettile entrando nella scatola cranica si è frammentato in più componenti metalliche. Nei restanti 2/10 casi, solo il foro d'entrata è stato riconosciuto da tutti gli esaminatori. In entrambi i casi, un grosso frammento di proiettile è stato localizzato nella scatola cranica insieme ad altri piccoli frammenti metallici ed ossei. La traiettoria intrasomatica è stata definita in entrambi i casi attraverso lo studio della posizione finale del frammento di maggiori dimensioni del proiettile, dei frammenti più piccoli, dei frammenti ossei e dei segni tissutali del passaggio del proiettile (emorragie/bolle d'aria). In un caso numerosi frammenti metallici, ri-

or in the differentiation between entrance and exit holes. CT proved to be superior to conventional autopsy for describing the entrance hole when this was located at the skull base; 3D-CT imaging allowed the bullet's intracranial course to be traced in a manner similar to autopsy but proved superior in locating the bullet and/or bone fragments and thus depicting the bullet's intracranial course in the three spatial planes. In one case, CT allowed the detection of a bullet wound in the musculofascial tissues of the neck also, and enabled its trajectory to be defined.

Discussion

Results of our study demonstrated that the performance of CT imaging is equivalent to, if not better than, autopsy in answering many forensic questions arising in the investigation of single-bullet gunshot wounds of the head. In fact, this type of forensic investigation relies not only on careful analysis of circumstantial evidence, examination of bullet fragments and chemical investigation of gunshot residues, but also on analysis and location of the bullet's entrance and, if present, exit hole, description and location of the bullet and its fragments and of bone fragments and parenchymal lesions, as well as on spatial delineation of the bullet's intracranial trajectory.

For almost a century, forensic literature has described how single-shot firearms produce injuries on the target body characterised by a bullet entrance hole, a bullet trajectory through the body and, if present, a bullet exit hole. In particular, differentiation between the bullet entrance and exit hole – at the point of passage of the bullet through flat bone – is based on the morphology both of the margins of the osseous wound and of the pattern of the fracture line [8–10].

When a bullet enters the skull bones, it determines a loss of substance, which appears conical or funnel shaped with bevelling of the bone surface in the direction of the exit wound. When the bullet does exit, the entrance and exit holes have different sizes, the hole being smaller at the entrance than at the exit. Normally, the entrance wound has a “punched out” appearance, with the diameter measured on the outer table almost completely coinciding with that of the bullet; then, in addition to the loss of substance caused directly by the bullet, there are often also small cracks or fractures radiating from the central hole. The exit wound shows instead a larger hole as a result of the blunt action of the bullet, which has lost most of its kinetic energy. The impact of the bullet on the skull bones determines bevelling of the margins oriented inwards in the case of the entrance wound and outwards for the exit wound. If the impact is oblique to the bone surface, this creates a larger wound on the outer table, on the side in which direction the bullet is travelling,

conducibili al proiettile, sono stati riconosciuti anche in corrispondenza dei tessuti molli latero-cervicali. Una traiettoria nei tre piani dello spazio è stata identificata anche per il tramite cervicale ed è stata riscontrata discordante rispetto a quella intracranica. Gli angoli di traiettoria nei tre piani dello spazio calcolati dai due esaminatori non hanno mostrato significative differenze d'ampiezza.

Il confronto con i dati autoptici non ha mostrato discrepanze nell'identificazione del numero dei fori della scatola cranica, né nella differenziazione del foro d'entrata da quello d'uscita. La TC è stata superiore all'indagine autoptica nel descrivere il foro d'ingresso, quando localizzato in corrispondenza della base cranica. L'imaging 3D-TC ha permesso di tracciare la traiettoria intracranica del proiettile in maniera simile all'autopsia, ma si è mostrato superiore nella definizione spaziale dei frammenti di proiettile e/o di osso e quindi più accurato nel localizzare nei tre piani dello spazio la traiettoria intrasomatica. In un caso la TC ha permesso di individuare un tramite anche in corrispondenza dei tessuti muscolo-fasciali del collo e di definirne una traiettoria.

Discussione

I risultati di questo studio dimostrano che le tecniche d'imaging TC sono in grado di soddisfare con performances uguali o, in alcuni casi, superiori alla metodica autoptica tradizionale molti dei principali quesiti forensi in casi di ferite cranio-encefaliche d'arma da fuoco a carica singola. In questo genere di investigazioni forensi, oltre all'attenta analisi dei dati circostanziali all'esame dei frammenti del proiettile ed all'indagine chimica dei residui di sparo, fondamentale importanza rivestono infatti lo studio e l'identificazione del foro d'ingresso e quello d'uscita del proiettile, ove presente, la descrizione e la localizzazione del proiettile, dei suoi frammenti, di frammenti ossei e delle lesioni parenchimali la delineazione nello spazio della traiettoria intrasomatica del proiettile.

