

Beoordeling beeldkwaliteit CBCT en bruikbaarheid voor OART-toepassingen

1 Inleiding

In de moderne radiotherapie zijn CBCT beelden niet alleen noodzakelijk voor een nauwkeurige positionering en de beoordeling van anatomische veranderingen, maar ook voor dosisevaluatie en planaanpassingen in zowel IGRT- als ART-workflows. Om adequaat te kunnen acteren op anatomische veranderingen in patiënten tijdens de behandeling, is dagelijkse, hoogwaardige CBCT-beeldvorming, met snelle acquisitie en reconstructie, effectieve artefactreductie en lage dosis cruciaal. De beeldkwaliteit van de CBCT moet zodanig hoog zijn dat het nauwkeurig intekenen van structuren voor herplanning mogelijk is. Daarnaast dienen de grijswaarden van de CBCT in HU weergegeven te worden met een nauwkeurigheid welke die van een plannings-CT benadert teneinde betrouwbare dosisberekeningen direct op de CBCT uit de kunnen voeren. Het zou idealiter mogelijk moeten zijn om op een betrouwbare wijze bestralingen te plannen direct op de CBCT zonder de noodzaak een plannings-CT verkregen hoeft te worden. In eerste instantie denken wij daarbij aan een one-stop palliatieve behandeling van één fractie.

2 Aan te leveren CBCT beelden

Om de kwaliteit van de CBCTs van de door u aangeboden systemen te evalueren verzoeken wij u ons klinische CBCT beelden ter beschikking te stellen.

2.1 Algemene eisen

De CBCTs dienen gegenereerd te zijn met klinisch vrijgeven hardware, software en reconstructieprotocollen zoals deze in deze aanbesteding door u worden aangeboden.

Indien u voor de gevraagde type 1 en type 2 versneller systemen aanbiedt die verschillen wat betreft de specificaties van de CBCT imager dan dient voor beide systemen een aparte set CBCT beelden aangeleverd te worden.

Indien u voor de type 1 en type 2 versneller systemen aanbiedt die identiek zijn wat betreft de specificaties van de CBCT imager dient u slechts één set CBCTs aan te leveren. De score van deze ene set zal dan voor beide typen versnellers toegepast worden.

Alle CBCTs dienen volledig geanonimiseerd aangeleverd te worden in DICOM format. Bij elke gevraagde CBCT dient de corresponderende plannings-CT aangeleverd te worden. Behoudens de anonimisering mag de inhoud van de DICOM headers en beelddata niet gemodificeerd zijn t.o.v. hoe deze door de systemen is gegenereerd.

Voorts dienen de CBCTs aan de volgende eisen te voldoen:

- De maximale acquisitie tijdsduur is 60 s.
- De totale tijdsduur van begin acquisitie tot einde reconstructie bedraagt maximaal 120 s
- Het Field of View (FoV) omvat de body contour.
- De minimum scan lengte in de craniocaudale richting is 20 cm

Van iedere CBCT dienen de volgende parameters gerapporteerd te worden:

- Versnelspanning(kVp)
- Buisstroom(mA)
- Belichtingstijd (ms) per frame
- Totale mAs van de opname
- Gebruikt filter
- Collimator-instelling
- CBCT start en stop angle
- Rotatiesnelheid gantry
- Imaging dosis (CTDIvol in mGy) en specificatie hoe deze waarde gemeten of geschat is
- Toegepast reconstructieprotocol

Al deze parameters zouden terug te vinden moeten zijn in de DICOM header zoals deze door het systeem gegenereerd is. Indien dit niet het geval is dient dit toegelicht te worden

Vermeld daarnaast voor elke CBCT:

- De totale tijdsduur van begin acquisitie tot einde reconstructie
- Voor welke tumor-indicatie de CBCT is gemaakt.

2.2 Specificatie van aan te leveren CBCTs

Wij verzoeken u CBCT's van de volgende anatomische (tumor)sites aan te leveren:

Nr	Anatomische regio	Specificatie
1	KNO	FoV omvat retropharyngeale lymfeklieren (craniaal) t/m mediale supraclaviculaire lymfeklieren en sleutelbeenderen (caudaal); geen metaal in scangebied
2	KNO (met metaal)	Gelijk aan 1, maar met meerdere metalen vullingen (goud, amalgaam e.d.)
3	Thorax – free breathing	
4	Thorax – breath hold	
5	Gynaecologie	FoV omvat uterus, cervix, blaas en anorectum volledig
6	Gynaecologie (andere patiënt)	
7	Prostaat	Prostaatkanker met fiducial markers
8	Bekken	Enkelzijdig heupimplantaat
9	Bekken	Bilaterale heupimplantaten

Van casussen 2, 8 en 9 dienen reconstructies mét en zonder MAR protocol aangeleverd te worden.

3 Beoordeling en scoring

Alle CBCTs en de bijhorende plannings-CTs worden geïmporteerd in het RayStation planning system (v2025). De CBCT beelden worden gerandomiseerd aangeboden aan de beoordelaars. De beoordelaars worden geblindeerd voor de herkomst van de CBCTs.

