

Intraoperative and dynamic 3D Rotational X-ray imaging

Bart Carelsen, AMC Amsterdam, bart@carelsen.nl

Drie-dimensionale (3D) afbeeldingstechnieken zoals Computed Tomography (CT) of Magnetic Resonance Imaging (MRI) worden standaard gebruikt voor de planning van operaties en ter controle na afloop. Toch wordt het verloop van een operatie voornamelijk op basis van kijken, voelen of 2D-doorlichtingsbeelden gevolgd. Dat met behulp van 3D technieken na afloop van de operatie ongunstig geplaatste implantaten, onvoldoende herstel van de anatomie of onregelmatigheden in gewrichten worden ontdekt is te verwachten.

Intraoperatieve '3D Rotational X-ray' (3D-RX) is een techniek om 3D-beelden te maken met behulp van een mobiele C-boog. De C-boog draait gemotoriseerd een halve slag om het lichaamsdeel in 30 seconden (Fig. 1). Tijdens het draaien neemt het apparaat 90 tot 450 röntgenfoto's, elk met een belichtingstijd van slechts 10 ms om onscherpte door beweging te voorkomen. Het ingebouwde werkstation verzamelt alle foto's en bouwt een 3D beeld op binnen enige minuten. De chirurg kan vervolgens in de operatiekamer een 3D beeld in alle standen bekijken maar ook elke gewenste doorsnede.



Fig. 1. Foto tijdens het scannen van een enkel

Er is gekeken naar de beeldkwaliteit van het mobiele 3D-RX systeem ten opzichte van CT. De beste spatiale resolutie van de 3D-RX techniek is beter dan die van CT. Echter, de lage contrasten worden beter bij CT afgebeeld. Bot heeft bij een lagere buisspanning, zoals bij 3D-RX het geval is, een hoger contrast. Hierdoor is voor bot in weefsel de contrast-ruisverhouding voor de twee systemen vergelijkbaar (Fig. 1). De effectieve dosis van een CT scan is veel hoger dan die van 3D-RX, gemiddeld 8 tot 15 keer hoger voor vergelijkbare toepassingen.

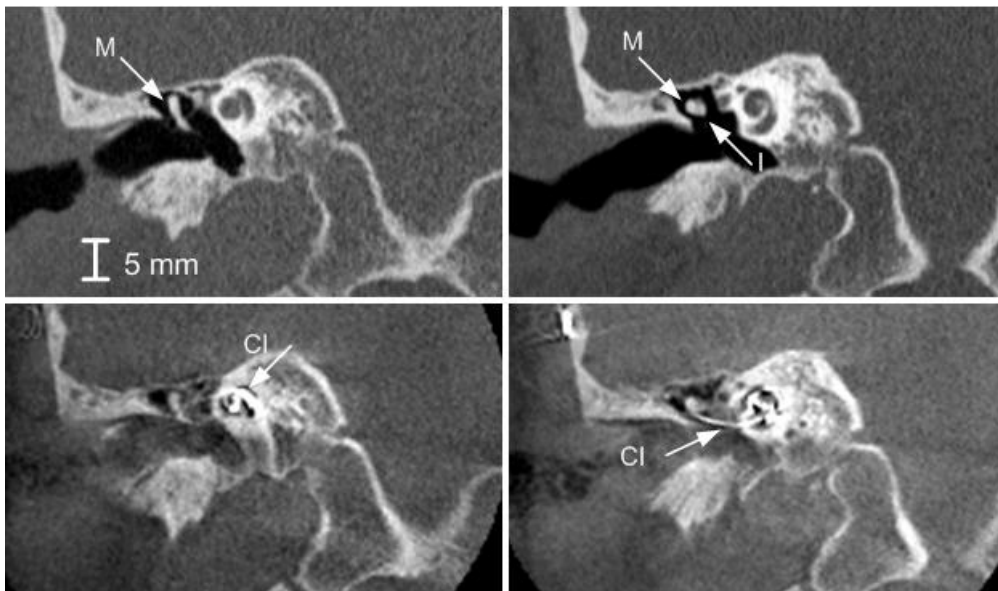


Fig. 2. Preoperative Coronale coupes van het binnenoor gemaakt met CT ($2 \times 0.5\text{mm}$, 165 mAs) op de bovenste rij. Op de onderste rij, 3D-RX coupes gemaakt tijdens een cochleaire implantatie, vandaar ook het vocht in het binnenoor. De pijlen staan voor de malleus (M), de incus (I), en het cochleair implantaat (CI).