Da quasi un secolo, la letteratura forense descrive come le lesioni da arma da fuoco a carica singola producano sull'organismo bersaglio delle ferite caratterizzate dal rilievo di un foro di entrata, di un tramite intrasomatico e, se obiettivamente, di un foro di uscita. In particolare la differenziazione del foro di entrata da quello di uscita – segnatamente al passaggio di un proiettile attraverso le ossa piatte – si basa sia sullo studio della morfologia dei margini della breccia ossea, sia sull'andamento delle linee di frattura [8–10].

Quando un proiettile attraversa le ossa craniche determina in queste una perdita di sostanza che assume forma conica, ad imbuto, con svasatura marginale aperta verso il lato di uscita del proiettile. Qualora il proiettile fuoriesca, i

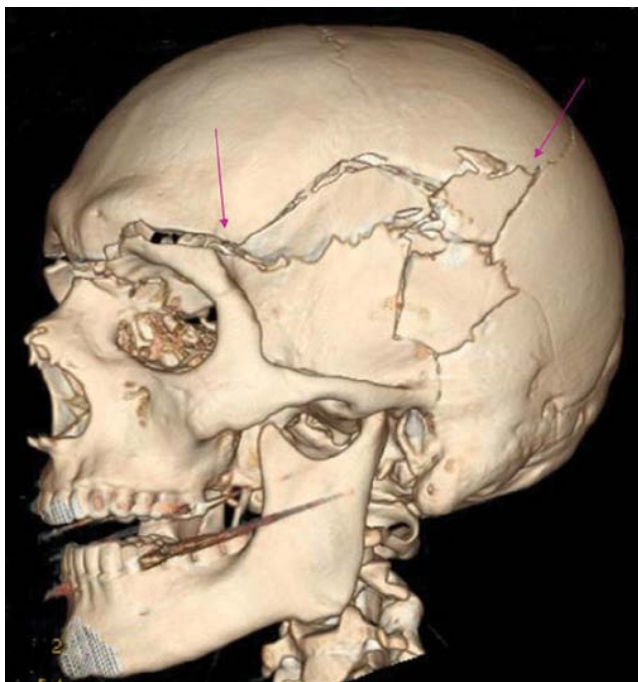


Fig. 1 Three-dimensional computed tomography volume-rendered reconstruction. Suicidal death: 3D reconstruction shows the exit side of the skull with the bullet exit hole. Consistent with the Puppe theorem, the shorter fracture lines originating from the exit hole end in thicker fracture lines originating from the bullet entrance hole on the other side of skull (long arrows).

Fig. 1 Ricostruzione 3D-TC con tecnica volume rendering. Evento di natura suicidaria. La ricostruzione 3D mostra il lato del foro di uscita dalla scatola cranica del proiettile. Coerentemente con il teorema di Puppe le linee di frattura più corte e sottili che originano dal foro di uscita della vittima terminano nelle rime di frattura più grossolane che originano dal foro d'entrata posto nell'emicranio controlaterale (freccie lunghe).

thus providing additional information on the course of the trajectory [9].

Another fundamental aspect is the study of the fracture lines radiating from the bullet entrance and exit holes. In 1903, Puppe introduced the principle [11–13] whereby when several fracture lines are present on the skull, it is possible to reconstruct the sequence of injuries by studying their intersection or, in the case of gunshot wounds, convergence towards the bullet hole. This principle is particularly useful whenever the entrance and exit holes cannot be distinguished on the basis of other morphological criteria, such as bevelling, which may not be evident in fractures of thin bones like the temporal bone (Fig. 1)

Based on the above principles, 3D-CT reconstruction techniques, with their ability to provide an accurate 3D image of bone structures rapidly and nondestructively, can play a vital role in helping to identify and differentiate bullet entrance and exit holes (Figs. 1 and 2). Moreover, our experience demonstrates the usefulness of CT images and 3D reconstructions in evaluating the bullet's intracranial course. Generally, this course is determined by ideally joining the

relativi fori di entrata e di uscita assumono ampiezza diversa, con il primo di diametro inferiore al secondo. Di norma il foro d'entrata assume aspetto a stampo, con diametro misurato sulla teca esterna corrispondente quasi a quello del proiettile; in aggiunta poi, alla perdita di sostanza causata direttamente dalla penetrazione del proiettile, si associano spesso piccole fissurazioni così come vere e proprie fratture del cranio, a partenza dal foro centrale. Il foro di uscita si presenta, invece, come una breccia di dimensioni più ampie in relazione all'azione contundente del proiettile che ha perso gran parte della sua forza viva. L'impatto del proiettile sulle ossa della teca cranica descrive pertanto una svasatura marginale aperta, rivolta verso l'interno nella sede di entrata e verso l'esterno in quella d'uscita. Se l'impatto avviene obliquamente sulla superficie ossea, si crea una lesione più ampia sul tavolato esterno, in corrispondenza del lato verso cui il proiettile è diretto fornendo ulteriori dati aggiuntivi sulla direzione della sua traiettoria [9].

