

MRI can assess glenoid bone loss after shoulder luxation: inter- and intra-individual comparison with CT

La risonanza magnetica può quantificare il danno osseo glenoideo in seguito a lussazione della spalla: valutazione comparativa inter- e intra-individuale con la TC

Alessandro Stecco¹ • Elena Guenzi² • Teresa Cascone² • Francesco Fabbiano² • Paolo Fornara³
Paolo Oronzo¹ • Federico Alberto Grassi³ • Gregorio Cecchi⁴ • Mario Caniggia⁴
Marco Brambilla⁵ • Alessandro Carriero¹

¹SCDU Radiologia, A.O.U. Maggiore della Carità di Novara, Corso Mazzini 18, 28100 Novara, Italy

²Università del Piemonte Orientale “A. Avogadro”, Scuola di Specializzazione in Radiodiagnostica, Novara, Italy

³SCDU Ortopedia e Traumatologia, AOU Maggiore della Carità di Novara, Italy

⁴Ortopedia, Casa di Cura “Frate Sole”, Figline Valdarno (FI), Italy

⁵SC Fisica Medica, AOU Maggiore della Carità, Novara, Italy

Correspondence to: A. Stecco, Tel: +39-0321-3732004, Fax: +39-0321-3733425, e-mail: a.stecco@libero.it

Received: 7 March 2012 / Accepted: 21 June 2012 / Published online: 27 May 2013

© Springer-Verlag 2013

Abstract

Objective. Computed tomography (CT) is the gold standard for evaluating glenoid bone loss in patients with glenohumeral dislocations. The aim of this study was to verify if magnetic resonance imaging (MRI) can quantify the area of bone loss without any significant difference from CT.

Materials and methods. Twenty-three patients, who had experienced one or more post-traumatic unilateral glenohumeral dislocations, underwent MRI and CT. MR and multiplanar reconstruction CT images were acquired in the sagittal plane: the glenoid area and the area of bone loss were calculated using the PICO method. Mean values, percentages, Cohen's kappa coefficients and Bland-Altman plots were all used to confirm the working hypothesis.

Results. The mean glenoid surface area was 575.29 mm² as measured by MRI, and 573.76 mm² as measured by CT; the calculated mean glenoid bone loss was respectively 4.38% and 4.34%. The interobserver agreement was good ($k > 0.81$), and the coefficient of variance was 5% of the mean value using both methods. The two series of measurements were within two standard deviations of each other.

Conclusions. MRI is a valid alternative to CT for measuring glenoid bone loss in patients with glenohumeral dislocation.

Riassunto

Obiettivo. La tomografia computerizzata (TC) è il gold standard nella valutazione del danno osseo glenoideo in pazienti con lussazione gleno-omerale. Lo scopo dello studio è verificare se la risonanza magnetica (RM) può quantificare l'area di danno osseo senza significative differenze rispetto alla TC.

Materiali e metodi. Ventitre pazienti con uno o più episodi di lussazione traumatica gleno-omerale unilaterale sono stati sottoposti a RM e TC. Sono state acquisite le ricostruzioni MPR in TC e le immagini RM sul piano sagittale: la misura dell'area della glena e la misura del danno osseo sono state effettuate utilizzando il metodo PICO. Medie, percentuali, test di concordanza K di Cohen e Bland-Altman test sono stati elaborati per confermare l'ipotesi di lavoro.

Risultati. La misura dell'area glenoidea risulta di 575,29 mm² con RM e di 573,76 mm² con TC e le rispettive misure del deficit glenoideo sono di 4,38% e 4,34%. La concordanza inter-osservatore in TC e RM è risultata buona con $k > 0,81$, il coefficiente di varianza è $< 5\%$ del valor medio sia in TC che RM. Le due serie di misurazioni sono comprese entro 2 deviazioni standard.

Conclusioni. La RM è una valida alternativa alla TC nella misurazione del danno osseo glenoideo in pazienti con dislocazioni gleno-omerale.

Keywords Glenoid bone · MRI · CT · Instability · Bony Bankart lesions

Parole chiave Glena · RM · TC · Instabilità · Bony-Bankart

Introduction

The glenohumeral joint is an enarthrosis characterized by a considerable disproportion between the size of the humeral head and that of the glenoid cavity. This gives it the intrinsic instability necessary to guarantee its extensive mobility, but also makes it the most frequently dislocated joint. Dislocation can be caused by an indirect, low- or high-energy mechanism and, although it may be an isolated event, it often tends to recur and creates a clinical picture of shoulder instability.

Evaluating glenoid bone loss has become fundamentally important for the therapeutic choice [1], and a number of studies have shown that a high percentage of patients with shoulder instability present glenoid bone loss [1–7]. The main objective of studying these lesions is to assess the degree of bone loss and define its severity in terms of the percentage loss of total surface area. It is therefore essential to have a preoperative diagnostic instrument that is predictive, simple and easy to use insofar as the choice of therapy is based on the guidelines proposed by Provencher et al. [8].

The aim of this pilot study was to verify whether magnetic resonance imaging (MRI) can be used diagnostically to quantify the area of glenoid bone loss in vivo as accurately as computed tomography (CT), the current gold standard.

