



**Pohde**

Pohjois-Pohjanmaan  
hyvinvointialue



**OULUN  
YLIOPISTO**



**LÄÄKETIETEEN TEKNIKAN  
JA TERVEYSTIETEIDEN  
TUTKIMUSYKSIKÖ**

**OULUN  
YLIOPISTO**

# **Hypersight KKTT- konekuvauksen hyödyntäminen sädehoidossa**

5.6.2025

Sädehoitofysikoiden 40. neuvottelupäivät

Jesse Lohela

Erikoistuva fyysikko & väitöskirjatutkija

Hypersight KKTT-konekuvauksen hyödyntäminen sädehoidossa



**Pohde**

Pohjois-Pohjanmaan  
hyvinvointialue



**OULUN  
YLIOPISTO**



**LÄÄKETIETEEN TEKNIIKAN  
JA TERVEYSTIETEIDEN  
TUTKIMUSYKSIKÖ**

**OULUN  
YLIOPISTO**

# **Hype®sight KKTT- konekuvauksen hyödyntäminen sädehoidossa**

5.6.2025

Sädehoitofysikoiden 40. neuvottelupäivät

Jesse Lohela

Erikoistuva fyysikko & väitöskirjatutkija

Hypersight KKTT-konekuvauksen hyödyntäminen sädehoidossa

# Agenda

1. Johdanto – Hypersight, Offline adaptiivinen sädehoito
2. Hypersight vs. normaali kV-KKTT – Kuvanlaatu
3. Hypersight vs. normaali kV-KKTT – Annoslaskenta
4. Tulevaisuuden suunnitelmat
5. Johtopäätökset

# Hypersight

- Päivitetty kV-KKTT:n kuvausasetelma:

Parametrit	Vakio (RTI4030iL) Truebeam	Hypersight (RTI4343iL) Truebeam	Hypersight Halcyon 4.0
Kuvalevyn koko	40x30 cm <sup>2</sup>	43x43 cm <sup>2</sup>	86x43 cm <sup>2</sup>
Rekonstruktio mallit	FDK, iCBCT, iCBCT Fast	FDK, iCBCT*, iCBCT Fast*, MAR	FDK, iCBCT*, iCBCT Fast*, MAR
Kuvauksen Halkaisija	46,5 cm	48,5 cm	53,8 cm
Pyörimisnopeus	1 RPM	1,5 RPM	6 RPM
Kuvauksen kesto	60 s	40 s	5,9 s
Scintillaattori materiaali	Gadoliniumoksidi sulfidi	Cesiumjodidi	Cesiumjodidi

FDK = Fieldkamp-Davis-Kress, MAR = metal artifact reduction. \*Acuros –laskentaan perustuva

## Parannuskohteet:

1. Laajempi kuvausalue
  - Kattavampi kuva hoidettavasta alueesta
2. Kehittyneemmät rekonstruktio algoritmit
  - Parannettu kuvanlaatu, kohinan vaikutuksen minimointi
3. Nopeampi kuvaus
  - Liikeartefaktan vaikutuksen minimointi
4. Kvanttitehokkuus (DQE)
  - Kohinan minimointi