Altro fondamentale aspetto riveste lo studio delle linee di frattura che si dipartono dai fori di passaggio del proiettile. Nel 1903 Puppe [11–13] ha introdotto il principio secondo il quale, in presenza di più linee di frattura del cranio, è possibile indicare la frattura che si è prodotta per prima attraverso lo studio della loro intersecazione o convergenza verso un foro, nel caso di lesioni da arma da fuoco. Questo principio è particolarmente utile laddove i fori di entrata e di uscita non siano distinguibili in base ad altri elementi morfologici, come la svasatura dei margini che può non essere evidente nelle fratture di ossa sottili come l'osso temporale (Fig. 1).

In base ai principi indicati, proprio per la capacità di fornire in maniera rapida e non distruttiva una accurata immagine tridimensionale delle strutture ossee, le tecniche di ricostruzione 3D-TC possono rivestire un ruolo fondamentale nella individuazione e differenziazione del foro d'entrata da quello di uscita (Fig. 1 e 2). La nostra esperienza, inoltre, ha permesso di dimostrare l'utilità delle immagini TC e delle ricostruzioni 3D anche nella valutazione della traiettoria intrasomatica del proiettile. Generalmente, il tramite intrasomatico di un proiettile si ottiene congiungendo idealmente il foro d'entrata con quello di uscita – o in assenza di questo con il proiettile non fuoriuscito – e proiettando nello spazio l'asse direzionale così ricavato. Tuttavia occasionalmente, il proiettile può compiere un percorso intracranico non rettilineo e si arresta in sedi totalmente indipendenti dalla posizione originaria a causa dell'impatto con lo scheletro osseo o con i tessuti interposti.

In questi casi, informazioni aggiuntive circa la direzione della traiettoria si acquisiscono interpretando la distribuzione numerica e spaziale dei frammenti ossei e di proiettile all'interno del parenchima cerebrale (Fig. 3).

Diversi studi hanno confermato la validità delle immagini TC, sia bidimensionali che tridimensionali, nella vi-