Materials and methods

Patients

Twenty-three patients affected by post-traumatic, unidirectional anterior instability (22 males and 1 female; mean age, 34.7 years) were enrolled between September 2010 and December 2011 and, after they had given their informed consent, underwent MRI and CT of their healthy and pathological shoulders on the same day.

Quantification of glenoid bone loss

CT was carried out using a Light Speed VCT with 64 detector rows (GE, Milwaukee, Wisconsin, USA). The helicoid scans were made using a bone algorithm, slice thickness 0.6 mm, rotation time 0.6 s, voltage 140 kV, and intensity 180 mA. MRI was carried out using a 1.5 Tesla Philips Achieva (Philips Medical Systems, Best, The Netherlands) with a surface coil [voxel size 0.7 mm, flip angle 50, thickness 0.7 mm, time to repetition (TR) 23, time to echo (TE) 5.1] and a 3D-T1W fast field echo (FFE) sequence.

The glenoid bone loss measured using the two techniques was evaluated using the “circle” method, first proposed by Sugaya in 2003 [9], and improved by Baudi (the

Introduzione

L'articolazione gleno-omeroale è un'artrosi caratterizzata dalla notevole disproporzione tra le dimensioni dei capi articolari. Tale configurazione determina un'instabilità intrinseca, indispensabile per garantire l'ampia mobilità nei piani dello spazio. La spalla è l'articolazione in cui la perdita dei rapporti articolari si verifica più spesso; la lussazione, causata da un meccanismo indiretto a bassa o ad alta energia, può rappresentare un evento isolato, ma più spesso tende a riprodursi nel tempo configurando il quadro di instabilità.

La valutazione delle lesioni ossee della rima glenoidea, come difetto osseo (bone loss), ha assunto negli ultimi anni un'importanza fondamentale nella scelta terapeutica [1]. Infatti, diversi studi hanno messo in evidenza come un'elevata percentuale di pazienti con instabilità di spalla presenti difetti ossei glenoidei [1–7]. Il principale obiettivo nello studio delle lesioni ossee della rima glenoidea è valutare il grado di difetto osseo e definirne la severità oltre una certa percentuale di perdita della superficie globale della glena. È quindi fondamentale disporre di uno strumento diagnostico pre-operatorio dotato di una buona predittività, facile e semplice, in quanto la scelta del trattamento terapeutico deve seguire le linee guida proposte da Provencher et al. [8].

Il presente è uno studio pilota per valutare se la risonanza magnetica (RM) può essere utilizzata come uno strumento diagnostico per quantificare in vivo l'area di danno osseo glenoideo, al pari dell'attuale gold standard, la tomografia computerizzata (TC).

Materiali e metodi

Pazienti

Sono stati arruolati, nel periodo tra settembre 2010 e dicembre 2011, ventitre pazienti (22 maschi e 1 femmina, età media 34,7 anni), affetti da instabilità anteriore unidirezionale post-traumatica. I pazienti, previo consenso informato, sono stati sottoposti a TC e RM della spalla sana e di quella patologica nella stessa giornata.

Metodo di quantificazione del danno glenoideo

Per le scansioni tomografiche è stato usato uno strumento Light Speed VCT a 64 file di detettori (GE, Milwaukee, Wisconsin, USA). Sono state eseguite scansioni elicoidali con

PICO method) [10]. The PICO method involves drawing a circular area (X) on an oblique sagittal *en face* image of the healthy shoulder using the lower glenoid margin as a base. This circle is then transposed to the image of the pathological shoulder and the area of the sector with missing bone is drawn and calculated (bone loss, Y_i). Bone loss was measured three times by two operators in consensus (in order to reduce measurement error), and the mean value of the three measurements was recorded (Y), whereas X was only calculated once by the two operators in consensus.

$$\% \text{ bone loss} = \frac{\text{Area Y}}{\text{Area X}} * 100$$

The effective CT doses were estimated starting from the individual dose ratios archived in the picture archiving and communication system (PACS) and using version 1.02 of the ImPACT CT patient dose calculator software (ImPACT, London, UK), which is based on Montecarlo simulations and uses the International Commission on Radiological Protection (ICRP) 103 weighting factors for tissue.

Statistical analysis

The statistical analyses were made using the MedCalc 12.2.0.1 statistical package (MedCalc Software Mariakerke, Belgium).

The repeated measures of mean glenoid bone loss made by more than one operator using the CT and MR images were analysed by calculating their coefficient of variance (CV) and standard deviation using the test for repeated measures [11]. Subsequently, inter-observer agreement between the MRI and CT observers was evaluated using Cohen's kappa [12], and classified into classes ranging from "poor" ($k < 0.20$) to "very good" ($k > 0.81$) [13].

The Bland-Altman test was used to correlate the differences between the two techniques by plotting their measurements of both the healthy and pathological shoulders against their mean values.