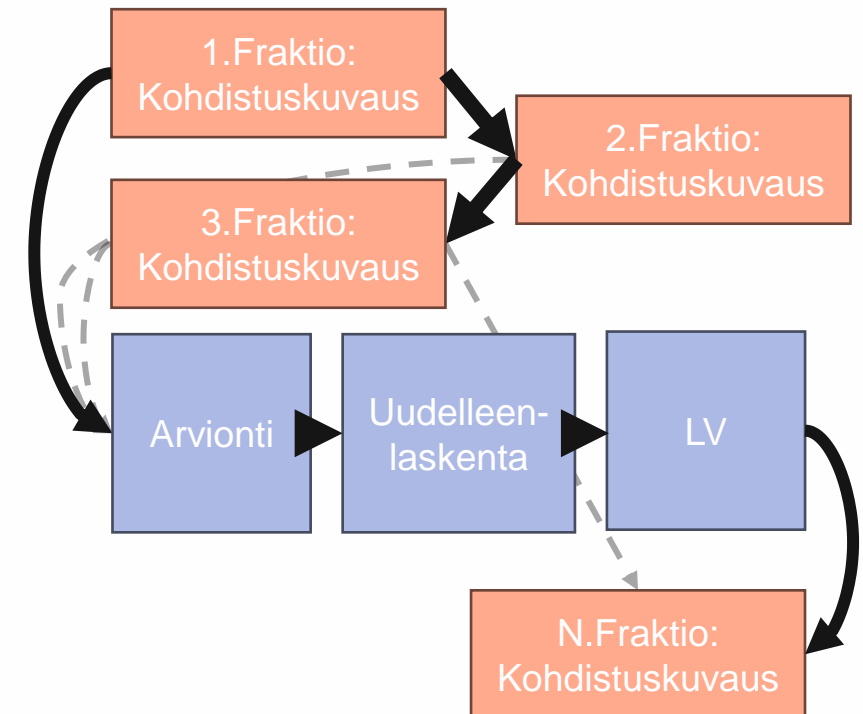
# Hypersight

---

- Tekniikka ollut Halcyonilla ja Ethoksella käytettävissä jo vuoden 2023 alusta
  - FDA 510(k) ja CE
  - Julkaistu 2022
- Truebeamille vastaavat vuonna 2024
- Suurin osa julkaisuista tehty Halcyonille/Ethokselle
  - Erin kokoinen kuvauspaneeli
  - Nopeampi pyörimisnopeus
  - Erilainen geometrinen asetelma
- Suora vertailu haastavaa, tarvitaan omat mittaukset.

# Hypersight – Offline-Adaptiivinen Sädehoito (OART)

- Hoitokertojen välinen suunnitelman adaptointi
  - Ei tarvita erillistä TT kuvaa, vaan hyödynnetään annoslaskentaan kohdistuksessa käytettyjä KKTT –kuvia
- Adaptiivisen työnkulun 4 avainkohtaa:
  1. **Kuvaus** TT/MRI/KKTT
  2. **Arviointi** Kuvien tarkastelu, kohteen/riskielinten rajausta, annoksen uudelleenlaskenta, kuvien rekisteröinti offline vs. online
  3. **Uudelleenlaskenta**
  4. **Laadunvalvonta**
- OART mahdollistaa sujuvan adaptiivisen työnkulun
  - Mahdollisten hoitajakson katkojen pois jääminen
  - Vähemmän TT kuvauksia
  - Ei vaadi toimintaan erikoistunutta tiimiä



# Hypersight – Offline-Adaptiivinen Sätehoito (OART)

## KKTT:n ongelmat annoslaskentaa varten:

1. Kuvaus on herkkä artefaktoille
2. Kuvaustekniikan synnyttämä sironta
3. Sironta synnyttää ylimääräistä kohinaa
4. HU:n epähomogeenisuus
5. Hidas kuvaus; liikeartefaktat
6. Heikompi matala kontrasti resoluutio; pehmytkudokset

## Hypersightin edut OART:iin:

1. Scinttilaattorimateriaali (CsI) tarjoaa paremman säteilyn konversion; parempi DQE
2. CsI parantaa SNR:ää ja CNR:ää
3. Suurempi FOV
4. Acuros -pohjaiset rekonstruktio algoritmit
  - Spektririippuvainen HU –kalibrointi
  - CTS sironta korjaus
  - Kuvauspaneelin saturaation korjaus
  - Säteen muodon korjaus
  - BHC:n paranneltu korjaus
  - Gradienttipainotteinen liikekorjaus

# Hypersight – Tutkimuksen Motivaatio & Tavoitteet

## Motivaatio:

- Hypersightin aikaisemmat tulokset Halcyonilla/Ethoksella ovat olleet lupaavia
  - Parempi kuvanlaatu
  - Luotettavampi annoslaskenta
- Vertailu suoraan Truebeamille ei ole suotavaa
- Truebeamin laitekannan laajuuden takia, voitaisiin hyödyntää monipuolisemmin yksiköissä
- Tarvitaan kuitenkin riittävä selvitys:
  1. Kuvanlaatu (Kvantitatiivinen & Subjektiivinen)
  2. Annoslaskenta fantomiaineistoon
  3. Annoslaskenta potilasryhmään
  4. Kuvanlaadun optimointi
- Selvitys myös siitä hankitaanko Ouluun jokaiselle kiihdyttimelle

## Tavoitteet:

- Hypersightin kuvanlaatu on perinteistä kV-KKTT:ta parempi
  - Kvantitatiivisesti ja subjektiivisesti
- Fantomiin lasketun annossuunnitelman poikkeavuus Hypersightilla kuvatun ja TT:llä kuvatun välillä on merkityksetön hoidon toteutuksen kannalta.
- Hypersight mahdollistaa offline adaptiivisen sädehoidon työkulun – Yksilöllinen sädehoito

# Hypersight – Tutkimuksen vaiheet

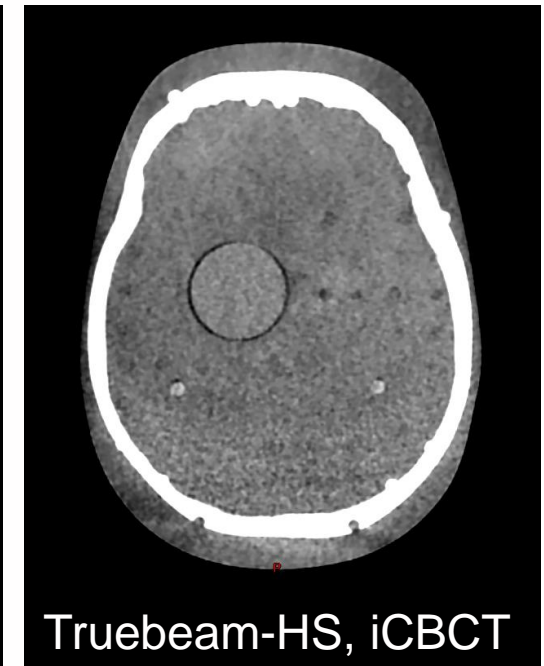
1. Hypersightin kvantitatiivisen ja subjektiivisen kuvanlaadun arviointi –  
Hypersight vs. tavallinen kV-KKTT