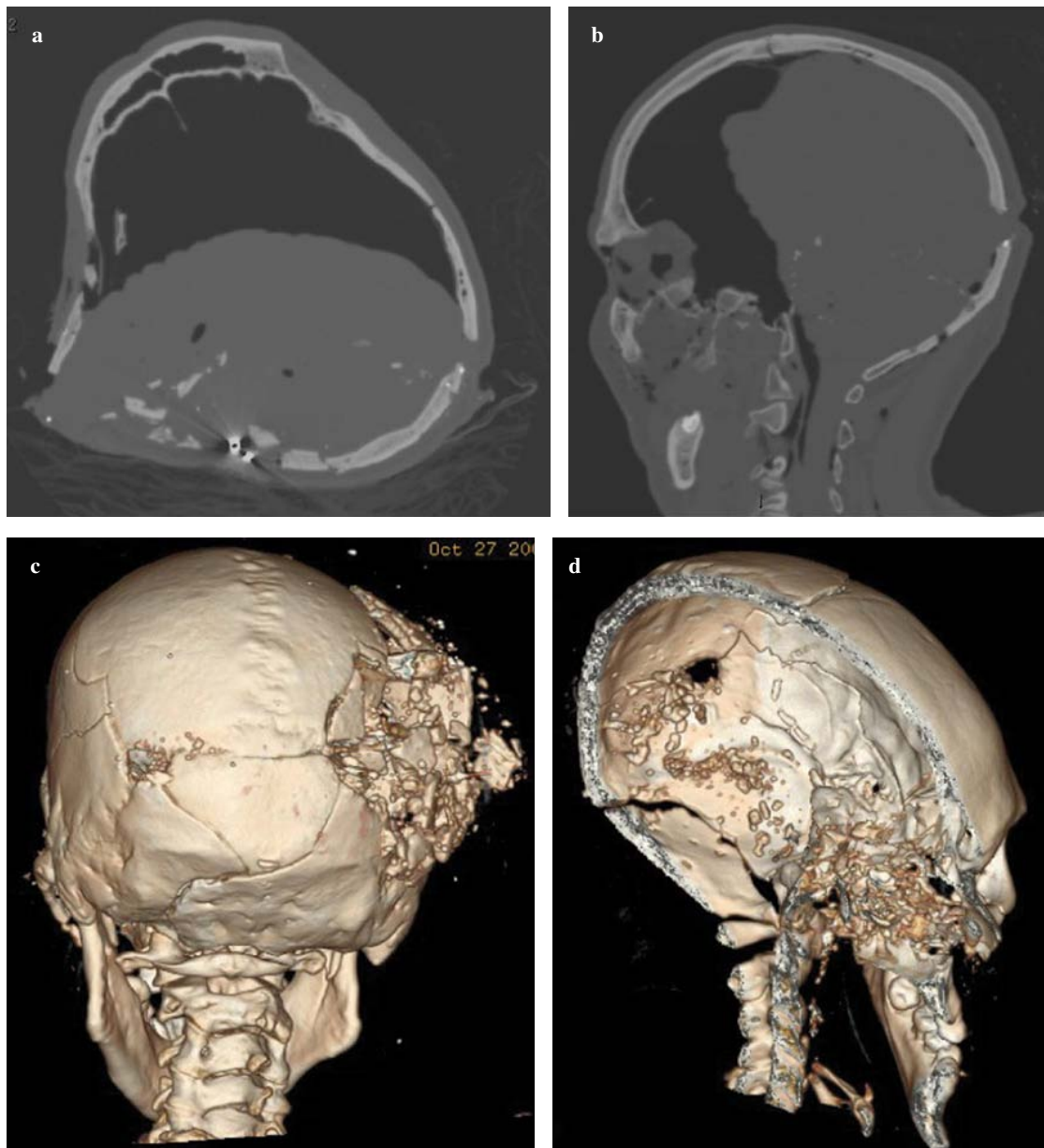


Fig. 2a-d Axial CT image (a); multiplanar reconstruction (b) and volume-rendered 3D-CT reconstruction (c,d). Homicidal death: The entrance hole in the left parietal bone is well documented, with characteristic bevelling directed towards the cluster of bony and metallic fragments. On the exit side of the skull, the bullet caused a large loss of brain, leading to a skull shattering.

Fig. 2a-d Immagine assiale TC (a). Ricostruzione MPR sagittale obliqua (b). Ricostruzioni 3D-TC con tecnica volume rendering (c,d). Evento di natura omicidaria. È evidente il foro di entrata nell'osso parietale sinistro e la sua caratteristica svasatura interna disposta in direzione lievemente posteriore verso la nubeola di frammenti ossei e metallici. Dal lato di uscita dalla scatola cranica il proiettile ha determinato una estesa perdita di sostanza comportando un fracasso osseo.

entrance and exit hole – or retained bullet if no exit hole is present – and projecting the resulting directional axis into space. However, in some rare cases, the bullet may follow a nonlinear course within the skull and stop at sites totally unrelated to the original position as a result of the impact with bone or interposed tissues. In such cases, additional information about the direction of the trajectory can be derived by analysing the numerical and spatial distribution of

sualizzazione dei frammenti di proiettile e di osso e nell'analisi del loro pattern di distribuzione, soprattutto con la finestra di visualizzazione adeguata alla densità dei metalli [14, 15]. È stato già dimostrato [16] come la possibilità di descrivere la precisa localizzazione spaziale dei vari frammenti, insieme ad opportuni calcoli fisici basati sul teorema della conservazione della quantità di moto possa essere di grande utilità nella delineazione del tramite intra-cranico,

