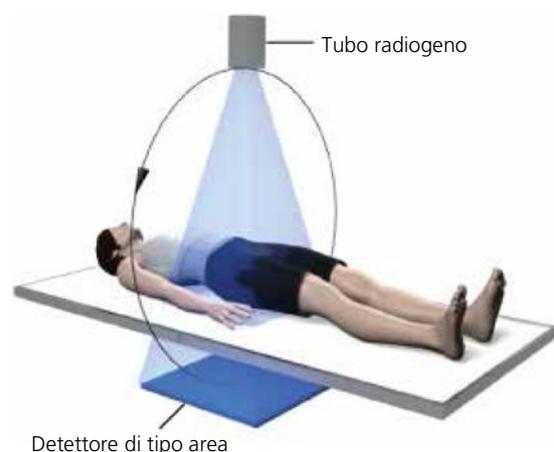


I vantaggi dell'imaging Cone Beam volumetrico per gli esami ortopedici degli arti

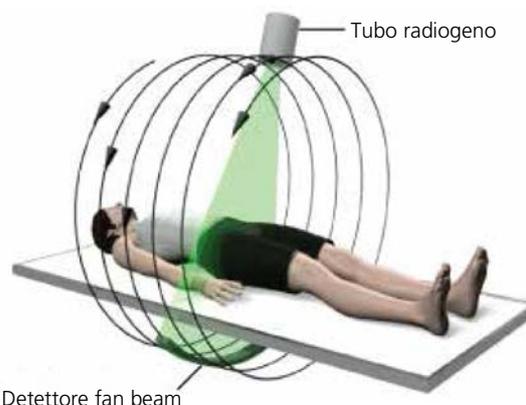
Imaging Cone Beam CT per gli arti

La Cone Beam Computed Tomography (CBCT), descritta inizialmente alla fine degli anni '70, è una variante della Tomografia Computerizzata tradizionale (TC). La differenza principale tra i due metodi riguarda il volume dell'oggetto acquisito simultaneamente. Nella TC tradizionale si acquisisce una porzione sottile del paziente mediante un "fan beam" di raggi X, ossia con un fascio "a ventaglio". Con la TC, per ottenere un volume esteso dell'anatomia, si deve ripetere più volte l'acquisizione con il "ventaglio" di raggi X sul paziente, mentre il fascio ruota. Invece, nella CBCT, un detettore a grande area acquisisce un volume esteso del paziente con una sola rotazione (vedere la Figura 1).

Figura 1: confronto tra l'imaging CBCT e quello tradizionale



Imaging CBCT: un detettore a grande area acquisisce un volume esteso del paziente con una sola rotazione.



Imaging TC tradizionale: si acquisisce una porzione sottile del paziente mediante un "fan beam" di raggi X, con rotazioni multiple.

Nella ricostruzione TC tradizionale, la risoluzione spaziale secondo l'asse z (vale a dire secondo la direzione del movimento del paziente) è determinata dalla combinazione della velocità di traslazione del paziente rispetto al ventaglio (fan) di raggi X e della velocità di rotazione della sorgente di raggi X attorno al paziente. Nella direzione dell'asse z (ossia nei piani sagittale e coronale), usualmente la risoluzione della TC tradizionale è minore di quella nel piano x-y perpendicolare (piano assiale).

Si confronti la complessità di tale imaging con la CBCT, che permette di progettare un sistema più semplice. Con la CBCT, non occorre la tecnologia "slip ring". Inoltre, la CBCT assicura una ricostruzione volumetrica con una risoluzione spaziale che è isotropa nelle tre direzioni.

La Figura 2 mostra la scansione di un ginocchio da cadavere acquisita con un sistema prototipale CBCT che Carestream Health sta sviluppando, e l'immagine della stessa parte anatomica acquisita con una TC standard. Si noti la differenza di risoluzione spaziale rispetto al sistema progettato specificamente per l'imaging degli arti.