Results

We used the PICO method to analyse the CT (Figs. 1, 2) and MR images (Figs. 3, 4). The glenoid area of the healthy shoulder ranged from 481.44 to 694.34 mm² in the CT images, and from 482.69 to 694.41 mm² in the MR images: the mean values were 573.76 mm² and 575.29 mm², respectively. The mean glenoid bone loss measured manually by the two operators ranged from 0 to 92.78 mm² in the MR images and from 0 to 94.79 mm² in the CT images, and was respectively 4.38% and 4.34% without any statistically significant difference between the two examination techniques. The variability of the independent manual measurements, evaluated in terms of standard deviation and variance, was very good as the CV was less than 5% of the mean value of

algoritmo per l'osso, spessore di strato 0,6 mm, tempo di rotazione 0,6 s, voltaggio 140 kV e intensità 180 mA. L'esame RM è stato eseguito mediante apparecchiatura Philips serie Achieva (Philips Medical Systems, Best, Olanda) a 1,5 Tesla, con una bobina di superficie (Voxel size 0,7 mm, flip angle 50, thickness 0,7 mm, tempo di ripetizione (TR) 23, tempo di eco (TE) 5,1) utilizzando la sequenza T1-3D fast field echo (FFE). La valutazione del deficit glenoideo misurato con le due tecniche è stata effettuata mediante il metodo del "cerchio" proposto per la prima volta da Sugaya et al. nel 2003 [9] e modificato e migliorato da Baudi et al. (metodo "PICO") [10]. Il metodo PICO prevede che sull'immagine sagittale obliqua della glena sana (immagine en face della glena) si disegni un'area circolare (X) utilizzando come base il margine inferiore della glena. Il cerchio ottenuto è poi trasposto sull'immagine della spalla malata, e si disegna e calcola l'area del settore in cui l'osso è mancante (difetto osseo, Y). La misurazione del difetto osseo è stata ripetuta tre volte da due operatori in consensus (per ridurre l'errore della misura, utilizzando la media delle tre, Y), mentre l'area circolare X è stata calcolata una sola volta sempre dai due operatori in consensus.

$$\% \text{ Difetto osseo} = \frac{\text{Area Y}}{\text{Area X}} * 100$$

Le dosi efficaci in TC sono state stimate a partire dai rapporti di dose individuale archiviati sul picture archiving and communication system (PACS) e utilizzando il software ImPACT CT patient dose calculator v1.02 (ImPACT, London, UK), che è basato su simulazioni Montecarlo e utilizza i fattori di peso per il tessuto dell' International Commission on Radiological Protection (IRCP) 103.

Analisi statistiche

Tutte le analisi statistiche sono state eseguite mediante il pacchetto applicativo statistico MedCalc 12.2.0.1 (MedCalc Software Mariakerke, Belgium).

Le misure ripetute da più operatori effettuate sulle immagini TC e RM del danno medio del deficit osseo glenoideo sono state analizzate valutando il coefficiente di varianza e la deviazione standard con il test per misure ripetute [11]. Successivamente, è stata valutata la concordanza inter-osservatore tra i due osservatori RM e TC, mediante il test di concordanza k di Cohen [12], classificando in classi di concordanza comprese tra "poor" e "very good", rispettivamente se $k < 0,20$ o $k > 0,81$ [13].

È stato applicato il test di Bland-Altman per la correlazione delle differenze tra le due tecniche di misurazione, plottando le misure delle due metodiche contro la media delle stesse, sia per le misure ottenute sulla glena normale con entrambe le metodiche, che per le misure di danno glenoideo.



Fig. 1 CT image of the healthy shoulder of one of the study patients (patient #5). The green circle shows the total surface area calculated using Baudi's PICO method [10].

Fig. 1 Immagine TC della spalla sana di uno dei pazienti partecipanti allo studio (paziente 5). Il cerchio verde mostra il calcolo dell'area totale secondo il metodo PICO di Baudi [10].

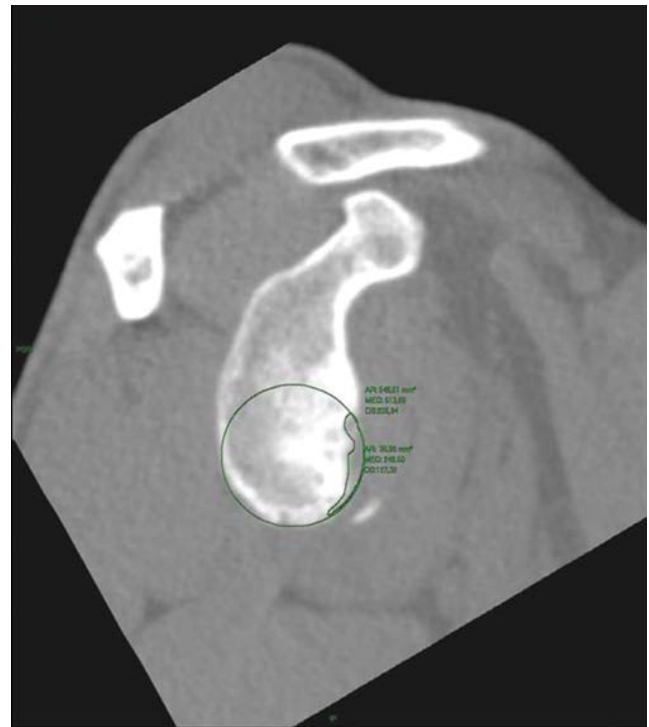


Fig. 2 CT image of the pathological shoulder of one of the study patients (patient #5). The green circle shows the total surface area calculated using Baudi's PICO method [10]; it is possible to see the glenoid deficiency and the calculation of its area.