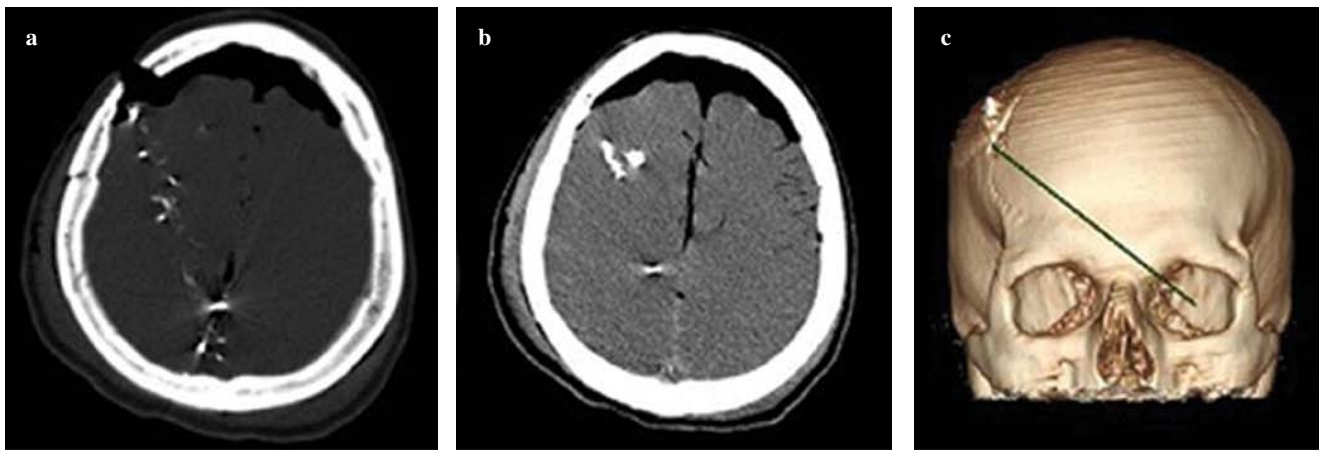


Fig. 3a-c CT axial images (**a,b**) and 3D-CT volume-rendered reconstruction (**c**). In this homicidal event, while driving his car, the victim was shot by a man on a motorbike. Based on the distribution of bone and bullet fragments in the brain (**a,b**) the bullet's intracranial path was described as being anteroposterior, upward and from right to left (**c**).

Fig. 3a-c Immagini assiali TC (**a,b**). Ricostruzione 3D-TC con tecnica volume rendering (**c**). In questo evento di natura omicidaria la vittima, mentre era al volante, è stata colpita da un proiettile esploso da un uomo a bordo di una moto. In base allo studio della distribuzione dei frammenti ossei e di proiettile all'interno del parenchima cerebrale (**a,b**) la traiettoria intrasomatica del proiettile è stata definita come diretta in senso antero-posteriore, da destra verso sinistra e dall'alto in basso (**c**).

bone and bullet fragments within the brain (Fig. 3).

Several studies have confirmed the value of both 2D and 3D CT images for depicting bullet and bone fragments and helping to analyse their distribution pattern, above all when a CT viewing window adequate for the density of metal is used [14, 15]. It has already been demonstrated [16] that the possibility of describing the precise location of the various fragments, coupled with appropriate physical calculations based on the law of conservation of quantity of motion, can be very useful in outlining the intracranial trajectory, above all when the bullet is retained or fragmented. In addition, CT study, especially when performed shortly after death and with window settings suitable for brain tissue, enables definition of the bullet's intraparenchymal course by visualising direct and indirect effects of its passage on intracranial structures.

Although postmortem investigation with magnetic resonance imaging [6] or contrast-enhanced CT [17] is the most accurate method for clearly depicting the areas of brain tissue involved by passage of the bullet, even unenhanced CT is able to provide adequate information by depicting intraparenchymal haemorrhage and bone or metal fragments surrounding the bullet's intracranial course.

A further component of trajectory assessment is the distribution of air bubbles that enter the skull along with the bullet. Air bubble formation is due to the temporary cavity created by the transfer of energy from the bullet to the tissues surrounding the bullet's intracranial course and which is normally larger in diameter than the definitive lesion (permanent cavity) [18, 19]. Generally located in the anterior cranial fossa in the supine corpse, air bubbles are also seen along the bullet's intraparenchymal course (Fig. 4).

soprattutto quando il proiettile risulta essere ritenuto e pluriframmentato. In aggiunta, lo studio TC, soprattutto se eseguito precocemente rispetto al decesso e con finestra di visualizzazione correttamente definita per la densità del tessuto nervoso cerebrale, consente di definire la traiettoria intraparenchimale del proiettile in base alla descrizione degli effetti diretti ed indiretti del passaggio dello stesso nelle strutture intracraniche.

Sebbene un'indagine post-mortale con risonanza magnetica [6] o mediante TC con mezzo di contrasto [17] costituisca allo stato attuale la metodica più accurata per descrivere con accuratezza le aree di tessuto cerebrale interessate dal passaggio del proiettile, anche la TC in condizioni di base è in grado di fornire adeguate informazioni su di esse attraverso la documentazione di emorragie intraparenchimali, frammenti d'osso e metallici lungo il percorso del proiettile nell'encefalo.

Ulteriore componente di valutazione della traiettoria è rappresentata dalla disposizione delle bolle d'aria penetrate con il proiettile nella scatola cranica. La formazione di queste è dovuta alla cavità temporanea (temporary cavity) che si crea quando l'energia del proiettile è trasmessa ai tessuti che circondano il tramite intrasomatico e che normalmente presenta diametro maggiore rispetto alla lesione definitiva (permanent cavity) [18, 19]. Di regola disposte nella fossa cranica anteriore nel cadavere supino, le bolle di pneumoencefalo si repertano anche lungo il tragitto cerebrale intraparenchimale del proiettile (Fig. 4).

