



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DELL'AQUILA



DISCAB
Dipartimento di Scienze
Cliniche Applicate
e Biotecnologie



Evoluzione ed evidenze della diagnostica per immagini nelle tendino-osteopatie dell'arto superiore da sovraccarico biomeccanico

Francesco Arrigoni - RTD/B

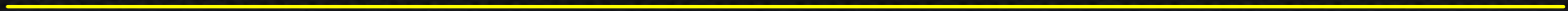
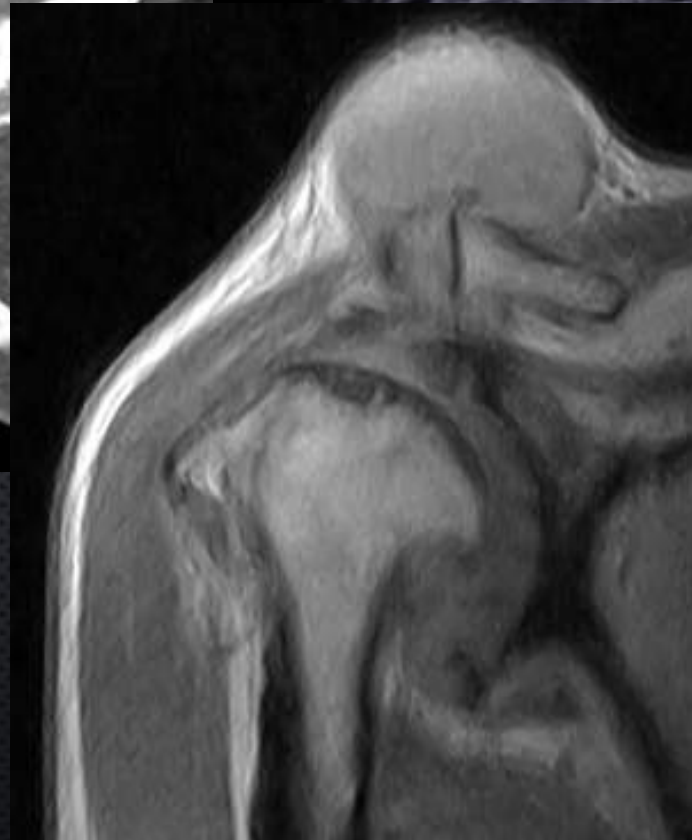
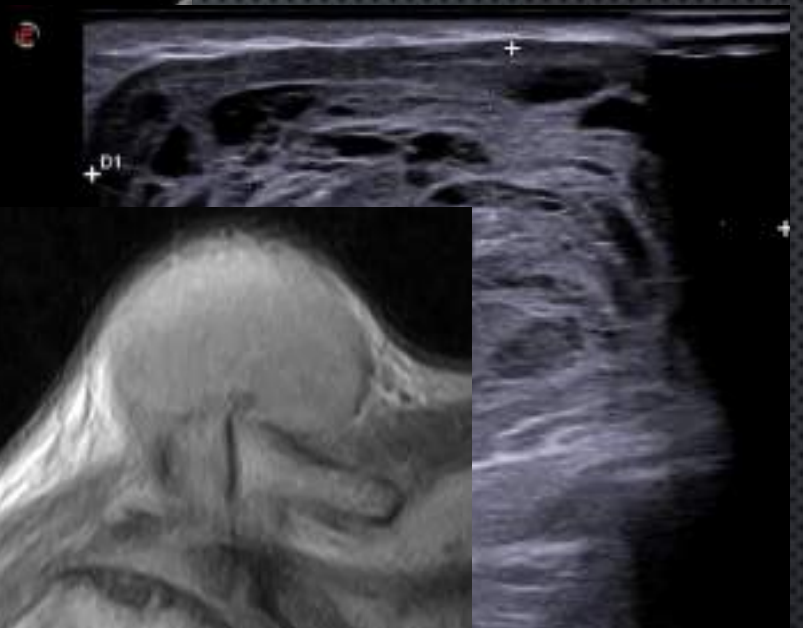
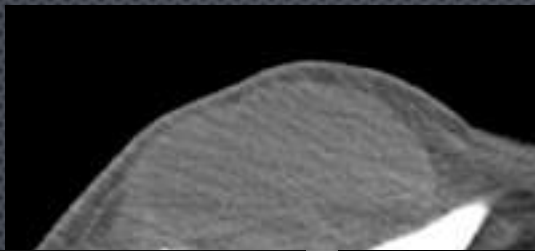
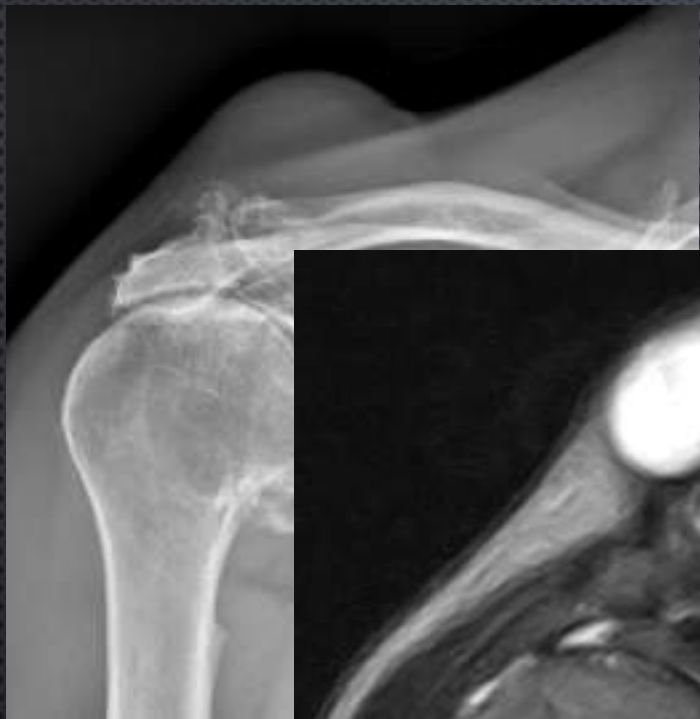
Dip. di Scienze Cliniche, Applicate e Biotecnologiche – Università degli Studi dell'Aquila
UOC Radiologia Universitaria - Ospedale San Salvatore – L'Aquila

francesco.arrigoni@univaq.it

... da dove partiamo

Radiologia Tradizionale	TC	RM	Ecografia
Raggi X	Raggi X	Campo Magnetico e Radiofrequenze	Ultrasuoni
Scheletro ed entesi (cronica)	Scheletro, entesi e tessuti molli (+o-)	Tessuti molli, scheletro ed entesi	Tessuti molli ed entesi





- *Patologia tendinea*

- I. cuffia dei rotatori;
- II. epicondiliti;
- III. sd di de Quervain,
- IV. tenosinoviti....

- *Patologia articolare*

- I. da sovraccarico
- II. da esiti post traumatici

- *Patologia infiammatoria*

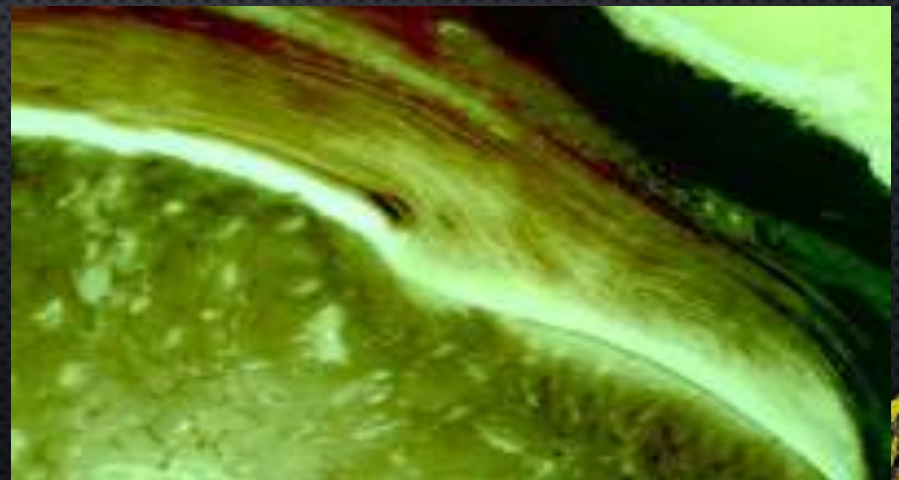
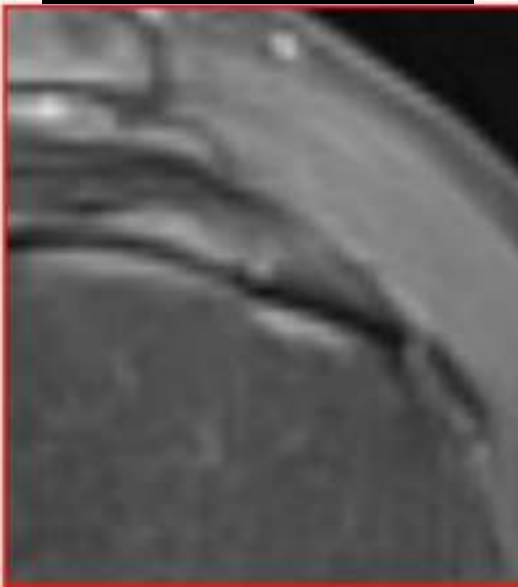
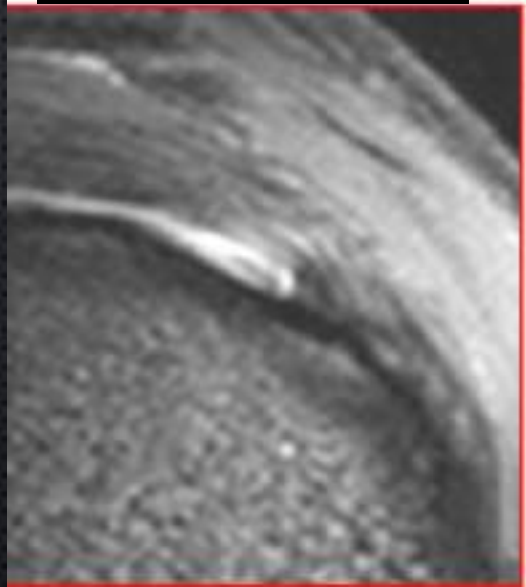
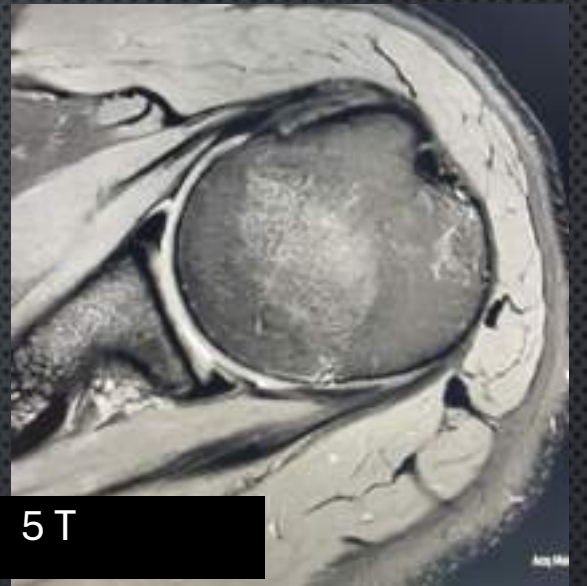
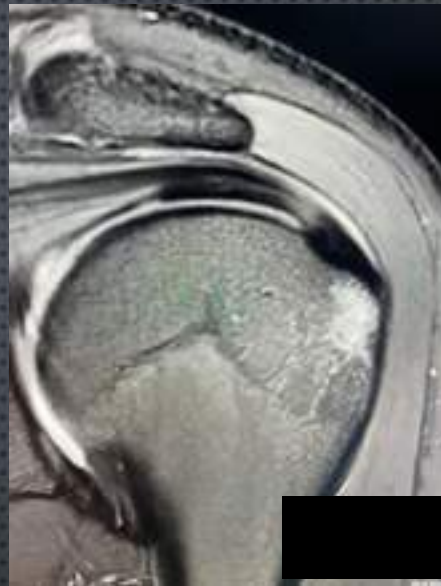
- I. da attrito
- II. da sovraccarico