White paper | Imaging Cone Beam CT (CBCT)

Figura 2: immagine CBCT di articolazione tibio femorale da cadavere (a sinistra) e immagine MDCT corrispondente dello stesso campione (a destra)



Solo recentemente la CBCT è diventata una soluzione praticabile convenientemente grazie all'introduzione di dispositivi di acquisizione radiografica ad alta velocità e grande area, quali i detettori flat panel basati su a-Si:H. La grande area, l'eccellente qualità d'immagine, la risoluzione elevata e la lettura rapida, assicurata da questi nuovi detettori, hanno reso possibile una serie di innovativi sistemi specializzati di imaging volumetrico, progettati per sedi anatomiche specifiche, ad esempio per imaging odontoiatrico, ORL, senologico, per sistemi utilizzati in radioterapia con guida mediante immagini e per applicazioni intraoperatorie. Carestream sta studiando l'utilizzo di questa tecnologia specificamente per l'imaging degli arti e attualmente sta conducendo ricerche con la Johns Hopkins University e con l'UBMD Orthopaedics & Sports Medicine.

Normalmente, la generazione d'immagini TC volumetriche prevede due fasi distinte: l'acquisizione delle immagini (proiezioni) e la ricostruzione del volume.

Il sistema prototipale CBCT Carestream trattato in questa pubblicazione è stato sviluppato specificamente per l'imaging degli arti (mani / polsi, gomiti, ginocchi, piedi / caviglie), e incorpora una serie di speciali funzionalità per l'acquisizione dei dati e per la ricostruzione del volume. Questa pubblicazione evidenzia alcune delle caratteristiche distintive dei sistemi di imaging CBCT applicazione-specifici.

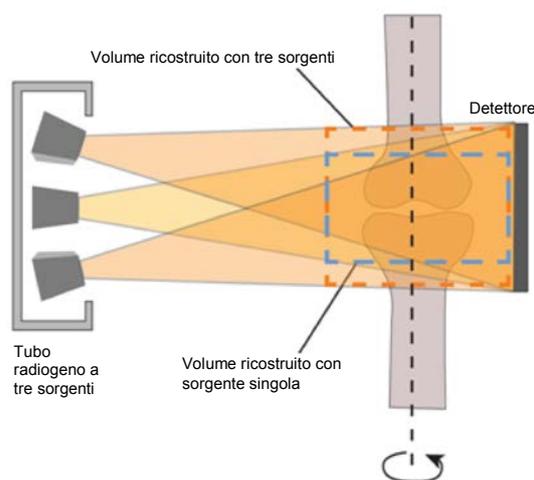
Acquisizione delle immagini

Il sistema **IN FASE PROGETTUALE (non ancora in commercio)** qui esaminato, utilizza un detettore flat panel a elevate performance e uno speciale design con un tubo radiogeno a tre sorgenti¹. Tale detettore permette di acquisire rapidamente le proiezioni a raggi X, riducendo al minimo l'effetto dei movimenti del paziente. Il tubo radiogeno a tre sorgenti è stato progettato in modo da ridurre il ben noto artefatto "cone beam", che tradizionalmente ha interessato le ricostruzioni CBCT di grandi volumi. Il

White paper | Imaging Cone Beam CT (CBCT)

progetto ha aumentato in misura significativa il volume ricostruito rispetto a quanto generalmente ottenuto con l'acquisizione tradizionale a sorgente singola (vedere la Figura 3).

Figura 3: configurazione a tre sorgenti rispetto a sorgente singola



L'immagine sopra dimostra l'aumento del volume ricostruito, nella direzione dell'asse z, ottenuto mediante la configurazione a tre sorgenti (immagine a sinistra: sorgente singola; immagine a destra: tre sorgenti).