Nei casi di lesioni da arma da fuoco il tragitto del proiettile si distingue in extrasomatico, di pertinenza balistica, ed intrasomatico, di interesse squisitamente medico-legale. Tuttavia, le ricostruzioni volumetriche, grazie ai dati so-

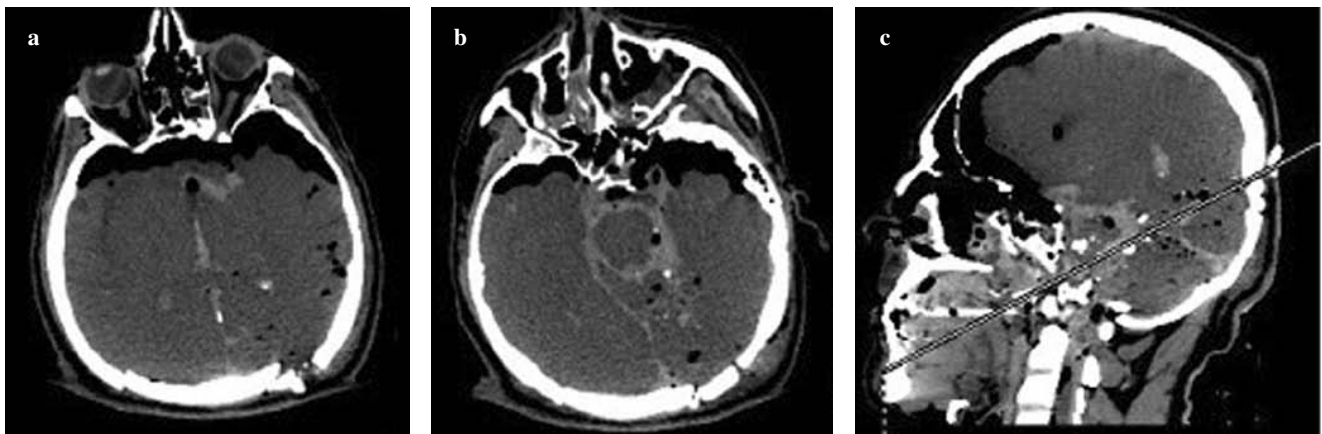


Fig. 4a-c Computed tomography axial images (a,b) and oblique multiplanar reconstruction image (c). Suicidal death: the image shows multiple bones fragments within the haemorrhagic nervous tissue, with minute air bubbles embedded. The bullet's intracranial course is traced anteroposteriorly, upwards and from right to left (c).

Fig. 4a-c Immagini assiali TC (a,b). Ricostruzione MPR sagittale obliqua (c). Evento di natura suicidaria. Le immagini mostrano la presenza di multipli frammenti ossei all'interno di tessuto nervoso emorragico, con minute bolle aeree. La traiettoria intrasomatica del proiettile è tracciata nell'immagine (c): essa presenta direzione antero-posteriore, da destra verso sinistra e dal basso verso l'alto.

Bullet course is distinguished into an extrasomatic portion, of ballistic relevance, and an intrasomatic portion, of purely medicolegal relevance. However, thanks to the data mentioned above, CT volume reconstructions can also give indications as to the position of the victim's head at the time of the gunshot and add information regarding the bullet's extrasomatic course to support the circumstantial evidence [20]. An example is the case shown in Figure 5 in which the CT examination was performed on a corpse exhumed 10 years after the homicide: the bullet hit the victim in a cranio-caudal direction entering through the parietal bone and exiting from the skull base, to then pass through the laterocervical muscle fascia. This finding revealed a discrepancy between the direction of the bullet's intracranial course and the trajectory produced at the level of the cervical soft tissues. This discrepancy could only be explained by hypothesising that the victim's head at the time of the gunshot was rotated axially from right to left and tilted posteriorly and to the left, probably in a desperate gesture of self-defence.

Conclusions

Our limited experience with fatal cranioencephalic single bullet wounds has clearly highlighted the value of the use of CT imaging in these types of injury. CT and 3D reconstruction techniques should be considered extremely useful for identifying and differentiating the bullet's entrance and, if present, exit holes, indicating the bullet's intrasomatic course and, in some cases, suggesting hypotheses on the extrasomatic course to confirm circumstantial evidence. In conclusion, in view of the noninvasiveness, rapidity and

vra citati, possono fornire indicazioni relativamente alla posizione del capo della vittima al momento dello sparo e aggiungere informazioni sul percorso extrasomatico del proiettile a conferma dei dati circostanziali [20]. È il caso riportato in Figura 5, in cui l'esame TC è stato effettuato su cadavere riesumato a 10 anni dall'omicidio: il proiettile ha attinto la vittima con direzione cranio-caudale entrando dall'osso parietale e fuoriuscendo dalla base cranica, per dirigersi nei piani muscolo-fasciali laterocervicali; da questi dati è emersa una discrepanza tra la direzione della traiettoria intracranica del proiettile e la traiettoria prodottasi in corrispondenza dei tessuti molli del collo. Tale incongruenza è stata giustificata solo ipotizzando che il capo della vittima al momento dello sparo fosse ruotato sul piano assiale da destra verso sinistra e inclinato posteriormente e verso sinistra, in un probabile gesto di disperata autodifesa.