- *Altro...*

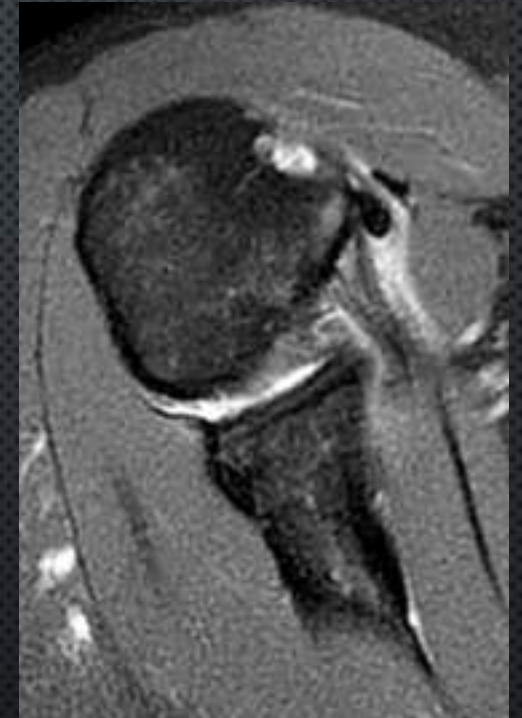
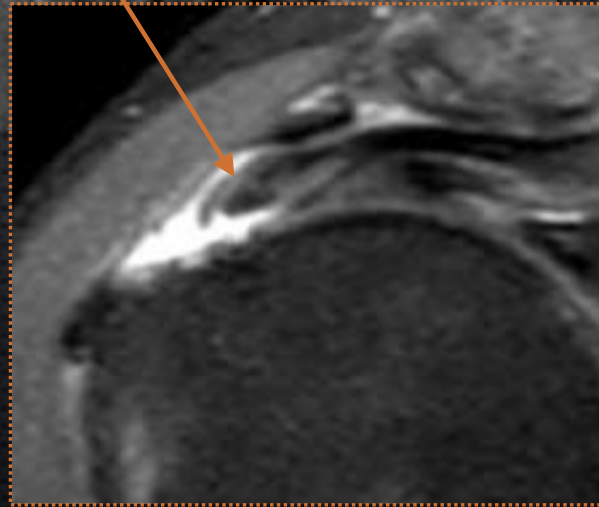
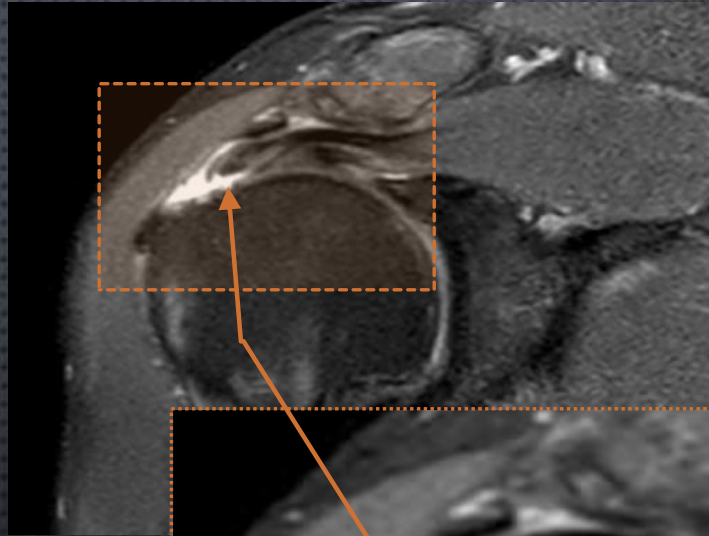
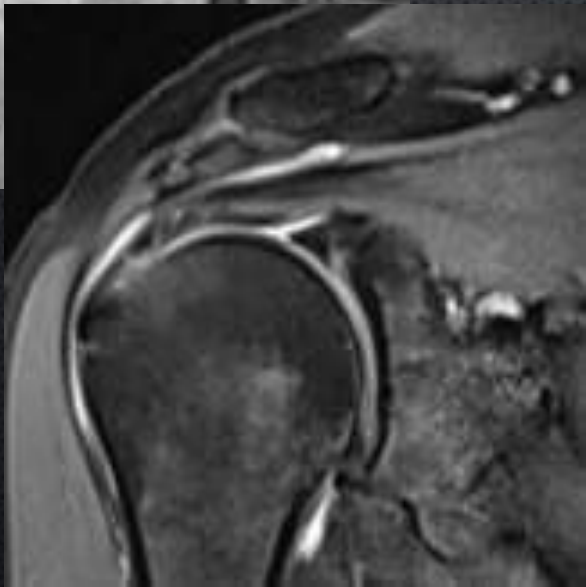
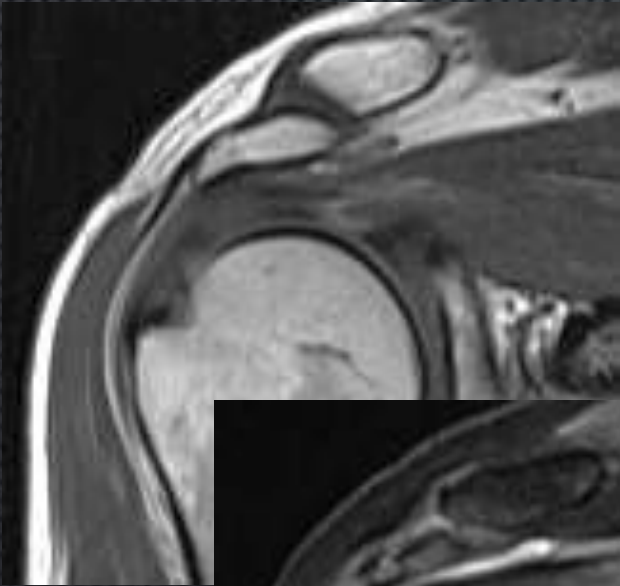
- I. metaplasia calcifica della cuffia...)

- Studio morfologico (e funzionale)
- Studio «strutturale»

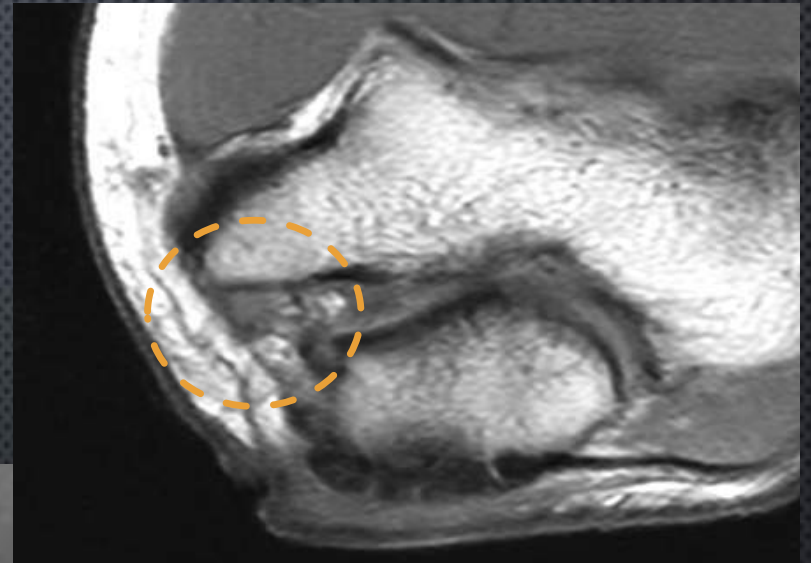
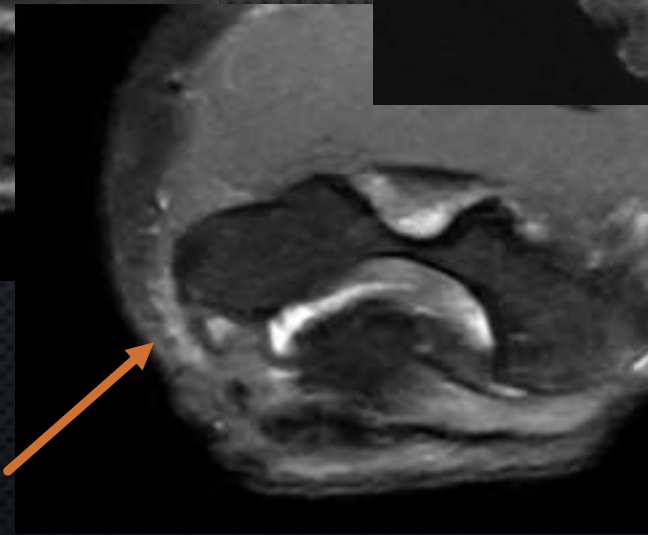
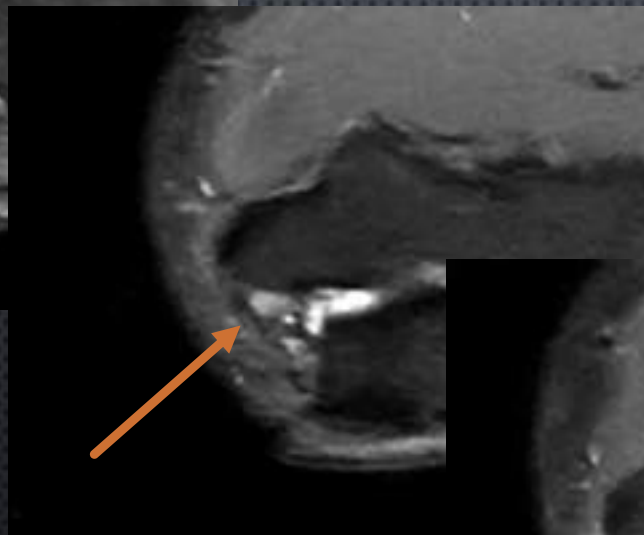
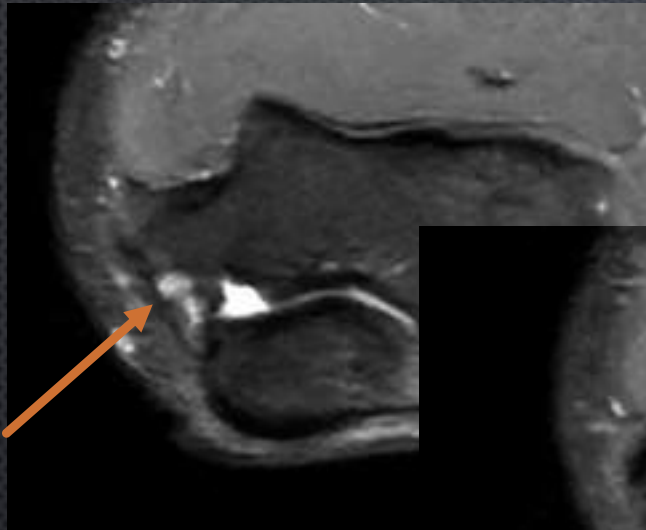