Fig. 2 Immagine TC della spalla malata di uno dei pazienti partecipanti allo studio (paziente 5). Il cerchio verde mostra il calcolo dell'area totale secondo il metodo PICO di Baudi [10]; si può osservare il difetto glenoideo e il calcolo della sua area.

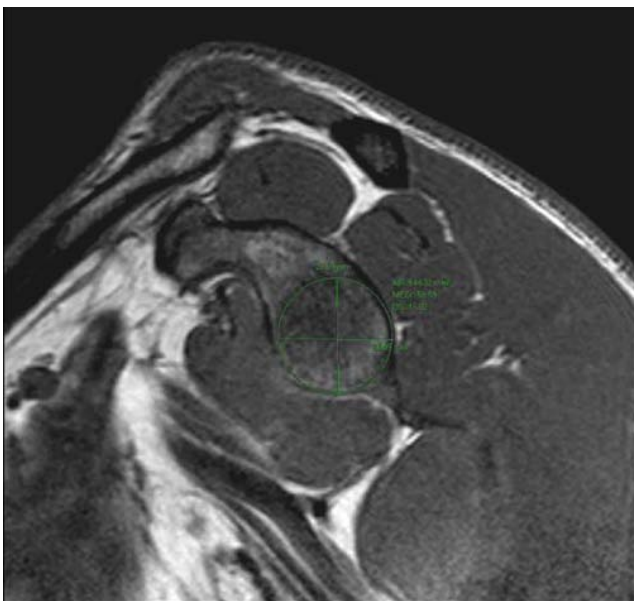


Fig. 3 MR image of the healthy shoulder of one of the study patients (patient #5). The green circle shows the total surface area calculated using Baudi's PICO method [10].

Fig. 3 Immagine RM della spalla sana di uno dei pazienti partecipanti allo studio (paziente 5). Il cerchio verde mostra il calcolo dell'area totale secondo il metodo PICO di Baudi [10].

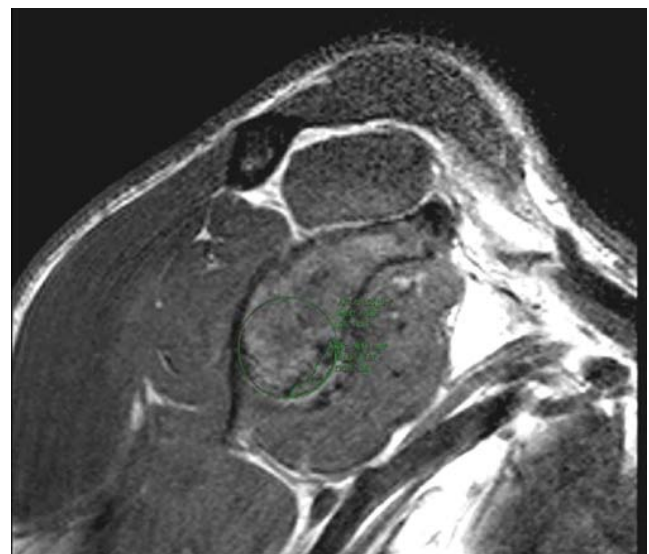


Fig. 4 MR image of the pathological shoulder of one of the study patients (patient #5). The green circle shows the total surface area calculated using Baudi's PICO method [10]; it is possible to see the glenoid deficiency and the calculation of its area.

Fig. 4 Immagine RM della spalla malata di uno dei pazienti partecipanti allo studio (paziente 5). Il cerchio verde mostra il calcolo dell'area totale secondo il metodo PICO di Baudi [10]; si può osservare il difetto glenoideo e il calcolo della sua area.

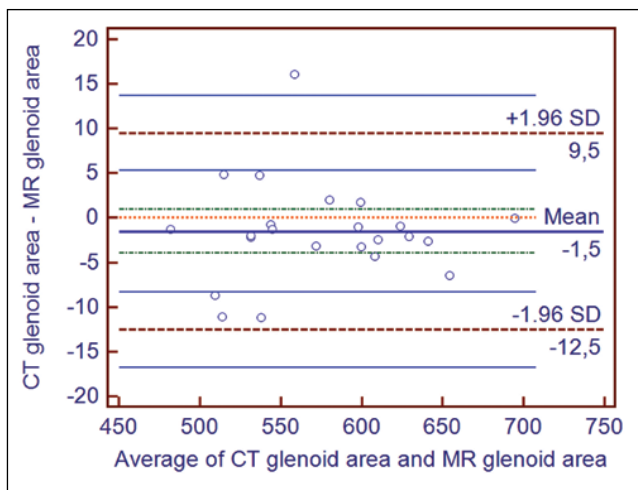


Fig. 5 Bland-Altman plot showing the concordance of the CT and MR measurements of the glenoid surface area of the healthy shoulder.