Conclusioni

La nostra esperienza, seppur limitata, in caso di lesioni cranio-encefaliche mortali da arma da fuoco a carica singola, ha chiaramente messo in luce la validità dell'impiego di tali metodiche di imaging in questo tipo di lesività. Le tecniche TC e di ricostruzione volumetrica infatti devono essere ritenute estremamente utili ad identificare e differenziare il foro d'entrata da quello d'uscita, se presente, ad indicare la traiettoria intracranica del proiettile, e, in alcuni casi, a fornire ipotesi su quella extrasomatica a conferma dei dati circostanziali. In conclusione, alla luce della sua minima invasività, grande rapidità ed accuratezza è possibile de-

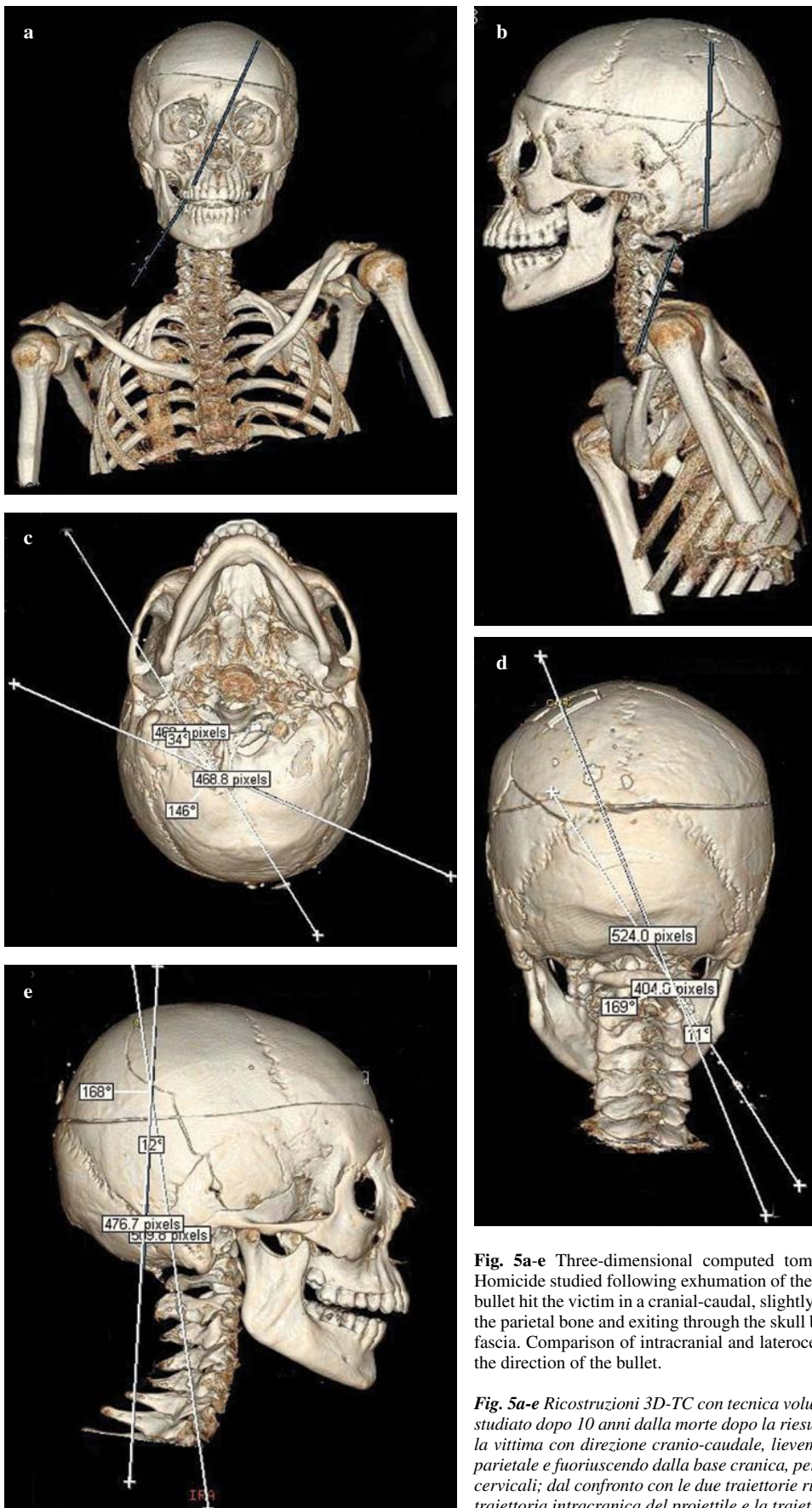


Fig. 5a-e Three-dimensional computed tomography volume-rendered reconstruction. Homicide studied following exhumation of the body 10 years after the victim's death. The bullet hit the victim in a cranial-caudal, slightly anteroposterior, direction entering through the parietal bone and exiting through the skull base, then passed through the laterocervical fascia. Comparison of intracranial and laterocervical trajectories reveals a discrepancy in the direction of the bullet.