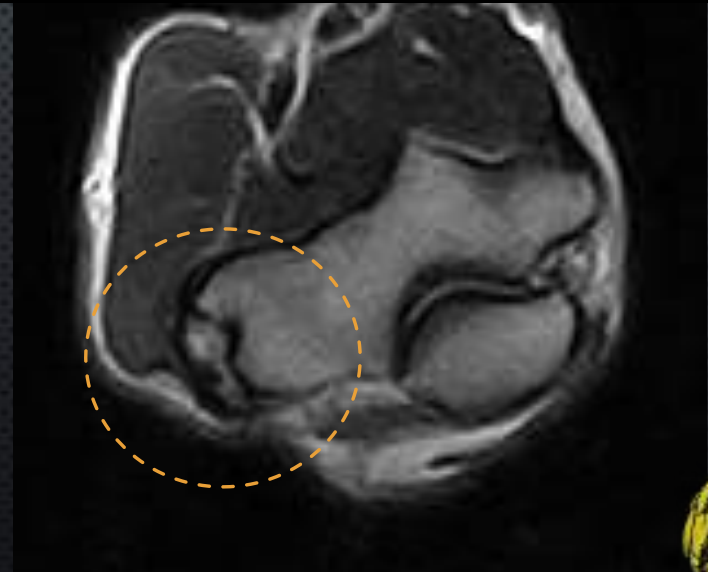
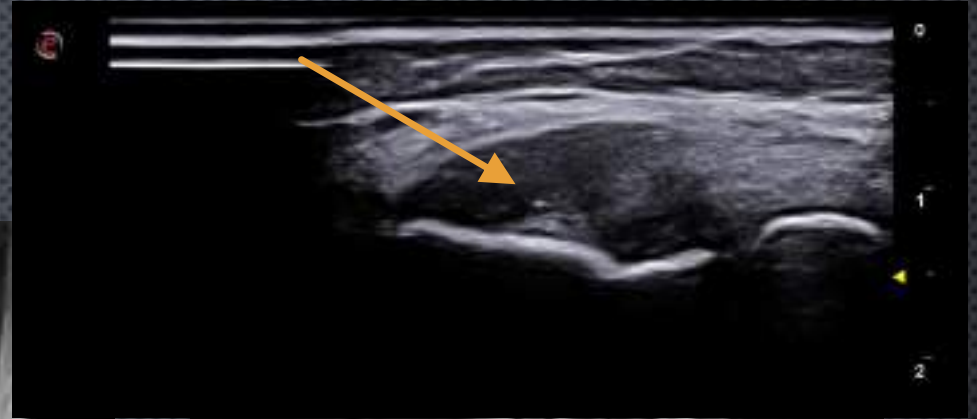
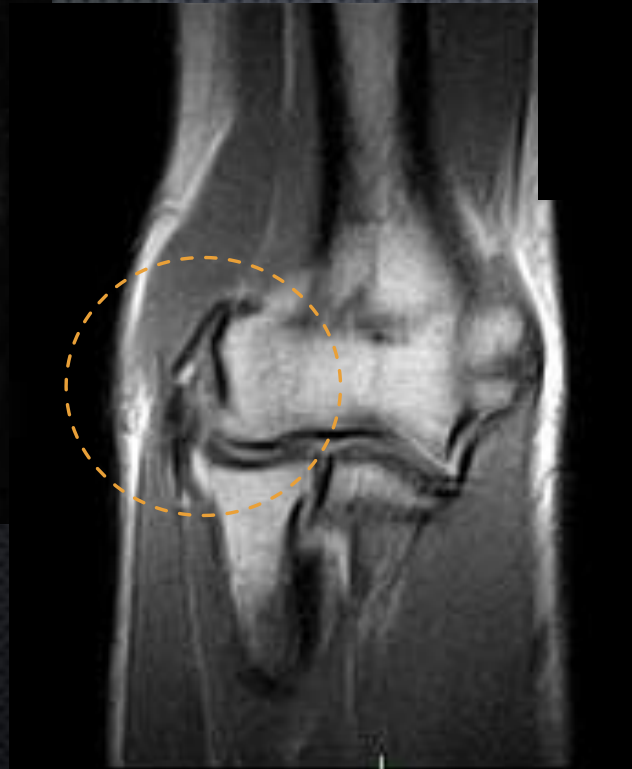
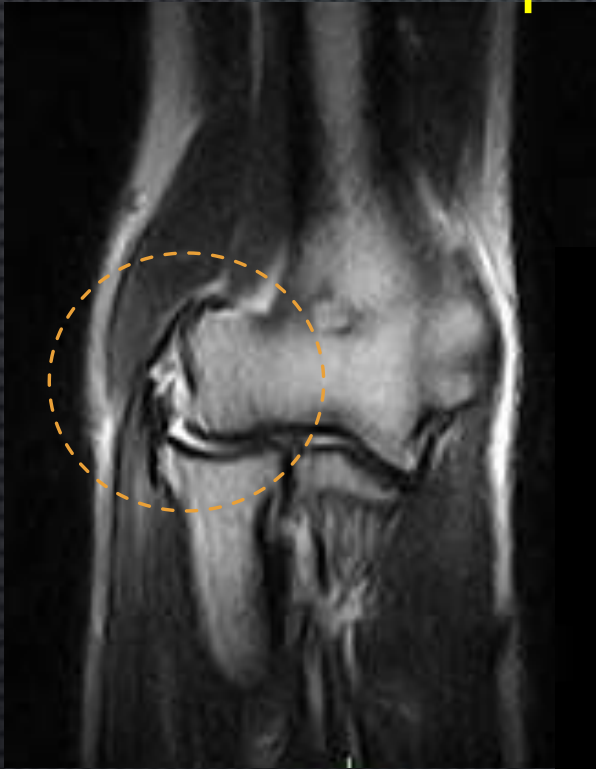
Tendinopatia degenerativa cuffia



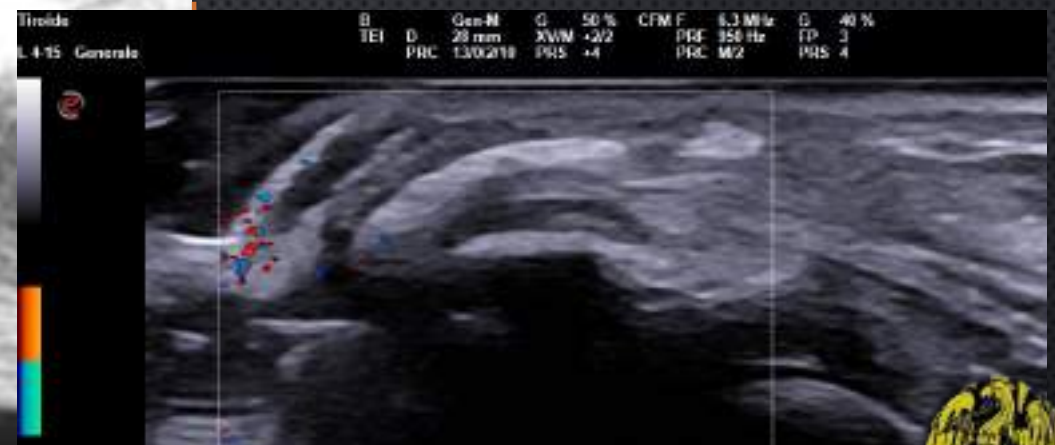
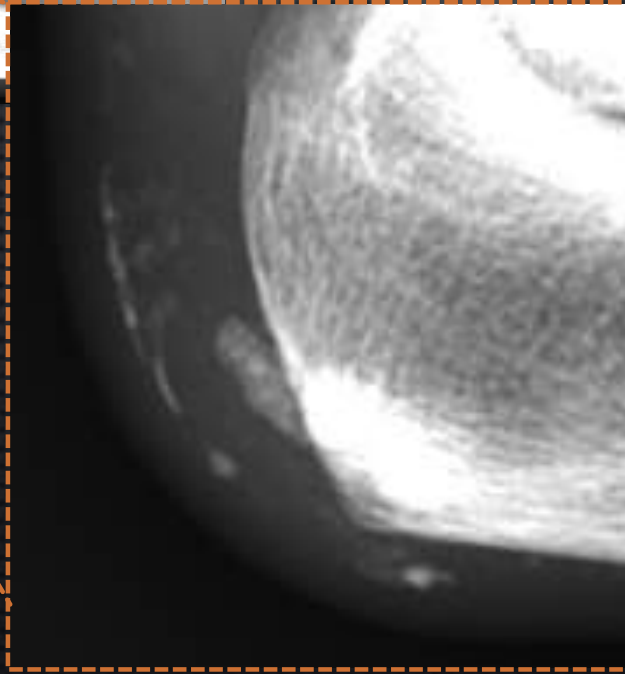
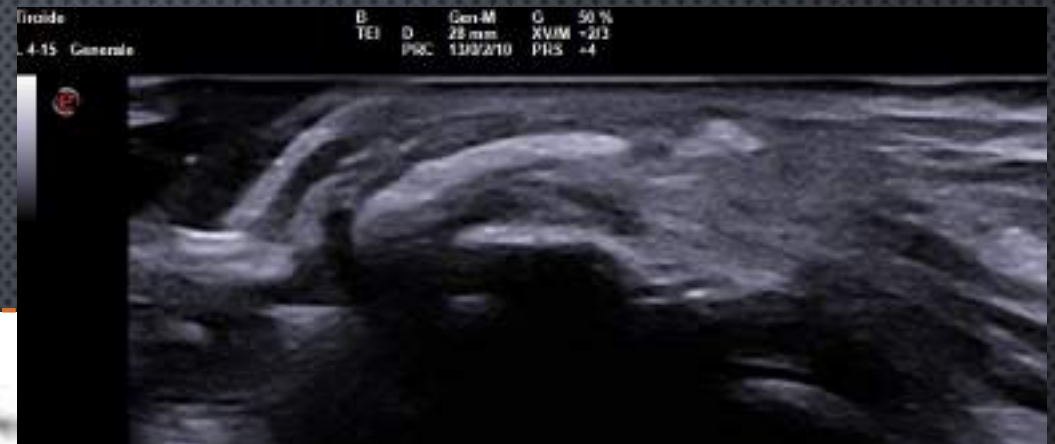
Neuropatia del nervo ulnare