In molti sistemi CBCT, il flusso di lavoro con il paziente è un aspetto al quale si è posta un'attenzione non sempre adeguata. Nel progetto prototipale CBCT Carestream di questa pubblicazione, l'accesso del paziente al volume da acquisire è stata una delle caratteristiche considerate più importanti. L'esclusiva "porta per l'entrata del paziente" permette di posizionare

facilmente il paziente, sia per la configurazione in ortostasi che da seduto. In aggiunta, il design permette l'imaging di un singolo ginocchio, piede o caviglia, in assetto in carico, naturale. Attualmente è in fase di studio la capacità di determinare più accuratamente l'orientamento e la posizione relativa delle ossa del piede, della caviglia e del ginocchio in condizioni realistiche di carico. Si veda la Figura 4 per un esempio di immagini ottenute con l'attuale prototipo, che confrontano le scansioni in carico e non in carico della caviglia di un paziente, al fine di mostrare la riduzione di spessore dell'articolazione tibio talare.

L'imaging di un solo arto alla volta riduce l'esposizione rispetto alle dosi tipiche associate ai sistemi TC tradizionali (vedere la Figura 5). Inoltre, una serie di pubblicazioni recenti indica che l'intervallo tipico di livelli di dose utilizzati con i sistemi CBCT (CTDIvol nel campo ~5-10 mGy) sono minori di quelli utilizzati con la TC (CTDIvol ~20-50 mGy).^{2,3}

Figura 4: immagine del piede non a carico e a carico



La configurazione a carico naturale permette una determinazione più accurata dell'orientamento e della posizione relativa delle ossa del piede, della caviglia e del ginocchio in condizioni realistiche di carico.

White paper | Imaging Cone Beam CT (CBCT)

La Figura 5 mostra due delle fasi per il posizionamento del paziente, attraverso la porta di accesso, per una scansione in ortostasi del ginocchio destro.



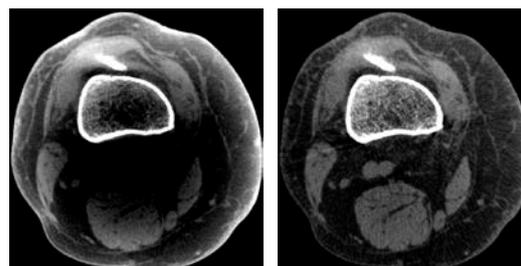
La Figura 5 mostra il paziente, appena prima del posizionamento attraverso la porta aperta, nel volume da scansionare (immagine superiore), e dopo la chiusura della porta (immagine inferiore). Gli ausili per il posizionamento del paziente, visibili nell'immagine, aiutano a ridurre i movimenti durante la scansione.

Ricostruzione del volume

Per creare un volume 3D ricostruito di alta qualità, mediante un sistema cone beam, occorrono diverse correzioni. A causa del maggiore volume acquisito simultaneamente, nella CBCT lo scatter dei raggi X ha un'importanza maggiore che nella TC tradizionale. Il sistema sperimentale incorpora un metodo per la correzione dello

scatter progettato per rimuovere, nei volumi ricostruiti, molto degli effetti (vedere la Figura 6).

Figura 6: correzione per lo scatter



La funzione prototipale per la correzione dello scatter è stata progettata per rimuovere lo scatter dai volumi ricostruiti.

White paper | Imaging Cone Beam CT (CBCT)

Come con la TC tradizionale, la presenza di oggetti a elevata attenuazione, ad esempio impianti metallici, può compromettere seriamente l'utilità clinica del volume ricostruito. Il sistema prototipale utilizza un metodo proprietario per la Metal-Artifact Reduction (MAR, Riduzione artefatti da metallo), progettato per migliorare la visibilità dell'anatomia del paziente in prossimità di componenti metallici (vedere la Figura 7).

Figura 7: Metal-Artifact Reduction (MAR)



L'immagine mostra l'effetto, sulla visibilità dell'anatomia del paziente vicino a componenti metallici, del metodo proprietario del sistema sperimentale di Carestream per la riduzione degli artefatti da metallo.