Fig. 5 Bland-Altman plot della concordanza delle misure TC e RM dell'area glenoidea sulla spalla non patologica. CT glenoid area: area glenoidea alla TC; MR glenoid area: area glenoidea alla RM; Average of CT glenoid area and MR glenoid area: media dell'area glenoidea alla TC e dell'area glenoidea alla RM.

both the CT (4.88%) and MR images (4.08%).

Inter-observer agreement between the two CT readers and the two MR readers was “very good”, with a kappa value of >0.81 .

The measurements of the area of healthy glenoid bone on which the percentage of bone loss was calculated significantly agreed in all cases except one, for which the correlation between the CT and MRI areas was beyond the confidence limit (Fig. 5). However, this did not affect the clinical relevance of the calculation (case #6: MRI area 514.08 mm^2 vs CT area 505.44 mm^2 , with respective areas of bone loss of 17.89 vs. 16.73 mm^2 , or 3.48% and 3.31%).

On the basis of Provencher's classification [8], 21 of the 23 patients in this pilot study were candidates for arthroscopy, with bone losses of 0–15% (MRI 0–14.98% and CT 0–12.83%); the remaining two (cases #18 and #9) had losses of $>15\%$ with both methods (MRI 17.22% and 17.32% ; CT 18.07% and 18.77%) (Table 1).

When the differences of the CT and MRI measurements were compared with the mean values as suggested by Altman [14], the two series of data could be considered equivalent insofar, as all were within the limit of two standard deviations (Fig. 6).

During CT, the mean effective dose was $5.8 \pm 3.0 \text{ mSv}$, and the mean equivalent dose to the critical organ (the thyroid) was $36.5 \pm 21.2 \text{ mSv}$.

Discussion

Glenoid bone loss is considered one of the factors associated with anterior shoulder instability, as it contributes to

Risultati

Nel presente lavoro, il metodo PICO è stato applicato sia all'analisi delle immagini TC (Figg. 1, 2) che RM (Figg. 3, 4). L'area della glena della spalla sana misurata varia tra $481,44$ e $694,34 \text{ mm}^2$ in TC, tra $482,69$ e $694,41 \text{ mm}^2$ in RM, con un valore medio rispettivamente di $573,76 \text{ mm}^2$ e $575,29 \text{ mm}^2$. Il valore medio del difetto glenoideo, misurato manualmente dai due operatori, variava tra 0 e $92,78 \text{ mm}^2$ in RM e tra 0 e $94,79 \text{ mm}^2$ in TC. La misura del difetto glenoideo è di $4,38\%$ per la RM e $4,34\%$ per la TC, senza differenze statisticamente significative tra le due tecniche d'esame. La variabilità delle misurazioni manuali indipendenti, valutata in termini di deviazione standard che di varianza, è stata molto buona, risultando il coefficiente di varianza (CV) inferiore al 5% del valore medio sia nella TC ($4,88\%$) che nella RM ($4,08\%$). La concordanza inter-osservatore sia tra i due lettori TC, che tra i due lettori RM è risultata “very good” con un valore di $k > 0,81$.

La misura dell'area della glenoide sana, sulla quale si basa il calcolo della percentuale di danno glenoideo calcolato, è risultata concordante tra le due metodiche, con valori statisticamente significativi in tutti i casi tranne uno, in cui la correlazione tra area calcolata in TC e area calcolata in RM era oltre il limite di confidenza (Fig. 5), senza che questo inficiasse la rilevanza clinica del calcolo della percentuale di danno glenoideo (caso 6, area RM $514,08 \text{ mm}^2$ vs area TC $505,44 \text{ mm}^2$, con rispettive aree di deficit osseo di $17,89$ vs. $16,73$, e percentuali rispettivamente di $3,48\%$ e $3,31\%$).

Sulla base della classificazione di Provencher [8], dei ventitre pazienti di questo studio pilota, 21 ricadono nella categoria che si candida a un trattamento artroscopico, avendo un difetto osseo compreso tra 0% e 15% (tutti con danno compreso tra 0% e $14,98\%$ in RM, e tra 0% e $12,83\%$ in TC); 2 (pazienti #18 e #9) si presentano invece, a entrambe le metodiche, come nella categoria del danno $>15\%$ (rispettivamente $17,22\%$ e $17,32\%$, $18,07\%$ e $18,77\%$ alla RM e TC) (Tabella 1).

Paragonando le differenze delle due misure TC e RM contro la loro media, come suggerito da Altman [14], si è potuto concludere che, su base clinica, le due serie di misurazioni possono ritenersi equivalenti in quanto tutte sono risultate comprese entro il limite di 2 deviazioni standard (Fig. 6).

Nel corso dell'esame TC è stata impartita una dose efficace media pari a $5,8 \pm 3,0 \text{ mSv}$ e un equivalente di dose medio all'organo critico (tiroide) pari a $36,5 \pm 21,2 \text{ mSv}$.