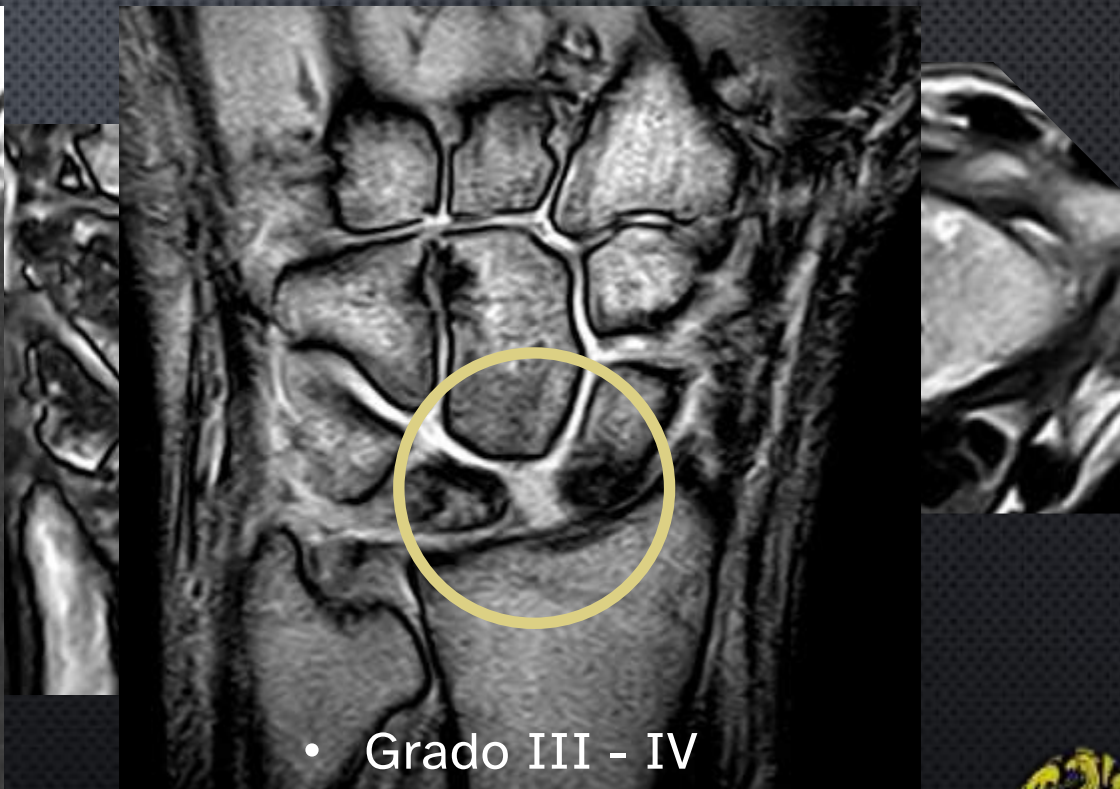
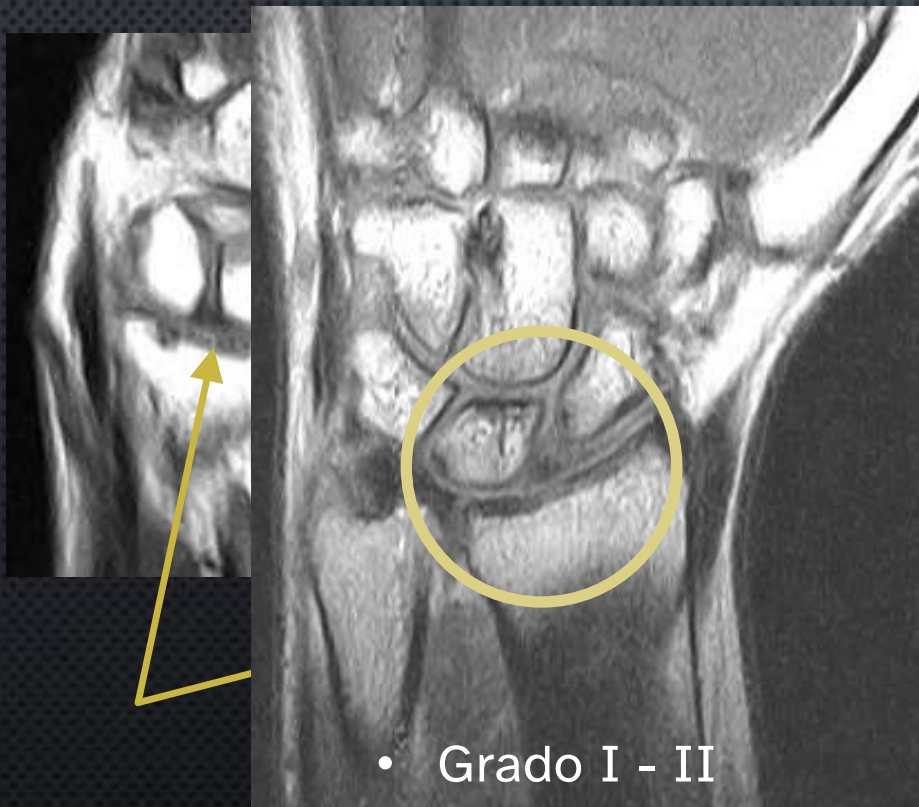
Tendinopatia degenerativa estensori



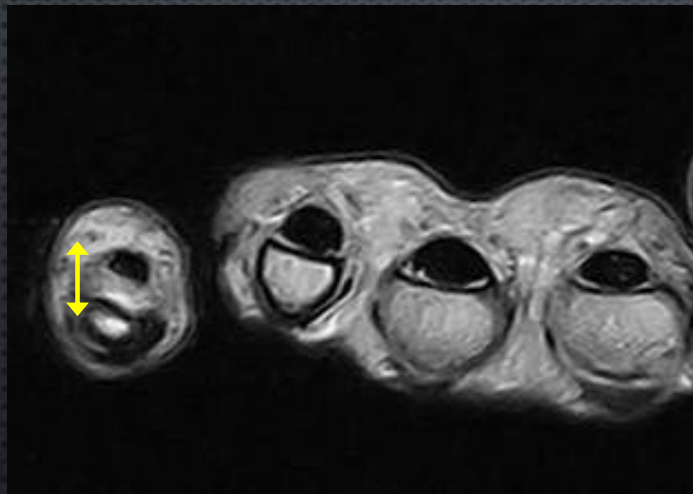
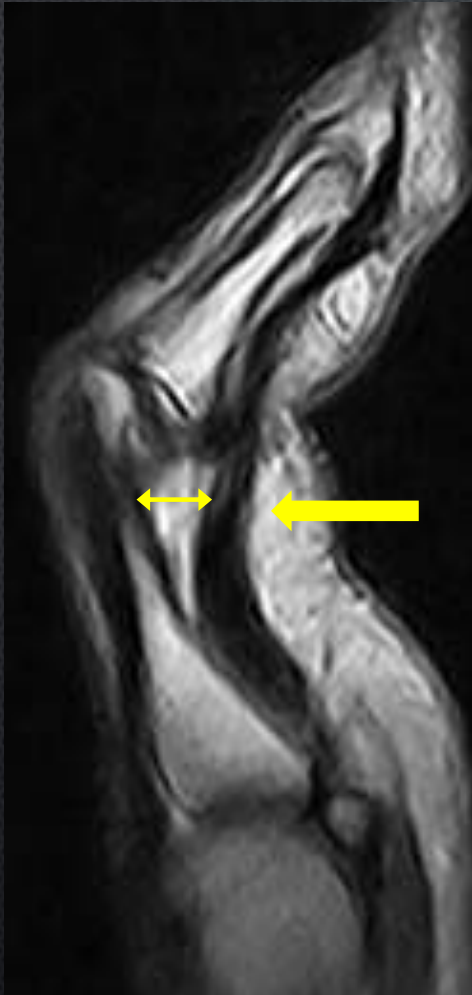
Metaplasia calcifica tendinea



Instabilità carpale



Tendini flessori del dito

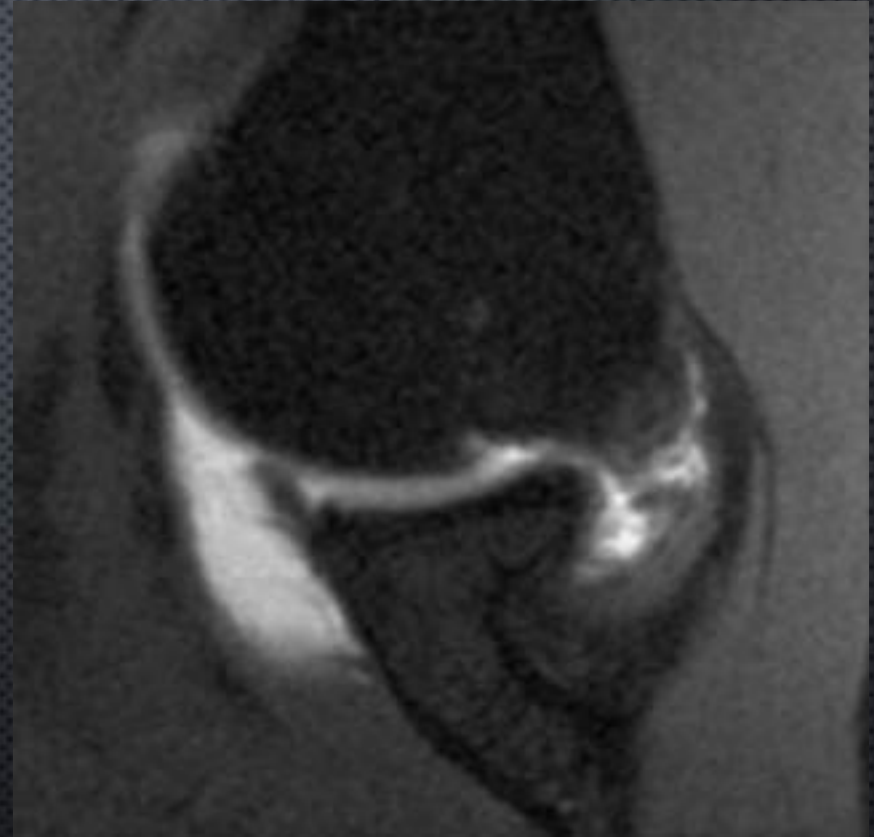


Esami «funzionali» - «dinamici»

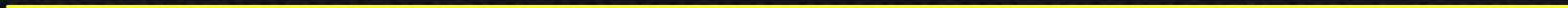


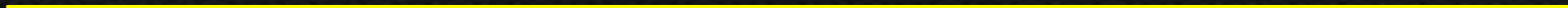


Braccio addotto



Braccio abdotta







0

-

1

-

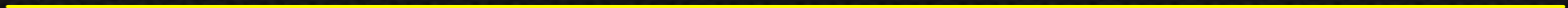
2

-

3

-

4



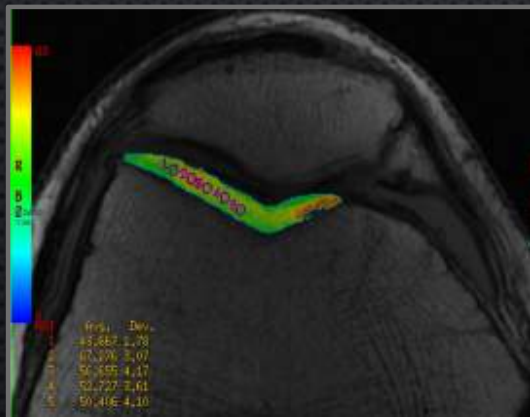
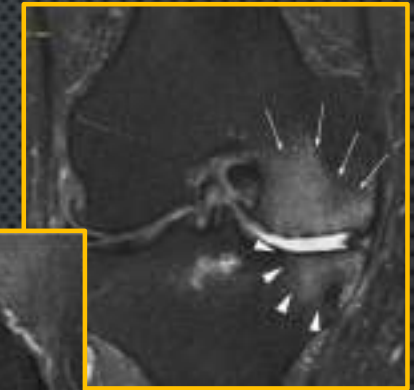
TECNICHE DI STUDIO AVANZATE

- Studio «complessivo»

- Studio «semiquantitativo»

- Studio «quantitativo»

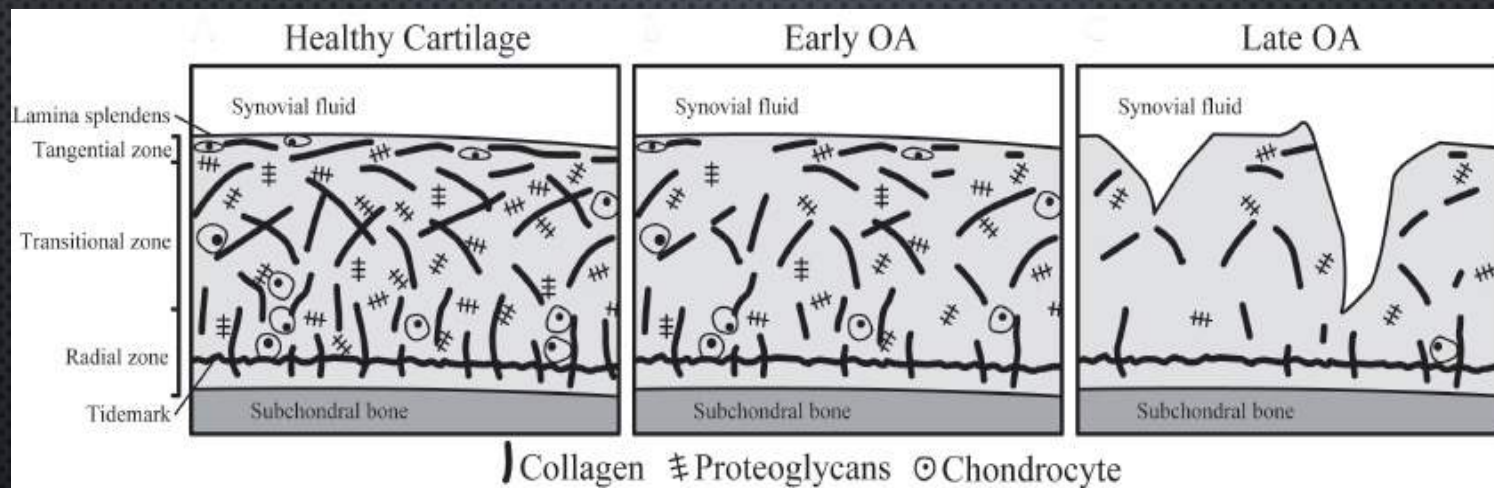
- Studio «composizionale»