Als eerste toepassing is gekeken naar gebruik van 3D-RX tijdens het inbrengen van een cochleair implantaat. Gedurende de operatie, waarbij het implantaat met een serie elektroden wordt ingebracht in het slakkenhuis, worden twee 3D-RX scans gemaakt. De eerste scan wordt gemaakt nadat het implantaat met een voerdraad is ingebracht door een kleine opening in het slakkenhuis. Vervolgens wordt de voerdraad teruggetrokken en krult de rij elektroden van het implantaat zich in het slakkenhuis om de gehoorzenuw (Fig. 2). Hierna wordt nog een 3D-RX scan gemaakt. Mochten de elektroden verkeerd of dubbel gevouwen geplaatst zijn, dan kan er direct actie worden ondernomen op de operatiekamer, hetgeen enkele keren is voorgekomen tijdens het onderzoek.

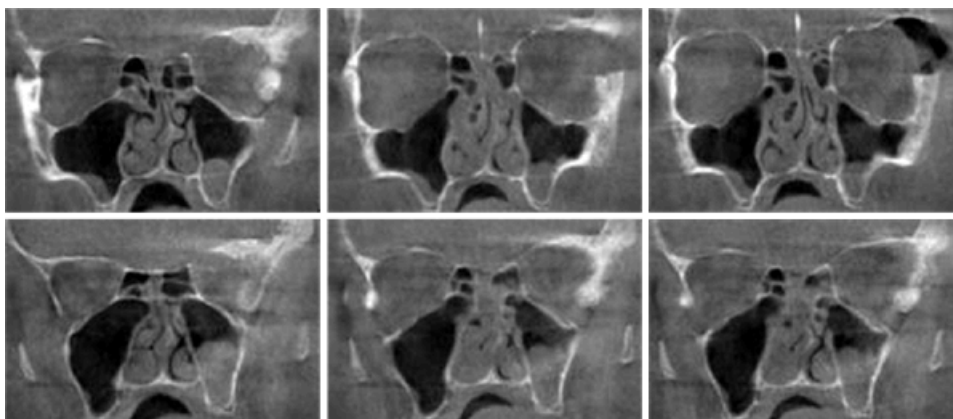


Fig. 3. Intraoperatieve 3D-RX images beelden tijdens een sphenoid meningioma verwijdering. Links coupes gemaakt aan het begin van de operatie, midden in tijdens en rechts vlak voor het einde.

Daarnaast is de toepassing van intraoperatieve 3D-RX onderzocht voor oogkaschirurgie. Vierenzestig intraoperatieve bevindingen van visuele en fysieke inspectie zijn gerapporteerd aan de hand van een vragenlijst net voordat een 3D-RX scan werd gemaakt (Fig. 3). In een later stadium zijn de 3D-RX beelden bekeken door experts en is nogmaals de vragenlijst ingevuld. Het bleek dat de 3D-RX beelden additionele informatie bevatten, met name voor behandeling van de oogkasbodem.