Discussione

Il difetto osseo glenoideo è considerato uno dei fattori as-

Table 1 Mean area (mm²) and percentage (%) of glenoid bone loss of the pathological shoulder in comparison with the healthy contralateral shoulder, as measured by MR and CT

Patient No.	Mean MR defect (mm ²)	MR defect (%)	Mean CT defect (mm ²)	CT defect (%)
1	19.50	3.80	17.63	3.49
2	14.98	2.92	12.83	2.54
3	5.12	1.00	4.83	0.96
4	17.56	3.42	19.33	3.83
5	34.64	6.74	36.78	7.28
6	17.89	3.48	16.73	3.31
7	23.80	4.63	21.12	4.18
8	0.00	0.00	0.00	0.00
9	92.78	18.07	94.79	18.77
10	23.12	4.50	19.72	3.91
11	5.71	1.11	5.08	1.01
12	19.14	3.73	17.33	3.43
13	39.48	7.69	36.48	7.23
14	12.01	2.34	11.45	2.27
15	3.92	0.76	3.92	0.78
16	31.12	6.06	30.09	5.96
17	21.56	4.20	21.93	4.34
18	88.43	17.22	87.43	17.32
19	9.56	1.86	9.88	1.96
20	15.41	3.00	15.32	3.03
21	3.73	0.73	2.91	0.58
22	0.00	0.00	0.00	0.00
23	17.82	3.47	18.03	3.57
Mean	22.49	4.38	21.94	4.34

Tabella 1 Deficit medio in termini di area (mm²) e percentuale (%) del difetto glenoideo rispetto alla spalla sana controlaterale, in RM e TC

Numero paziente	Difetto medio RM (mm ²)	Difetto RM (%)	Difetto medio TC (mm ²)	Difetto TC (%)
1	19,50	3,80	17,63	3,49
2	14,98	2,92	12,83	2,54
3	5,12	1,00	4,83	0,96
4	17,56	3,42	19,33	3,83
5	34,64	6,74	36,78	7,28
6	17,89	3,48	16,73	3,31
7	23,80	4,63	21,12	4,18
8	0,00	0,00	0,00	0,00
9	92,78	18,07	94,79	18,77
10	23,12	4,50	19,72	3,91
11	5,71	1,11	5,08	1,01
12	19,14	3,73	17,33	3,43
13	39,48	7,69	36,48	7,23
14	12,01	2,34	11,45	2,27
15	3,92	0,76	3,92	0,78
16	31,12	6,06	30,09	5,96
17	21,56	4,20	21,93	4,34
18	88,43	17,22	87,43	17,32
19	9,56	1,86	9,88	1,96
20	15,41	3,00	15,32	3,03
21	3,73	0,73	2,91	0,58
22	0,00	0,00	0	0,00
23	17,82	3,47	18,03	3,57
Media	22,49	4,38	21,94	4,34

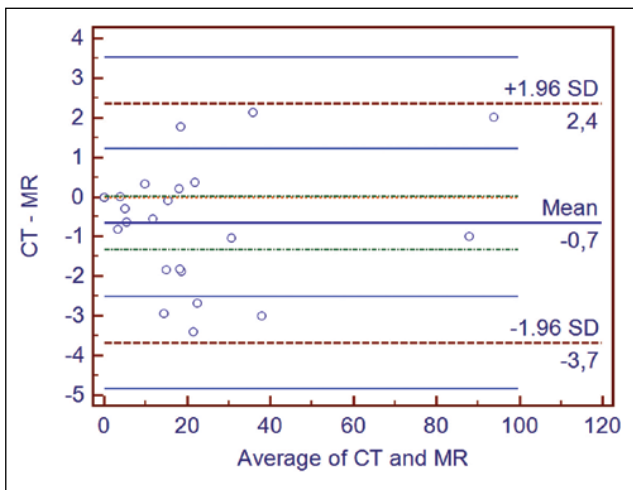


Fig. 6 Bland-Altman plot of the concordance of the CT and MR measurements of the area of glenoid bone loss.

Fig. 6 Bland-Altman plot della concordanza delle misure di danno glenoideo, misurato con TC e RM. CT-MR: TC-RM; Average of CT and MR: media di TC e RM.

recurrent dislocations or luxations and, more importantly, it influences the type of surgery. Many methods of ascertaining the presence and extent of bone loss have been described in the literature, and some Authors have tried to quantify it radiologically or arthroscopically [2, 15–18]. In 2003, Sugaya et al. [9] calculated the percentage of glenoid bone loss using CT-based 3D reconstructions, and showed that the lower half of the glenoid cavity can with good approximation be considered a circumference passing from three o'clock to nine o'clock. This important finding laid the basis for the method of Baudi et al. [10], which has the advantage of using multiplanar reconstructions. As the surfaces of the two glenoid cavities in the same subject are identical, by first calculating the circumferential area of the lower half of the healthy shoulder, the bone loss can be calculated in terms of area (expressed in mm²) or percentage simply by drawing the area of the deficiency or the outline of the fragment. In 2007, Griffith et al. [19] compared the accuracy of CT and arthroscopy in assessing glenoid bone loss in 50 patients, and found that CT was highly sensitive and specific, and that the findings correlated closely with the arthroscopic findings. Magarelli et al. [20] compared 2D and 3D CT for the quantification of bone loss in anterior shoulder instability, and discovered that the two techniques were equivalent.