Morphological (metrics) label		
VC	Volume of the cartilage	mm ³ /ml
tAB	Total area of subchondral bone	cm ²
AC	Area of cartilage surface	cm ²
cAB	Area of tAB covered by AC	cm ²
dAB%	Percent of tAB denuded (not covered by AC)	%
VCtAB	Volume of the cartilage divided by tAB	mm
ThCtAB	Thickness of the cartilage over the entire tAB	mm
ThCcAB	Thickness of cartilage over cAB	mm
dAB%	Percent of tAB denuded (not covered by AC)	%
VCtAB	Volume of the cartilage divided by tAB	mm
ThCtAB	Thickness of the cartilage over the entire tAB	mm
ThCcAB	Thickness of cartilage over cAB	mm

STUDI COMPOSIZIONALI

- Tecniche avanzate di RM che consentono un imaging dettagliato dei tessuti valutando in maniera qualitativa e quantitativa la struttura molecolare della matrice extracellulare



- Nei processi degenerativi si ha perdita di collagene e proteoglicani, che modifica il contenuto idrico della cartilagine. Queste modificazioni non sono evidenti nelle sequenze morfologiche standard durante le fasi precoci della malattia



STUDI COMPOSIZIONALI

Technique	Outcome measure	Biochemical correlate	Advantages	Disadvantages
dGEMRIC	T_1 relaxation time	GAG content	Well validated	Long exam time Requires use of contrast agent
T_2 relaxation time mapping	T_2 relaxation time	Collagen content/ orientation	Assessment of collagen content without contrast Widely available	Magic angle effect May not capture initial biochemical changes to cartilage
$T_{1\rho}$ relaxation time mapping	$T_{1\rho}$ relaxation time	GAG content	Assessment of GAG content without contrast	SAR limits due to high RF power
Sodium MRI	^{23}Na signal intensity/ concentration	GAG content	High specificity to GAG content without contrast	Requires specialized MRI hardware Long scan time Low SNR Better results at 7 T
UTE	T_1 , T_2 , T_2^* , and $T_{1\rho}$ relaxation times	Variable	Assessment of deep regions of cartilage	Long scan time Requires specialized MRI sequences
gagCEST	CEST asymmetry	GAG content	High specificity to GAG content without contrast	Difficult to perform at 3 T and below Requires advanced post-processing tools

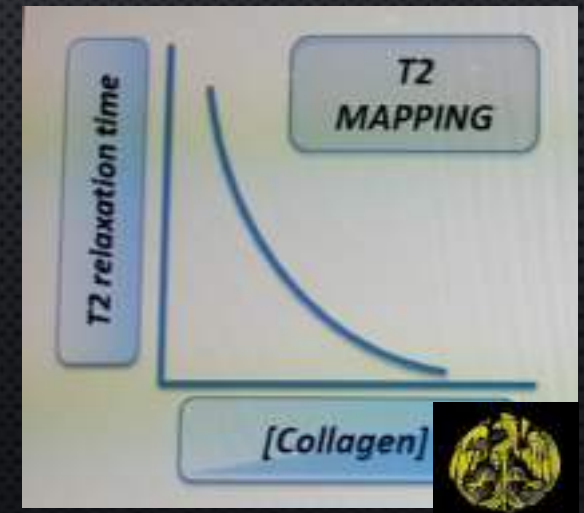
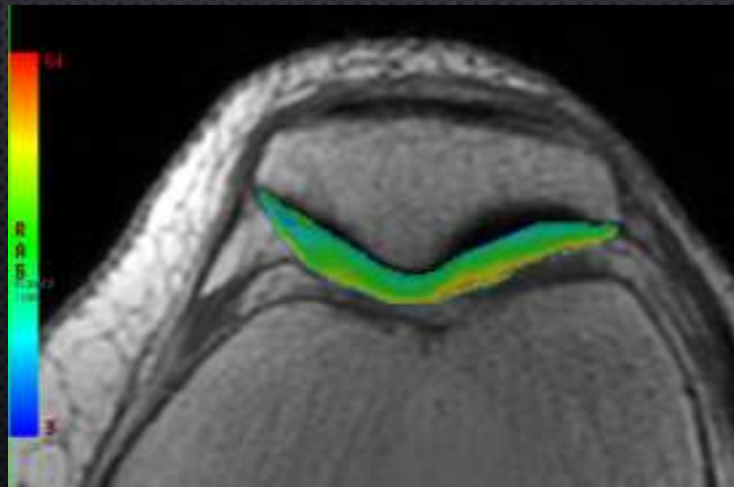


T2 mapping

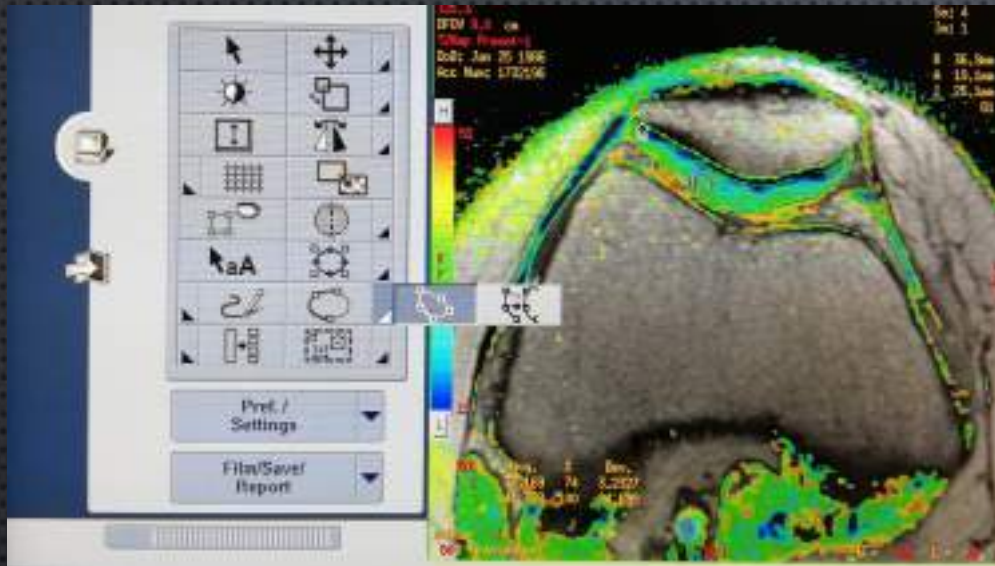
- Il tempo di rilassamento T2 riflette la capacità delle molecole protoniche dell'acqua libere di muoversi e di scambiare energia all'interno della matrice cartilaginea
- I tempi di rilassamento T2 dipendono principalmente dal contenuto di collagene della matrice extracellulare e dall'orientamento delle fibre di collagene
- Il tempo di rilassamento del T2 è misurato dal segnale di adattamento misurato in immagini pesate in T2 acquisite con tempi di eco diversi (TE) (Multi-echo SE e FSE) in una curva di decadimento mono o multi-esponenziale

Parametri di acquisizione

TR:600 msec
TE: 7.6, 15.1, 22.7, 30.3, 37.8,
45.4, 52.9, 60.5 msec
FOV:160 × 160 mm
Matrix: 320 × 224
Slice thickness: 3mm
Gap: 0 mm



T2 mapping

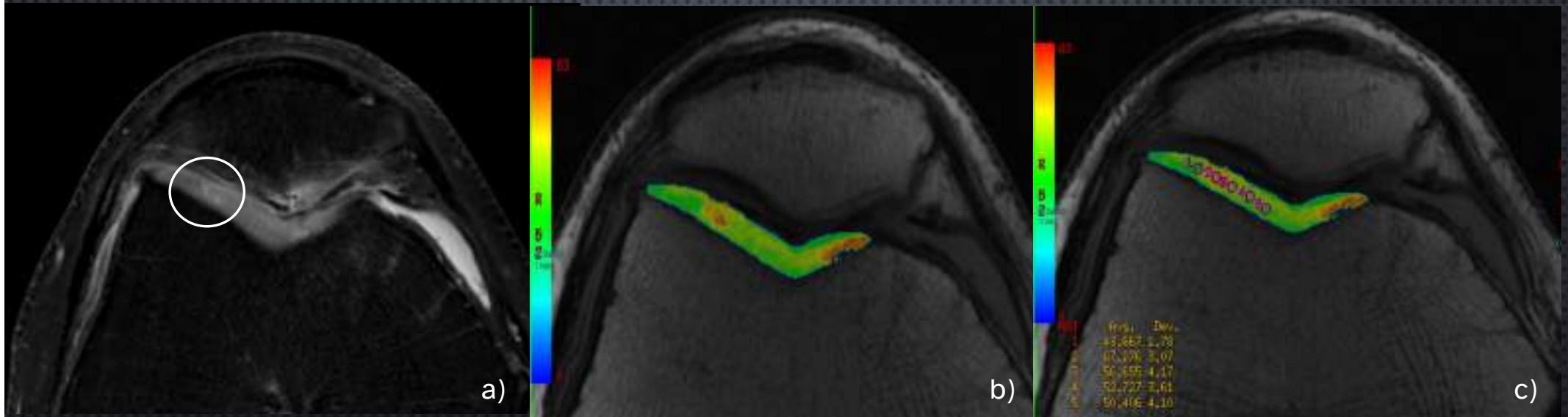


- Segmentazione e analisi zonale
- Posizionamento di ROI (valutazione quantitativa)

ROI	Avg.	%	Dev.
1	40,200	101	5,69
2	39,800	100	3,47



T2 mapping



dGEMRIC

La tecnica dGEMRIC (Delayed gadolinium enhanced MRI of cartilage) valuta la distribuzione relativa dei glicosaminoglicani nella cartilagine.

I glicosaminoglicani sono elementi della matrice extracellulare critici per la struttura e la funzione di cartilagine, tendini ed altre strutture. Forniscono supporto strutturale ed idratazione.

La loro perdita si traduce in una riduzione della funzionalità complessiva del tessuto ed a una degenerazione precoce della cartilagine.

Nella tecnica dGEMRIC, la distribuzione relativa dei glicosaminoglicani viene determinata tramite RM misurando la velocità di rilassamento longitudinale, o spin-reticolo (T1), dopo somministrazione endovenosa di gadopentato (Gd[DTPA]). La molecola anionica di gadopentato ed il glicosaminoglicano a carica negativa si respingono, pertanto l'accumolo di mdc una sede è inversamente proporzionale alla presenza di GAG. Dato che questo mezzo di contrasto accorcia il T1, quanto è più basso il T1 dopo la somministrazione di gadopentato, tanto minore è la concentrazione di glicosaminoglicani.