De kwalitatieve beoordeling (§3.1 en §3.3) wordt uitgevoerd door een groep klinische experts bestaande uit: 3 IGRT MBBers, 3 radiotherapeuten, en 2 klinisch fysici. (wijzigingen voorbehouden)

De kwantitatieve beoordeling (van de HU, §3.2) wordt uitgevoerd door 2 klinisch fysici. (wijzigingen voorbehouden)

Ter verduidelijking van de wijze van scoring wordt deze geïllustreerd aan de hand van een voorbeeld gebaseerd op de 1^e 3 gevraagde CBCTs

3.1 Kwalitatieve evaluatie - soft-tissue contrast

Het soft-tissue contrast bepaalt de mate waarin doelgebied en risico-organen en andere anatomische structuren zichtbaar zijn en klinisch geëvalueerd kunnen.

Voor de CBCTs waarvoor reconstructies mét en zonder MAR gevraagd zijn worden voor dit onderdeel de reconstructies mét MAR beoordeeld.

Rang	Omschrijving	Puntenscore
1	Onvoldoende soft-tissue contrast. Alleen bot is zichtbaar	0
2	Matig soft-tissue contrast. Acceptabel voor positioneringscontrole IGRT	0
3	Redelijk soft-tissue contrast. Evaluatie van anatomische veranderingen mogelijk, maar voldoet niet voor intekening van alle relevante structuren. Geschikt voor het selecteren van een plan uit een Library-of-plans en de evaluatie van een "stoplichtprotocol"	1
4	Goed soft-tissue contrast. Structuren zijn duidelijk zichtbaar, en beelden zijn geschikt voor intekening. De lichaamsomtrek (body contour) is goed afgegrensd. Geschikt voor OART	2
5	Uitstekend soft-tissue contrast. Beeldkwaliteit is vergelijkbaar met die van een diagnostische of plannings-CT. Zeer geschikt voor OART. Bestralingsplanning zonder plannings-CT lijkt mogelijk.	4

Noot: elke hogere rang voldoet minimaal aan al het gestelde bij lagere rangen.

- De experts scoren individueel iedere CBCT scan op een schaal van 1 tot 5 volgens de hierboven weergegeven tabel
- De individuele expert scores worden voor iedere CBCT vertaald naar een puntenscore van 0 tot 4
- Per CBCT worden de scores van de individuele experts gemiddeld
- Dit resulteert voor iedere CBCT tot een soft-tissue kwaliteitsscore tussen 0 en 4

Voorbeeld:

CBCT #1 scoort een soft-tissue kwaliteitsscore van 2,5
CBCT #2 scoort een soft-tissue kwaliteitsscore van 1,3
CBCT #3 scoort een soft-tissue kwaliteitsscore van 3,2

3.2 Kwantitatieve beoordeling - HU nauwkeurigheid

Uitsluitend voor de CBCTs met soft-tissue kwaliteitsscore van 1.5 of hoger wordt de kwaliteit van de HU waarden geëvalueerd. CBCTs met een lagere score voldoen niet aan de minimale eisen voor intekeningen t.b.v. online (en offline) planadaptatie, en zullen derhalve in de praktijk ook niet voor dosisberekening ingezet worden.

Voor de beoordeling van de HU waarden wordt elke CBCT in Raystation gematched met de bijbehorende plannings-CT. Op elke CBCT wordt binnen minimaal drie duidelijk te onderscheiden verschillende structuren een ROI aangemaakt, waarbij wordt gecontroleerd dat de overeenkomende structuur ook op de planning CT goed zichtbaar is. De ROIs hebben een minimaal volume van 1cc. Het verschil in HU waarde tussen de CT en CBCT wordt geëvalueerd. ROIs zullen niet worden geplaatst in structuren die deel uitmaken van het te behandelen doelgebied, of waarin contrast is opgenomen op de planning CT, om HU verschillen t.g.v. de behandeling of contrast uit te sluiten.

Voor elke ROI wordt het absolute HU verschil tussen CT en CBCT, afgerond op gehele getallen, gescoord volgens onderstaande tabel

Type weefsel/materiaal	Goed (2 punten)	Voldoende (1,5 punten)	Onvoldoende (1 punt)
- Blaasvulling*	<=15HU	>15 HU en <=25 HU	>25HU
- Bot - Long	<=50HU	>50HU en <=75 HU	>75 HU
- Spierweefsel - Vetweefsel - Spinale kanaal - Luchtholtes binnen bodycontour	<=30HU	>30 HU en <=50 HU	> 50 HU

*Blaasvulling wordt geëvalueerd t.o.v. HU=0 (water), niet t.o.v. plannings-CT

- Voor iedere beoordelaar wordt per CBCT de score van de verschillende ROIs gemiddeld.
- Vervolgens wordt per CBCT de score van beide beoordelaars gemiddeld, tenzij het verschil tussen beide scores groter is dan 0,5. In dat geval wordt de betreffende CBCT door beide beoordelaars samen opnieuw beoordeeld om tot een consensus te komen.
- Dit resulteert voor elke geëvalueerde CBCT tot een HU- nauwkeurigheid vermenigvuldigingsfactor met een waarde tussen 1 en 2.
- Voor CBCTs die niet geëvalueerd worden omdat de soft-tissue kwaliteitsscore lager dan 1.5 is wordt HU- nauwkeurigheds vermenigvuldigingsfactor gelijk gesteld aan 1
- Per CBCT wordt een OART kwaliteitsscore berekend door de de soft-tissue kwaliteitsscore te vermenigvuldigen met de HU- nauwkeurigheid vermenigvuldigingsfactor.