Although the 93% sensitivity and 78% specificity of CT make it the method of choice for assessing glenoid bone loss, MRI is widely used in the preoperative diagnosis of lesions affecting articular soft tissue (the glenoid rim, the capsular-ligament complex) [21–25]. Huijsmans et al. [18] have evaluated the use of Sugaya's method on MR images of 14 cadaveric shoulders, and found that the results were the same as those obtained using CT. Guglielmi et al. [26], using high-resolution equipment (3T), showed both its ap-

sociati all'instabilità anteriore di spalla, contribuendo a dislocazioni o sublussazioni ricorrenti e soprattutto condiziona il tipo di trattamento chirurgico. In letteratura sono stati descritti molti metodi per misurare la presenza e l'entità del difetto osseo. Alcuni autori hanno cercato di quantificare il deficit osseo glenoideo proponendo metodi sia radiologici sia artroscopici [2, 15–18]. Tra questi Sugaya et al. nel 2003 [9] hanno calcolato la percentuale del deficit osseo glenoideo mediante un metodo TC con ricostruzioni 3D, dimostrando come la metà inferiore della glena possa essere considerata con buona approssimazione una circonferenza passante da ore tre a ore nove. Questa importante intuizione rappresenta il presupposto del metodo elaborato da Baudi et al. [10]. Rispetto alla tecnica di Sugaya, questa metodica ha il vantaggio di utilizzare ricostruzioni MPR. Poiché in uno stesso individuo la superficie delle due glene è identica, calcolando prima l'area circonferenziale della metà inferiore della glena sana, è possibile valutare la morfologia della glena patologica e calcolare il deficit osseo in termini di area (espressa in mm²) o in percentuale di superficie, semplicemente disegnando l'area deficitaria o il contorno del frammento. Griffith et al. [19], in uno studio del 2007, hanno confrontato l'accuratezza della TC rispetto all'artroscopia nella valutazione del difetto osseo della glena; cinquanta pazienti sono stati sottoposti all'esame TC e successivamente all'artroscopia. Si è riscontrato che la TC ha un'alta sensibilità e specificità nell'identificazione della perdita ossea glenoidea e presenta un'elevata correlazione con i dati ottenuti con l'artroscopia. Magarelli et al. [20] hanno confrontato la TC 2D e 3D nella quantificazione del danno osseo nell'instabilità anteriore di spalla, riscontrando l'equivalenza tra le due tecniche.

Sebbene la TC rappresenti la metodica d'elezione per valutare l'entità del danno glenoideo (presenta, infatti, un'alta sensibilità: 93% e specificità: 78%), la risonanza magnetica è largamente utilizzata nella diagnosi preoperatoria delle lesioni a carico dei tessuti molli articolari (cercine glenoideo, apparato capsulo-legamentoso) [21–25]. A tal proposito lo studio di Huijsmans et al. [18], effettuato su 14 glene di cadaveri, ha validato il metodo proposto da Sugaya applicato alla RM come metodica sovrapponibile alla TC per quantificare il danno glenoideo. Guglielmi et al. [26], utilizzando un'apparecchiatura ad alto campo (3T), ne hanno dimostrato sia l'applicabilità per una migliore visualizzazione delle strutture ossee, tendinee, cartilaginee e legamentose, sia una maggiore risoluzione spaziale, particolarmente utile nello studio delle articolazioni o di alcune loro componenti fino a oggi valutabili in maniera sub-ottimale con esami non artrografici.

Nel nostro studio, per la prima volta, il metodo PICO è stato applicato in vivo, sia in TC che RM, per confrontare

plicability for better visualisation of bone, cartilage and ligament structures, and better spatial resolution; the latter is particularly useful in the study of the joints or other components so far only sub-optimally evaluated with non-arthrographic examinations.

Our study is the first to use the PICO method *in vivo* to compare the diagnostic accuracy of CT and MR imaging. The two series of measurements can be considered substantially equivalent, as shown by the Cohen kappa value of >0.81 , and so this pilot study has established that the results are sufficiently promising to allow the planning of a study of a larger group of patients.

Albeit with the limitation of the small number of patients due to the preliminary nature of this study, it can be concluded that either CT or MRI can be used as a preoperative diagnostic technique for measuring bone loss using the PICO method. It has also been demonstrated that MRI can be used as a reference method not only for studying the rotator cuffs and the glenoid rim, but also for quantifying bone loss; this makes it possible to limit the patient's exposure to ionising radiation when diagnosing the bone loss associated with shoulder instability.

l'accuratezza diagnostica delle due metodiche. Le due serie di misurazioni ottenute con TC e RM possono ritenersi sostanzialmente equivalenti come dimostrato dal valore K di Cohen ottenuto ($k>0,81$); pertanto questo studio pilota ha permesso di stabilire che i risultati ottenuti applicando il metodo PICO a spalle studiate in vivo sia con la TC che con la RM sono sufficientemente promettenti per pianificare uno studio allargato su una popolazione più estesa.