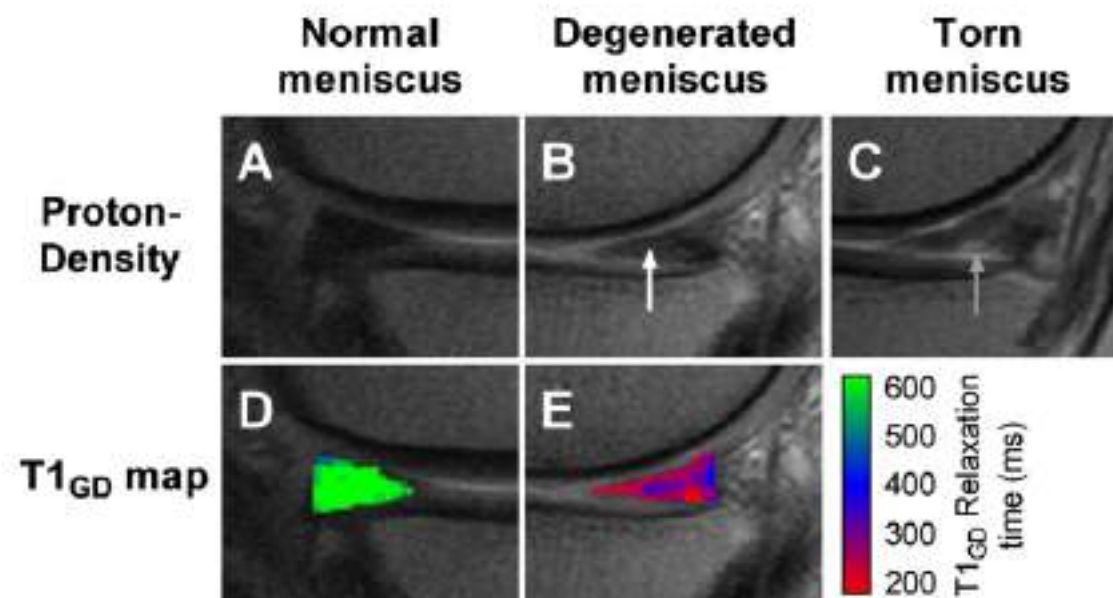
Studi hanno utilizzato dGEMRIC per misurare la concentrazione di glicosaminoglicani nella cartilagine ma anche nei tendini



Delayed gadolinium-enhanced MRI of the meniscus (dGEMRIM) in patients with knee osteoarthritis: relation with meniscal degeneration on conventional MRI, reproducibility, and correlation with dGEMRIC

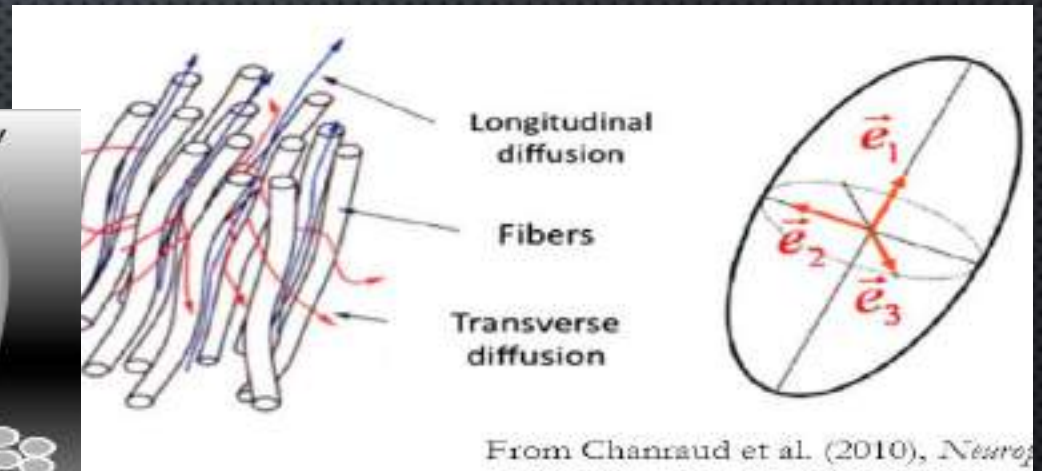
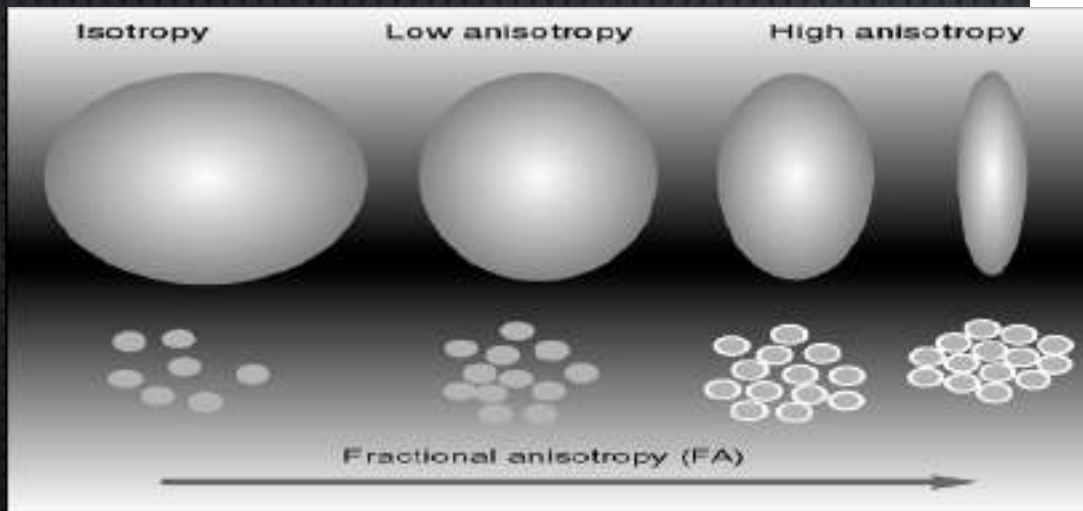
Jasper van Tiel · Gyula Kotek · Max Reijman · Pieter K. Bos · Esther E. Bro Jan A. N. Verhaar · Gabriel P. Krestin · Harrie Weinans · Edwin H. G. Oei

- Necessità del contrasto



DTI e trattografia

- Tecnica di RM basata sull'imaging in diffusione
- La diffusività delle molecole d'acqua può essere **isotropica**, quindi in tutte le direzioni dello spazio allo stesso modo, oppure **anisotropica**, come avviene in tessuti altamente strutturati in cui c'è prevalenza di una direzione
- L'effetto dell'anisotropia di diffusione può essere facilmente rilevato valutando le variazioni nelle misure di diffusione quando la direzione degli impulsi del gradiente viene cambiata (valore b)
- **L'anisotropia frazionale** è il parametro usato per quantificare l'orientamento direzionale delle molecole d'acqua nei tessuti, con valori da 0 a 1, dove valori più vicini a 0 indicano una diffusione in più direzioni, e 1 diffusione in una determinata direzione

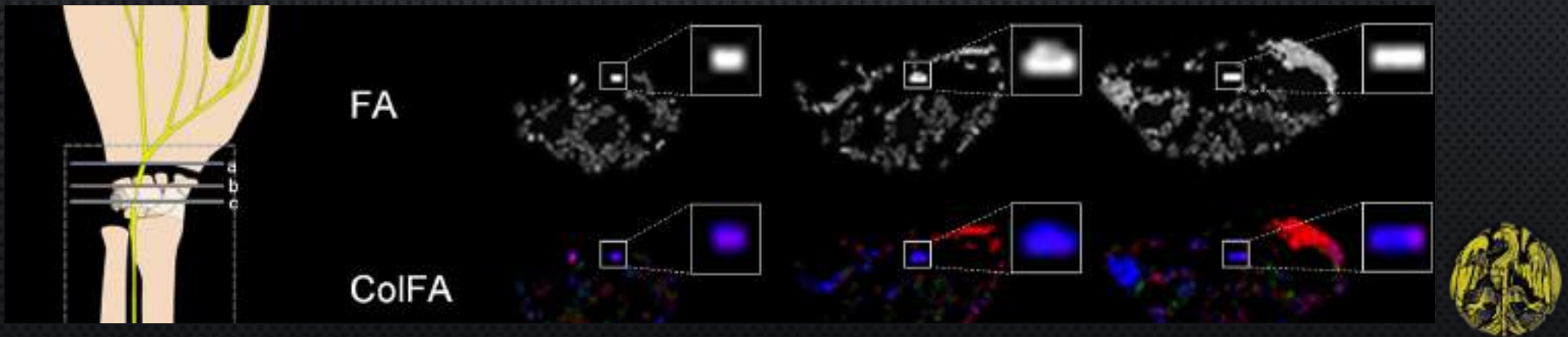


DTI e trattografia

Per calcolare il tensore di diffusione, è necessario acquisire DW-EPI con **valori b elevati** lungo almeno 6 direzioni. Maggiore è il numero di direzioni lungo le quali vengono applicati i gradienti di diffusione, maggiore è la precisione del calcolo dell'anisotropia (> tempi di scansione)

- nervo mediano 6 direzioni
- plesso brachiale 15-25 direzioni
- strutture muscolari 10-12 direzioni

Bassi valori di ADC e alta FA indicano una condizione normale di fisiologica conduzione nervosa dal momento che le fibre sono ben organizzate e quindi scarsa è la diffusione dell'acqua in altre direzioni rispetto a quella dell'asse principale.

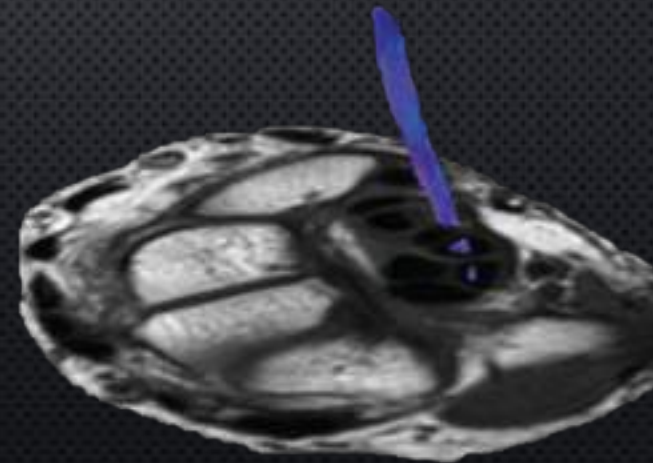


DTI e trattografia



- Vengono usate delle **mappe di colore**, dove ad ogni colore corrisponde una direzione di diffusione (CC, AP, LL)
- La trattografia consiste in un **modello 3D** del movimento delle molecole d'acqua sotto forma di tracciati di fibre ottenute dai valori di FA
- Attraverso dei software di ricostruzione si posizionano ROI che vanno a riconoscere voxel con vettori di diffusione e valori di AF simili, ricostruendo quindi la propagazione della diffusione.

- Neuropatie periferiche
- Lesioni nervose (valutazione pre- e postoperatoria)



ZTE - UTE

Sono innovative sequenze di RM che hanno come obiettivo la migliore visualizzazione di tessuti che hanno una struttura rigida e organizzata.