Finora, il metodo più diffuso per la ricostruzione del volume è stato la Filtered-Back Projection (FBP, Riproiezione dopo filtraggio) convenzionale. Con questo metodo di ricostruzione sono necessarie molte approssimazioni semplificatrici, che possono compromettere la qualità dell'immagine finale. Si stanno via via diffondendo procedimenti di ricostruzione più avanzati, conosciuti collettivamente come ricostruzioni iterative, che utilizzano un metodo matematico differente. Combinando dati CBCT corretti accuratamente e capacità di ricostruzione allo stato dell'arte, spesso le immagini ottenute mostrano una qualità che supera quella normalmente ottenibile con i protocolli di acquisizione TC con le

ricostruzioni oggi comunemente utilizzate nella comunità dell'imaging medicale^{2, 4}.

Si veda la Figura 8, per un esempio della qualità d'immagine CBCT ottenuta nella scansione a carico del ginocchio. La figura mostra sia immagini delle ossa che dei tessuti molli, acquisite con il sistema CBCT Carestream sperimentale, durante gli studi della ricerca.

Figura 8: capacità della CBCT per le ossa e i tessuti molli



La Figura 8 mostra sia immagini delle ossa che dei tessuti molli, ottenute con il sistema CBCT Carestream sperimentale.

White paper | Imaging Cone Beam CT (CBCT)

Conclusioni

L'avvento dei sistemi di imaging CBCT concepiti per le specifiche esigenze delle differenti specialità cliniche costituisce una promessa di elevato valore. Tali sistemi sono in grado di estendere l'imaging tridimensionale di alta qualità a uno spettro di utilizzatori molto più ampio di quello che in precedenza era servito dalla TC tradizionale. Per poter realizzare imaging volumetrico in ambienti non tradizionale sono necessari ingombro fisico compatto, flusso di lavoro ottimizzato, imaging in carico e ricostruzione con funzioni avanzate di correzione dello scatter e per parti metalliche. Tutto ciò rende la soluzione CarestreamCBCT un sistema adatto per il Point of Care, ossia per il funzionamento là dove si svolge la cura.

Carestream Health vanta una tradizione di lunga data nell'imaging volumetrico Cone Beam, e ora sta contribuendo con questa expertise anche nel campo dell'imaging ortopedico degli arti. Carestream, mediante la sua attività di ricerca e gli studi sperimentali, continua a sviluppare caratteristiche e funzionalità innovative specifiche per l'imaging 3D degli arti, utilizzato principalmente negli ambulatori ortopedici, nei centri per traumatizzati e nelle cliniche di medicina dello sport, oltre che nei dipartimenti di radiologia e di pronto soccorso d'emergenza ospedalieri. La Figura 9 mostra alcuni esempi di immagini con rendering di superficie, ottenute con sistemi sperimentali Carestream, che illustrano la varietà di anatomie che rientrano nelle possibilità di questo nuovo metodo.

Figura 9: immagini con rendering 3D di superficie



White paper | Imaging Cone Beam CT (CBCT)

Bibliografia

- (1) Zbijewski. et.al. "Dual-energy Imaging of Bone Marrow Edema on a Dedicated Multi-Source Cone-Beam CT System for the Extremities," SPIE Physics of Medical Imaging (2015) 94120V 1-6
- (2) Carrino et.al. "Dedicated Cone-Beam CT System for Extremity Imaging," Radiology (2013) 270(3) 816-824
- (3) Koivisto et.al. "Assessment of Effective Radiation Dose of an Extremity CBCT, MSCT and Conventional X-ray for Knee Area Using MOSFET Dosimeters," Radiat. Prot. Dosim. (2013) 157(4) 515-524
- (4) Demehri et.al. "Assessment of Image Quality in Soft Tissue and Bone Visualization Tasks for a Dedicated Extremity Cone-beam CT System," European Radiology (2015) 25(6) 1742-1751