Fig. 5a-e Ricostruzioni 3D-TC con tecnica volume rendering. Evento di natura omicidaria, studiato dopo 10 anni dalla morte dopo la riesumazione della salma. Il proiettile ha attinto la vittima con direzione cranio-caudale, lievemente antero-posteriore, entrando dall'osso parietale e fuoriuscendo dalla base cranica, per dirigersi nei piani muscolo-fasciali latero-cervicali; dal confronto con le due traiettorie risulta una discrepanza tra la direzione della traiettoria intracranica del proiettile e la traiettoria nei tessuti molli del collo.

high accuracy of multislice CT with 3D reconstructions, the technique may be regarded as the method of choice, with absolute indication for all medicolegal investigations of cranioccephalic single gunshot wounds.

finire l'esame TC multistrato con le ricostruzioni 3D come metodica di elezione e porne indicazione assoluta in tutti i casi giudiziari di ferite cranio-encefaliche d'arma da fuoco a carica singola.

Conflict of interest None

References/Bibliografia

1. Brogdon BG (1996) Forensic radiology. CRC Press, Boca Raton
2. Andenmatten MA, Thali MJ, Kneubuehl BP et al (2008) Gunshot injuries detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): a feasibility study. *Legal Medicine* 10:287–292
3. Wullenweber R, Schneider V, Grumme T (1977) A computer-tomographical examination of cranial bullet wounds. *Z Rechtsmed* 80:227–246
4. Dirnhofer R, Jackowsky C, Vock P et al (2006) Virtopsy: minimally invasive, imaging guided virtual autopsy. *Radiographics* 26:1305–1333
5. Thali MJ, Yen K, Vock P et al (2003) Image-guided virtual autopsy findings of gunshot victims performed with multi-slice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) and subsequent correlation between radiology and autopsy findings. *Forensic Science International* 138:8–16
6. 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 Medicine and Pathology* 24:22–27
7. Oehmichen M, Meissner C, König HG, Gehl HB (2004) Gunshot injuries to the head and brain caused by low-velocity guns and rifles. A review. *Forensic Science International* 146:111–120
8. Di Maio VJM (1999) Gunshot wounds: practical aspects of firearms. Ballistics and forensic techniques. CRC press, Boca Raton, London, New York, Washington/DC
9. Macchiarelli L, Arbarello P, Di Luca NM (2005) *Medicina legale*. Edizioni Minerva Medica, Torino
10. Canuto G, Tovo S (1996) *Medicina legale e delle assicurazioni*. Piccin Libreria, Padova
11. Knight B (1996) *Forensic pathology*. Oxford University Press, New York
12. Viel G, Gehl A, Spermhake JP (2009) Intersecting fractures of the skull and gunshot wounds. Case report and literature review. *Forensic Sci Med Pathol* 5:22–27
13. Dixon DS (1984) Pattern of intersecting fractures and direction of fire. *J Forensic Sci* 29:651–654
14. Jeffery AJ, Ruty GN, Robinson C, Morgan B (2008) Computed tomography of projectile injuries. *Clin Radiol* 63:1160–1166
15. Harcke HT, Levy AD, Getz JM, Robinson SR (2008) MDCT analysis of projectile injury in forensic investigation. *AJR Am J Roentgenol* 190:106–111
16. Marchetti D, Tartaglione T, Mattiu G et al (2003) Reconstruction of the angle of shot by using computed radiography of the head. *Am J Forensic Med Pathol* 24:155–159
17. 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
18. Levy AD, Abbott RM, Mallak CT et al (2006) Virtual autopsy: preliminary experience in high velocity gunshot wound victims. *Radiology* 240:522–528
19. Oehmichen M, Gehl HB, Meissner C et al (2003) Forensic pathological aspects of postmortem imaging of gunshot injury to the head: documentation and biometric data. *Acta Neuropathologica* 105:570–580
20. Pomara C, Fineschi V, Scalzo G, Guglielmi G (2009) Virtopsy versus digital autopsy: virtual autopsy. *Radiol Med* 114:1367–1382