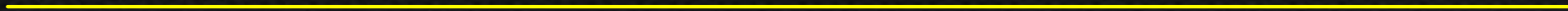
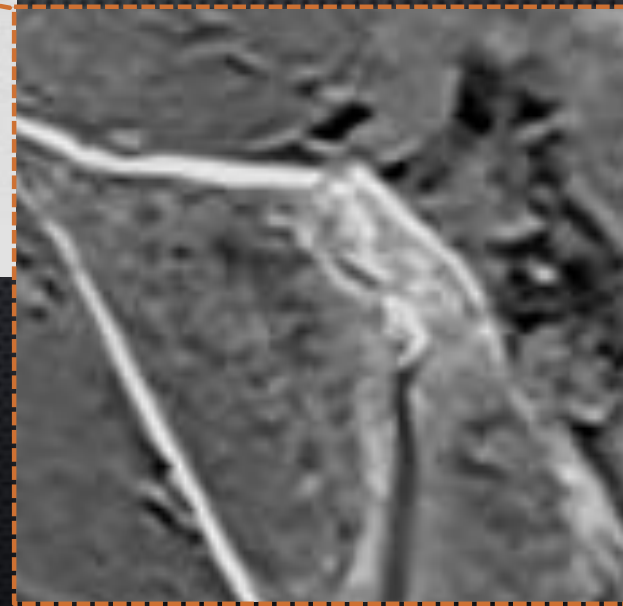
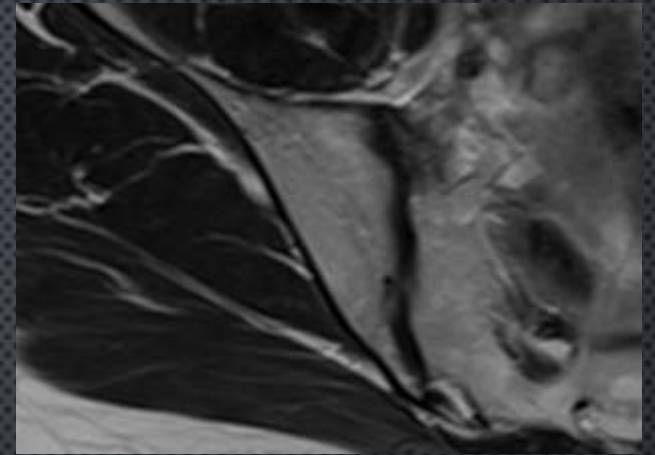
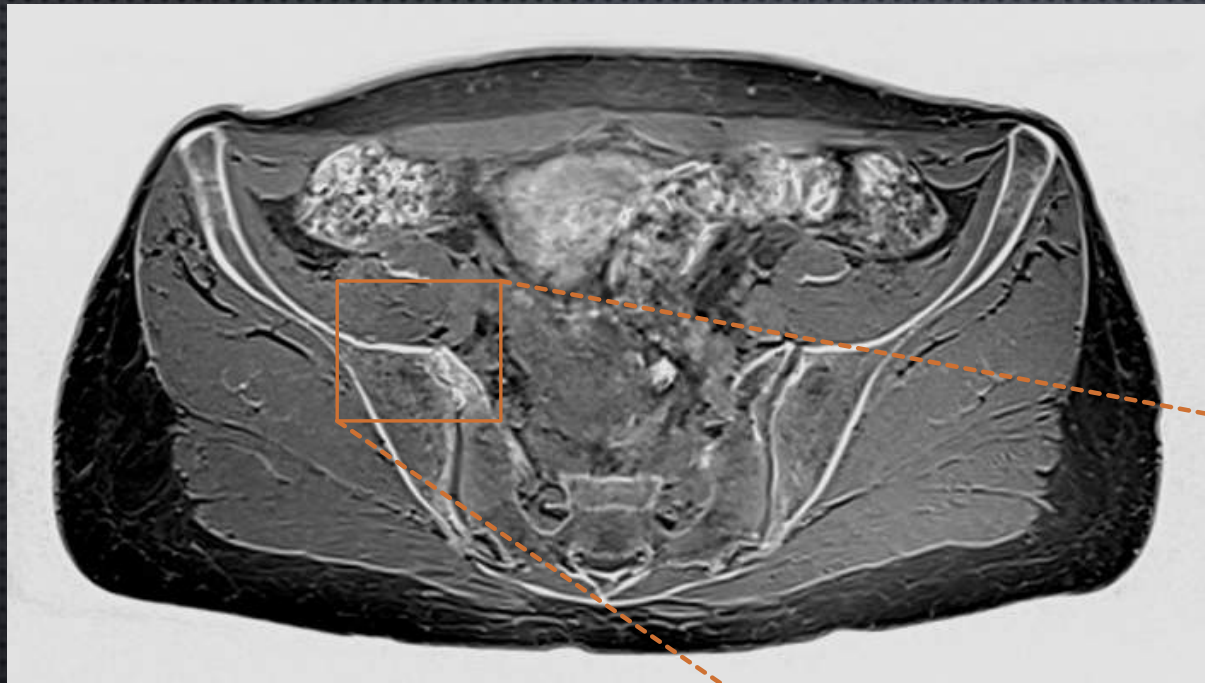
Tecnicamente hanno tempi T2 molto corti che portano ad un rapido decadimento della magnetizzazione trasversale. Bisogna quindi utilizzare sequenze con un tempo di eco ultrabreve per incrementare il segnale di queste strutture come l'osso corticale.

La scelta della tecnica UTE (tempo di eco $< 0,1$ msec) o ZTE (tempo di eco di 0 msec) dipende in larga misura dalla disponibilità del fornitore e dalle applicazioni previste.

Sono generalmente associate a sequenze gradient echo isotropiche per il dettaglio



ZTE - UTE



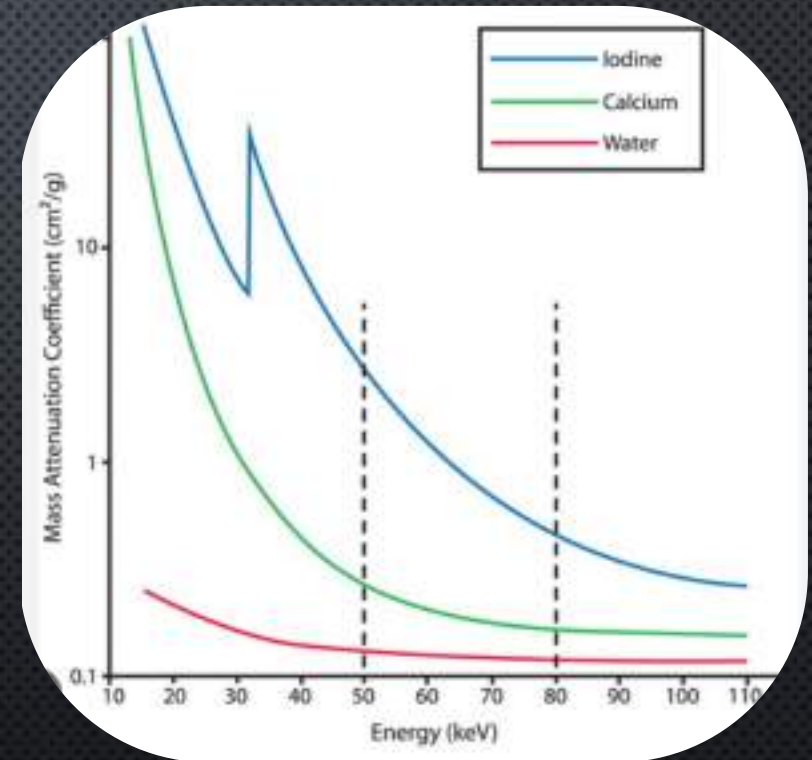
Dual energy CT

Il principio della DECT si basa sul fatto che è possibile ottenere informazioni dipendenti dall'energia in base ai singoli coefficienti di attenuazione misurati. Questo perché dallo spettro di differenti energie (dei raggi X, kV) otteniamo differenti informazioni perché le modalità di interazione con la materia delle diverse energie è differente (effetto fotoelettrico e Compton in varia misura).

Generalmente 80-90 e 140-150 kV.

Due tubi e detettori o altre tecnologie come lo switching (per l'erogazione) e il pannello Photon Counting per la detezione

Vari algoritmi di ricostruzione come Virtual non contrast (che sottrae lo iodio) permettendo quindi di produrre un'immagine senza mdc da una acquisizione con mdc



Dual energy CT

La radiologia medica (2024) 129:1038–1047
<https://doi.org/10.1007/s11547-024-01827-6>

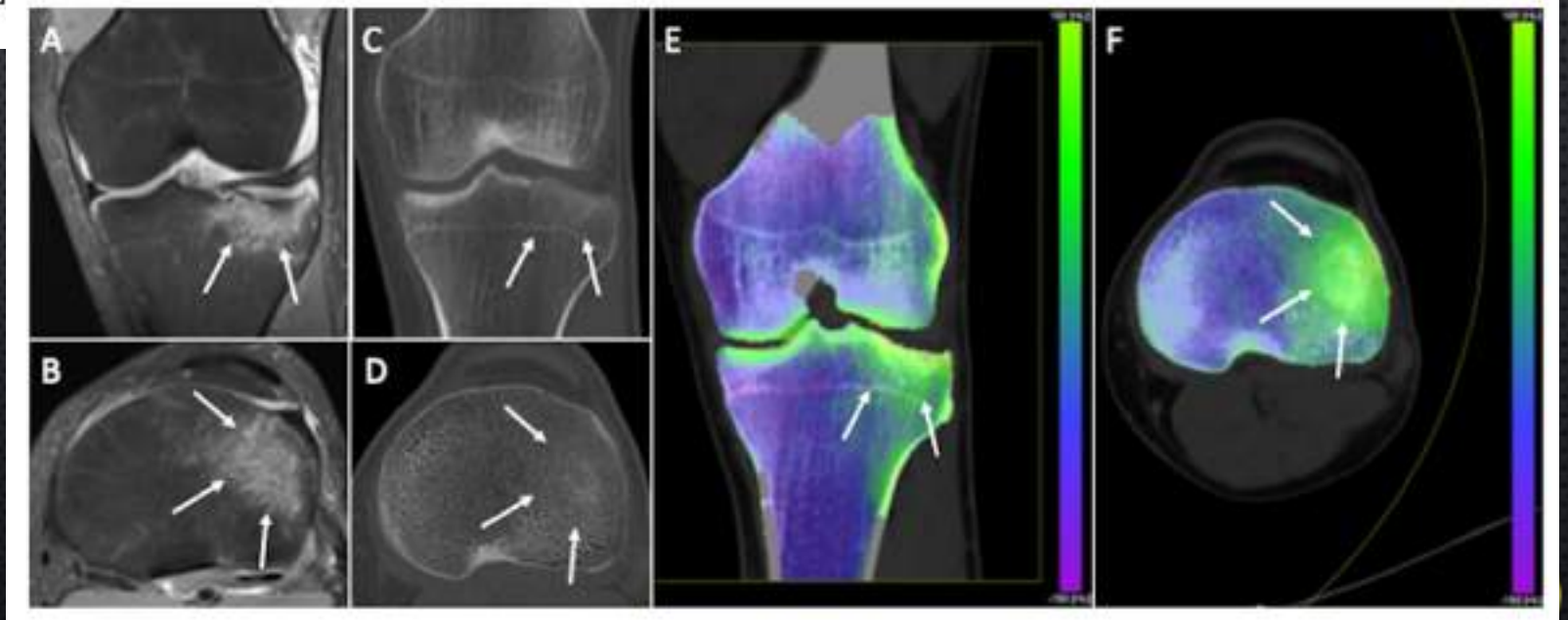
COMPUTED TOMOGRAPHY



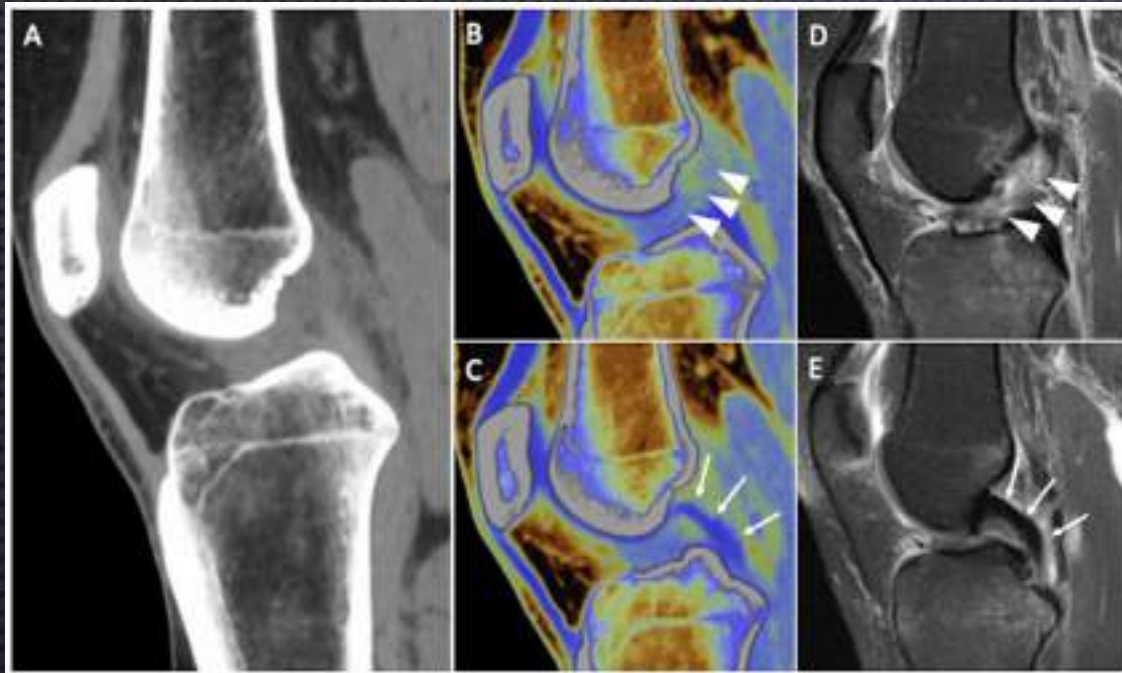
Dual-energy CT in musculoskeletal imaging: technical considerations and clinical applications