Si può concludere che, pur con la limitazione del numero ridotto di pazienti data la natura preliminare di questo studio, è possibile applicare indifferentemente i metodi TC e RM per misurare il difetto osseo della spalla con il metodo PICO come tecnica diagnostica pre-operatoria. Si è inoltre dimostrato che la risonanza magnetica può essere utilizzata come metodica di riferimento non solo nello studio della cuffia dei rotatori e del cercine, ma anche per la quantificazione del danno osseo; ciò permette di limitare l'esposizione dei pazienti a radiazioni ionizzanti nella diagnosi della perdita ossea associata all'instabilità di spalla.

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest related to the publication of this article.

References/Bibliografia

- Lazarus MD, Sidles JA, Harryman DT 2nd, Matsen III FA (1996) Effect of a chondral-labral defect on glenoid concavity and glenohumeral stability: a cadaveric model. *J Bone Surg Am* 78:94–102
- Itoi E, Lee SB, Berglund LJ et al (2000) The effect of a glenoid defect on anteroinferior stability of the shoulder after Bankart repair: a cadaveric study. *J Bone Joint Surg Am* 82:35–46
- Gerber C, Nyffeler RW (2002) Classification of glenohumeral joint instability. *Clin Orthop Rel Res* 400:65–76
- Tauber M, Resch H, Forstner R et al (2004) Reason for failure after surgical repair of anterior shoulder instability. *J Shoulder Elbow Surg* 13:279–285
- Balg F, Boileau P (2007) The instability severity index score. A simple pre-operative score to select patients for arthroscopic or open shoulder stabilization. *J Bone Joint Surg Br* 89:1470–1477
- Mologne TS, Provencher MT, Menzel KA et al (2007) Arthroscopic stabilization in patients with an inverted pear glenoid. Results in patients with bone loss of the anterior glenoid. *Am J Sports Med* 35:1276–1283
- Bigliani LU, Newton PM, Steinmann SP et al (1998) Glenoid rim lesions associated with recurrent anterior dislocation of the shoulder. *Am J Sports Med* 26:41–45
- Provencher MT, Bhatia S, Ghodadra NS et al (2010) Recurrent shoulder instability: current concepts for evaluation and management of glenoid bone loss. *J Bone Joint Surg* 92:133–151
- Sugaya H, Moriishi J, Dohi M et al (2003) Glenoid rim morphology in recurrent anterior glenohumeral instability. *J Bone Joint Surg Am* 85:878–884
- Baudi P, Righi P, Bolognesi D et al (2005) How to identify and calculate glenoid bone deficit. *Chir Organi Mov* 90:145–152
- Jones R, Payne B (eds) (1997) *Clinical investigation and statistics in laboratory medicine*. ACB Venture Publications, London
- Cohen J (1960) A coefficient of agreement for nominal scales. *Educ Psychol Meas* 20:37–46
- Altman DG (ed) (1991) *Practical statistics for medical research*. Chapman and Hall, London
- Bland JM, Altman DG (1986) Statistical method for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 8476:307–310
- Sugaya H, Moriishi J, Kamisawa I, Tsuchiya A (2006) Arthroscopic osseous Bankart repair for chronic recurrent traumatic anterior glenohumeral instability. *J Bone Joint Surg Am* 88:159–169
- Burkhart SS, De Beer JF, Tehrany AM, Parten PM (2002) Quantifying glenoid bone loss arthroscopically in shoulder instability. *Arthroscopy* 18:488–491
- Lo IK, Parten PM, Burkhart SS (2004) The inverted pear glenoid: an indicator of significant bone loss. *Arthroscopy* 20:169–174
- Huijsmans PE, Haen PS, Kidd M et al (2007) Quantification of a glenoid defect with three-dimensional computed tomography and magnetic resonance imaging: a cadaveric study. *J Shoulder Elbow Surg* 16:803–809

19. Griffith JF, Yung PS, Antonio GE et al (2007) CT compared with Arthroscopy in quantifying glenoid bone loss. *AJR Am J Roentgenol* 189:1490–1493
20. Magarelli N, Milano G, Baudi P et al (2012) Comparison between 2D and 3D computed tomography evaluation of glenoid bone defect in unilateral anterior gleno-humeral instability. *Radiol Med* 117:102–111
21. Beltran J, Bencardino J, Mellado J et al (1997) MR arthrography of the shoulder: variants and pitfalls. *Radiographics* 17:1403–1412
22. Chandnani VP, Gagliardi JA, Murnane TG et al (1995) Glenohumeral ligaments and shoulder capsular mechanism: evaluation with MR arthrography. *Radiology* 196:27–32
23. Garneau RA, Renferw DL, Moore TE et al (1991) Glenoid labrum: evaluation with MR imaging. *Radiology* 179:519–522
24. Palmer WE, Brown JH, Rosenthal DI (1994) Labral-ligamentous complex of the shoulder: evaluation with MR arthrography. *Radiology* 190:645–651
25. Stoller DW (1997) MR arthrography of the glenohumeral joint. *Radiol Clin North Am* 35:97–116
26. Guglielmi G, Biccari N, Mangano F, Toffanin R (2010) 3T magnetic resonance imaging of the musculoskeletal system. *Radiol Med* 115:151–174