- De totale OART kwaliteitsscore is de som van de individuele kwaliteitsscores van de 9 CBCTs

Voorbeeld (vervolg):

CBCT #1

- De soft-tissue kwaliteitsscore is 2.5 dus worden de HU waarden geëvalueerd.
- De HU-nauwkeurigheid vermenigvuldigingsfactor score is 1.75
- De OART kwaliteitsscore bedraagt $2.5 \times 1.75 = 4.375$

CBCT #2

- De soft-tissue kwaliteitsscore is 1.3 dus worden de HU waarden NIET geëvalueerd.
- De HU-nauwkeurigheid vermenigvuldigingsfactor is 1 (default voor beeldkwaliteitsscore <1.5)
- De OART kwaliteitsscore bedraagt $1.3 \times 1 = 1.3$

CBCT #3

- De soft-tissue kwaliteitsscore is 3,2 dus worden de HU waarden geëvalueerd.
- De HU-nauwkeurigheid vermenigvuldigingsfactor score is 1
- De OART kwaliteitsscore bedraagt $3.2 \times 1 = 3.2$

De totale OART kwaliteitsscore van deze drie CBCTs bedraagt:
 $4.375 + 1.3 + 3.2 = 8.875$

3.3 Kwalitatieve evaluatie - metaal artefact reductie

Voor CBCTs 2, 8 en 9 worden reconstructies aangeleverd mét en zonder MAR.

De reconstructie mét en zonder MAR worden paarsgewijs aangeboden aan de beoordelaars en gescoord op de mate van verbetering die de MAR reconstructie geeft ten opzichte van de reconstructie zonder MAR

Rang	Omschrijving	Puntenscore
1	Geen noemenswaardige verbetering van het beeld	0
2	Lichte verbetering van het beeld	0
3	Significante verbetering van het beeld	1
4	Goede verbetering van het beeld, artefacten nauwelijks zichtbaar	2
5	Uitmunten verbetering van het beeld. Geen artefacten meer aanwezig	4

- De experts scoren individueel van iedere MAR-reconstructie de verbetering t.o.v. de niet-MAR reconstructie op een schaal van 1 tot 5 volgens de hierboven weergegeven tabel
- De individuele expert scores worden voor iedere MAR reconstructie vertaald naar een puntenscore van 0 tot 4
- Per MAR reconstructie worden de scores van de individuele experts gemiddeld
- Dit resulteert voor iedere MAR reconstructie tot een MAR kwaliteitsscore tussen 0 en 4
- De totale MAR kwaliteitsscore is de som van de individuele kwaliteitsscores van de 3 MAR reconstructies

Voorbeeld (vervolg):

- Van de drie CBCTs in het voorbeeld is alleen CBCT #2 een casus met een MAR reconstructie
- De MAR kwaliteitsscore is 1.5
- De totale MAR kwaliteitsscore is 1.5 in dit voorbeeld

3.4 Totale score

De totale score is de som van de totale OART kwaliteitsscore en de totale MAR kwaliteitsscore.

Voorbeeld (vervolg):

Voor de drie CBCTs in dit voorbeeld

- Bedraagt de totale OART kwaliteitsscore 8.875
- Bedraagt de totale MAR kwaliteitsscore 1.5
- **Dus bedraagt de totale score $8,875 + 1,5 = 10,375$**

3.5 Maximaal te behalen score

De maximale score wordt voor één set CBCTs behaald in het geval:

voor alle 9 CBCTs:

- De soft-tissue kwaliteitsscore 4 bedraagt én
- HU-nauwkeurigheid vermenigvuldigingsfactor 2 bedraagt

En voor de 3 MAR reconstructies ieder:

- De MAR kwaliteitsscore 4 bedraagt

In dat geval bedraagt

- De OART kwaliteitsscore van iedere CBCT $4 \times 2 = 8$
- De totale OART kwaliteitsscore $9 \times 8 = 72$
- De totale MAR kwaliteitsscore $3 \times 4 = 12$
- **De maximale totaalscore $72 + 12 = 84$ punten**

De beoordeling van de beeldkwaliteit CBCT wordt zowel voor de Type 1 als Type 2 versneller uitgevoerd en gescoord, dus in totaal kunnen er maximaal $2 \times 84 = 168$ punten gescoord worden op dit onderdeel van het PvE. (Zie ook §2.1)