Domenico Albano^{1,2} · Filippo Di Luca³ · Tommaso D'Angelo^{4,5} · Christian Booz⁶ · Federico Midiri¹ · Salvatore Gitto^{1,7} · Stefano Fusco⁷ · Francesca

- Non vede bene l'osso «subcondrale» e pertanto le lesioni osteocondrali con edema sono mal visibili



Dual energy CT



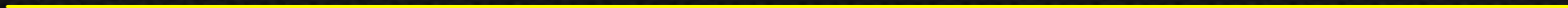
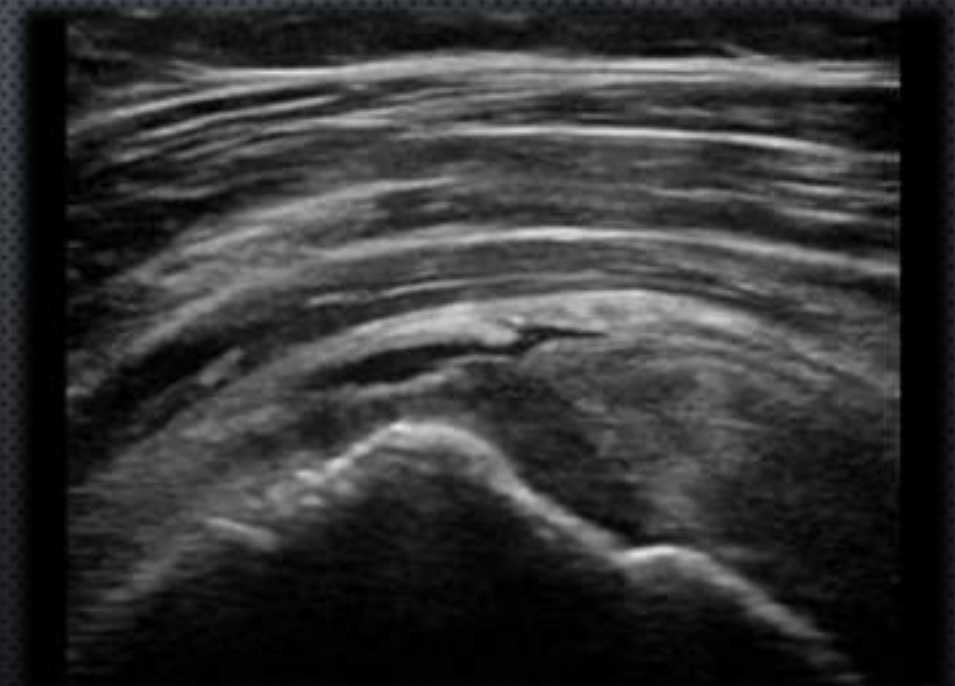
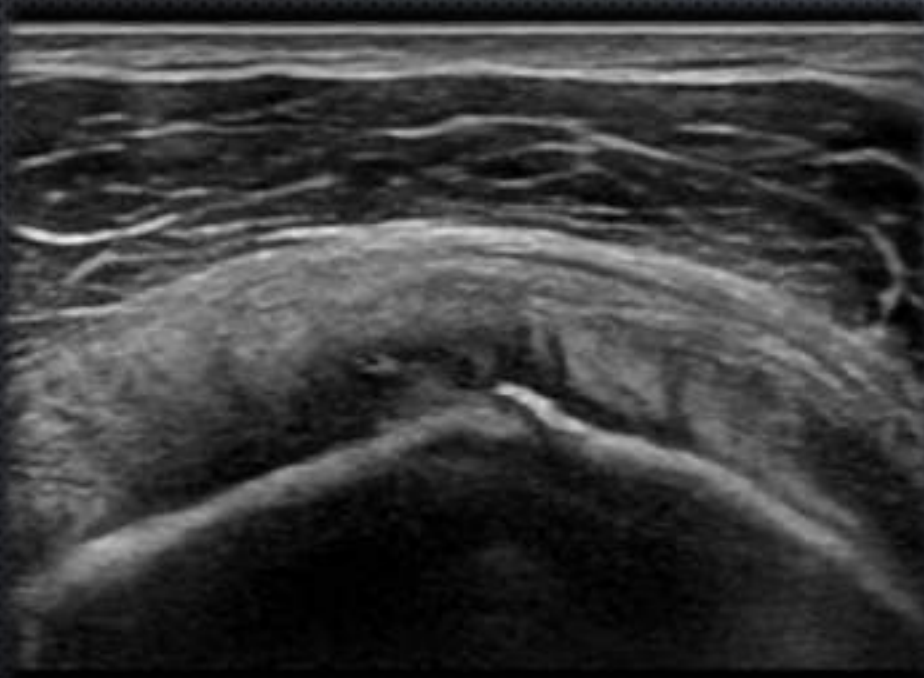
Utilizzando algoritmi specifici per la decomposizione dei tessuti , è possibile distinguere le strutture ricche in collagene rispetto ai tessuti molli >> tendini e legamenti

Identificazione dei depositi di cristalli come urato o pirofosfato di calcio



Elastosonografia (shear wave US)

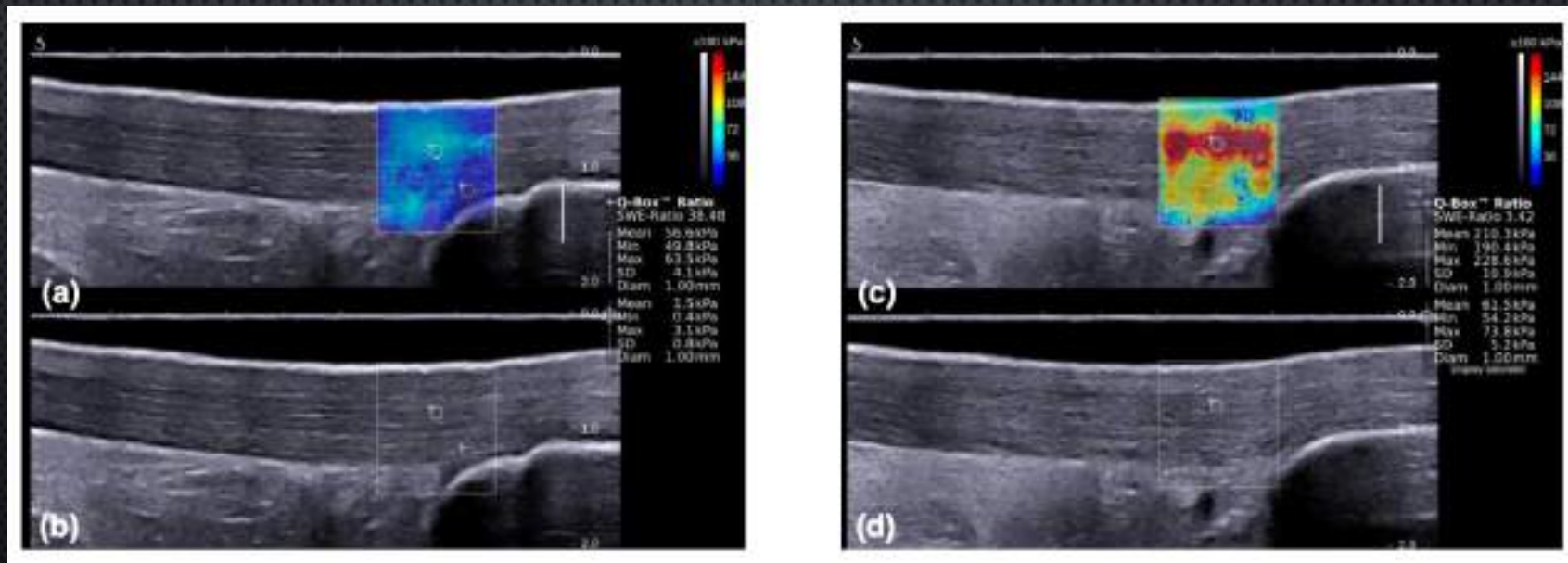
- L'ecografia tradizionale ci dà dei parametri morfologici per lo studio dei tendini



Elastosonografia (shear wave US)

L'elastosonografia ci da delle informazioni aggiuntive relativamente alla rigidità delle strutture attraversate dal fascio di ultrasuoni

In particolare emettendo delle onde meccaniche di taglio il cui ritorno viene quantificato e su questa base i tessuti vengono rappresentati sia in scala colorimetrica definendo un tessuto rigido o molle che in scala numerica assoluta (kPa).



Elastosonografia (shear wave US)

Vantaggi:

Tecnica agile ecografica; tendenzialmente la struttura di tendini patologici, degenerati è più molle rispetto a tendini sani.

Svantaggi:

Elevata eterogenicità dei risultati con scarsa riproducibilità (legata non solo all'esperienza dell'esaminatore, ma anche al grado di tensione del tendine durante l'esame, all'inclinazione della sonda, ai parametri tecnici dell'apparecchiatura,...)

Ad oggi una certa riproducibilità viene sostenuta solo per lo studio di tendini di Achille e congiunti flessori ed estensori di gomito.



Conclusioni

- Nella patologia da sovraccarico biomeccanico RM ed US rappresentano le tecniche di imaging più sensibili e specifiche
- Gli sviluppi tecnologici delle tecniche classiche permettono maggiore accuratezza diagnostica
- I limiti noti della dipendenza dell'ecografia dall'operatore si riflettono anche sui suoi sviluppi tecnologici - elastonosografia.
- La RM sta andando verso una definizione microstrutturale e composizionale delle strutture anatomiche
- La TC con lo sviluppo tecnologico sta riducendo il gap rispetto alla RM nello studio dei tessuti molli



Bibliografia

- Albano, D. *et al.* Shear-wave elastography for the evaluation of tendinopathies: a systematic review and meta-analysis. *Radiol. Med.* **129**, 107–117 (2024)
- Dirrichs, T. *et al.* Shear Wave Elastography (SWE) for Monitoring of Treatment of Tendinopathies A Double-blinded, Longitudinal Clinical Study. *Acad. Radiol.* **25**, 265–272 (2018)
- Mosher, T. & Dardzinski, B. Cartilage MRI T2 Relaxation Time Mapping: Overview and Applications. *Semin. Musculoskelet. Radiol.* **08**, 355–368 (2004).
- Tiel, J. van *et al.* Delayed gadolinium-enhanced MRI of the meniscus (dGEMRIM) in patients with knee osteoarthritis: relation with meniscal degeneration on conventional MRI, reproducibility, and correlation with dGEMRIC. *Eur. Radiol.* **24**, 2261–2270 (2014)
- Matzat, S. J., Tiel, J. van, Gold, G. E. & Oei, E. H. G. Quantitative MRI techniques of cartilage composition. *Quant. Imaging Med. Surg.* **3**, 16274–16174 (2013)
- Mello, R. de, Ma, Y., Ji, Y., Du, J. & Chang, E. Y. Quantitative MRI Musculoskeletal Techniques: An Update. *Am. J. Roentgenol.* **213**, 524–533 (2019)
- Sneag, D. B. *et al.* MRI Advancements in Musculoskeletal Clinical and Research Practice. *Radiology* **308**, e230531 (2023)