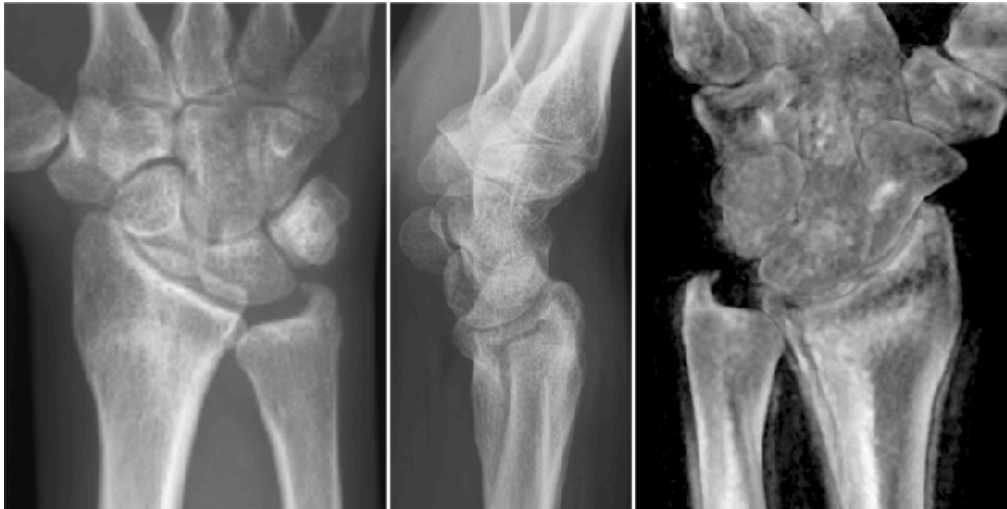


Fig. 4. 3D-RX en doorlichtingen aan het begin van de operatie. Van links naar rechts een AP, een laterale doorlichting en een 3D-RX volume rendering. Deze 3D afbeelding laat de afwijkende stand van het gewricht zien.

De handchirurg maakt conventioneel gebruik van visuele en fysieke inspectie en 2D röntgendoorlichtingen om de vorderingen tijdens de operatie in te schatten. Wij hebben de vorderingen op basis van conventionele methoden tijdens handchirurgie te vergelijken met die op basis van 3D-RX. Daarnaast is geregistreerd op basis van postoperatieve beeldvorming hoeveel van de patiënten, geopereerd met behulp van 3D-RX, desondanks nog een her-operatie nodig hadden. In totaal zijn 56 patiënten geopereerd met hulp van 3D-RX. Uit de resultaten blijkt dat 3D-RX voor met name het spaakbeen, de ellepijp en het plaatsen van K-draden, preciezere en extra informatie geeft ten opzichte van conventionele bevindingen. Ook kunnen de vorderingen met meer zekerheid worden beoordeeld op basis van de 3D-RX beelden. Geen van de 56 patiënten had een her-operatie nodig op basis van postoperatieve beeldvorming (gerapporteerd in de literatuur tot wel 23%).

Ook de traumachirurg had profijt van de 3D-RX techniek. Het bleek dat de 3D-RX beelden meer informatie verschaffen dan de gebruikelijke methoden. Met name de vorderingen ten aanzien van het plaatsen van schroeven en de rotatie van het zetten van de breuk, zijn beter te beoordelen op de 3D-RX beelden dan op 2D doorlichtingen en met visuele en fysieke inspectie. Geen van de 81 patiënten die geopereerd zijn met 3D-RX, had een her-operatie nodig terwijl in de literatuur 10-26% her-operaties gerapporteerd worden (Fig. 5).

We concluderen dat intraoperatieve 3D-RX mogelijk het aantal her-operaties verlaagt en de chirurg voorziet van additionele informatie tijdens de behandeling. Intraoperatieve 3D-RX wordt daarom standaard ingezet bij cochleaire implantaties en complexe hand-, fractuur- en orbitachirurgie. Toekomstig onderzoek is aan te bevelen naar de functionele uitkomst op lange termijn voor de patiënten die behandeld zijn met behulp van 3D-RX. Verder ontwikkelde visualisatie en toegevoegde beeldbewerking zal het gebruik van intraoperatieve 3D-RX positief beïnvloeden. De beeldkwaliteit van 3D-RX, met name bij lage contrasten, kan mogelijk worden verbeterd door middel van betere hardware, software en mechanica. Deze verbeteringen zullen de toepassing van intraoperatieve 3D-RX vergroten, zowel in aantal als in complexiteit van ingrepen.

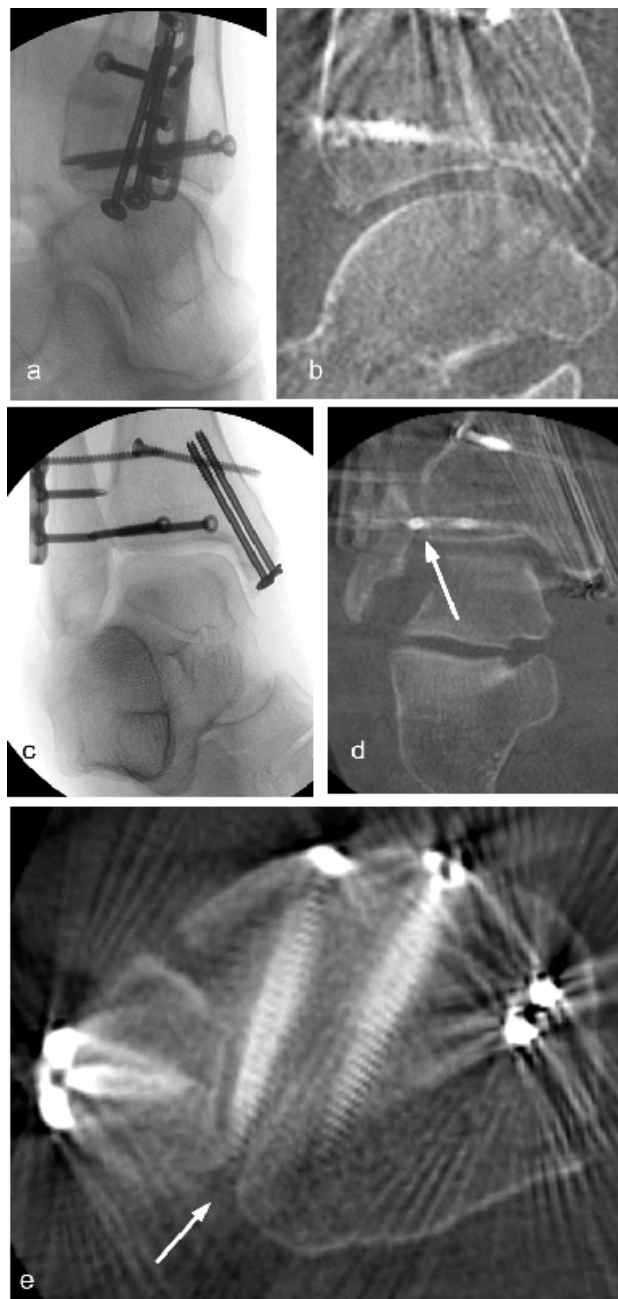


Fig. 5. The doorlichtings beelden (A&C) and 3D-RX coupes (B,D&E) van een patiënt behandeld voor een enkel fractuur. In de coronale en axiale 3D-RX coupe 1

4D-RX

Een patiënt met chronische polsproblemen heeft meestal last wanneer de pols in beweging is en belast wordt. Echter, diagnostiek wordt gedaan op stilstaande (en vaak 2D) beelden. De meest geavanceerde technieken om polsbeweging zichtbaar te maken zijn animaties van statische 3D-beelden of opnamen bewegen onder röntgendoorlichting. Dat eerste is wel kwantitatief, maar niet dynamisch, het tweede wel dynamisch maar niet kwantitatief. Wij presenteren een methode om met behulp van 3D-RX een periodiek bewegende pols af te beelden in 3D. Dit levert een serie bewegende 3D-beelden in de tijd: 4D-RX. Eerste experimenten met een post-mortem pols tonen aan dat het principe werkt. Daarnaast presenteren we een methode voor het meten van dynamische bewegingspatronen van de handwortelbeentjes (carpalia). De methode bestaat uit een verbeterd protocol voor 4D-RX beeldvorming en additionele beeldbewerking voor nauwkeurige bepaling van beweging van de carpalia in de levende mens (Fig. 6).



Fig.

6. Filmstrip van ulnair naar radiaal deviatie. Er is duidelijk te zien dat de distale rijd mee gaat met de beweging terwijl de proximale rijd orthogonaal beweegt.

Hiervoor wordt een statische (3D-RX) opname van hoge kwaliteit en een dynamische scan (4D-RX) gemaakt van dezelfde pols. Vervolgens worden de carpalia gesegmenteerd uit de statische scan en geregistreerd aan de dynamische scans. Deze procedure levert de translaties en rotaties op van de individuele carpalia (totaal 8), en het spaakbeen en de ellepijp voor elke dynamische stand (totaal 20). Deze gegevens in combinatie met de opgelegde beweging geven de bewegingspatronen van de carpalia. De methode is getest op 4 vrijwilligers. De beeldvorming en -bewerking heeft een nauwkeurigheid van beter dan een millimeter en graad. Herhaalde metingen om de reproduceerbaarheid te testen leveren een iets grotere afwijking ($< 1\text{ mm}$, < 2 graden). De op deze manier bepaalde bewegingspatronen tonen mogelijk afwijkingen die met CT, MRI of video doorlichtingen niet kunnen worden gezien of gekwantificeerd. Desondanks staat deze ontwikkeling nog maar aan het begin en meer onderzoek is nodig naar de interpretatie van de bewegingspatronen en de klinische toepasbaarheid.



This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.