2. Annoslaskenta vertailu Hypersightin, tavallisen kV-KKTT:n ja TT:n  
välillä

3. OART:n työnkulun optimointi pään ja kaulan alueen potilaille

# Hypersight – Kuvanlaatu

- Hypersight vs. tavallinen kV-KKTT (Truebeam-HS & Truebeam-S)
  - Kvantitatiivinen kuvanlaatu – Catphan 504
  - Subjekttiivinen kuvanlaatu – Potilasaineisto



# Hypersight – Kvantitatiivinen Kuvanlaatu

- Yksikön automaattinen analysointi ohjelma
  - [Pylinac](#)\*
- 4 kpl Truebeam
  - Vakio kuvausprotokolat – vertailun vuoksi
    - Aivot
    - Aivot 1mm (Stereotaksia)
    - Lantio
    - Keuhkot
  - Kaikilla rekonstruktio algoritmeilla
    - **Truebeam-S:** FDK, iCBCT & iCBCT Fast
    - **Truebeam-HS:** FDK, iCBCT, iCBCT Fast & MAR

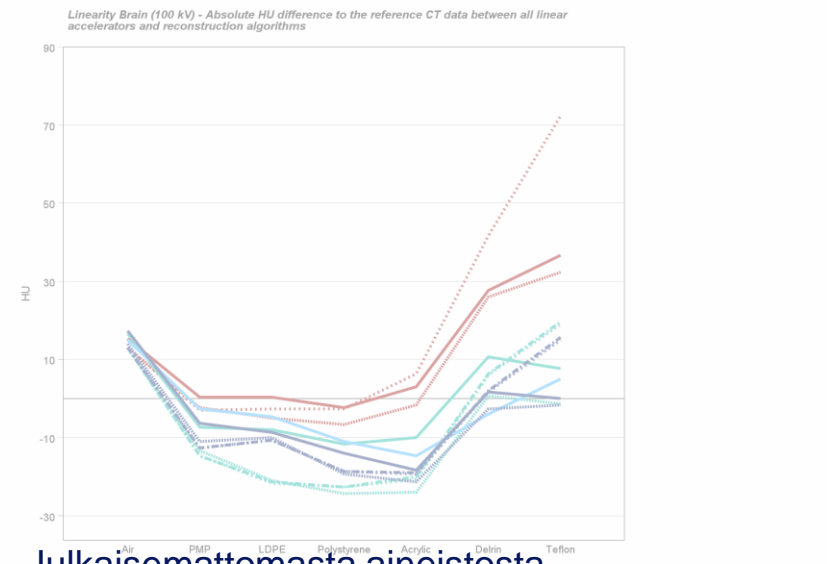
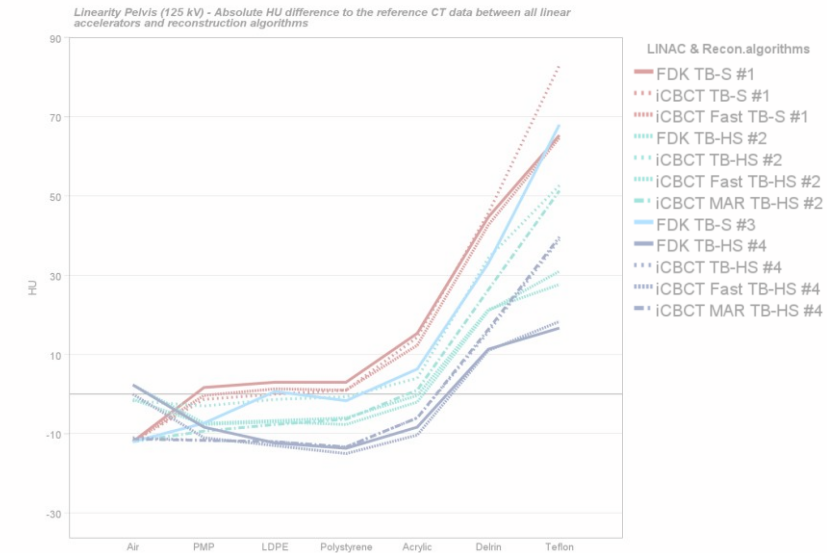
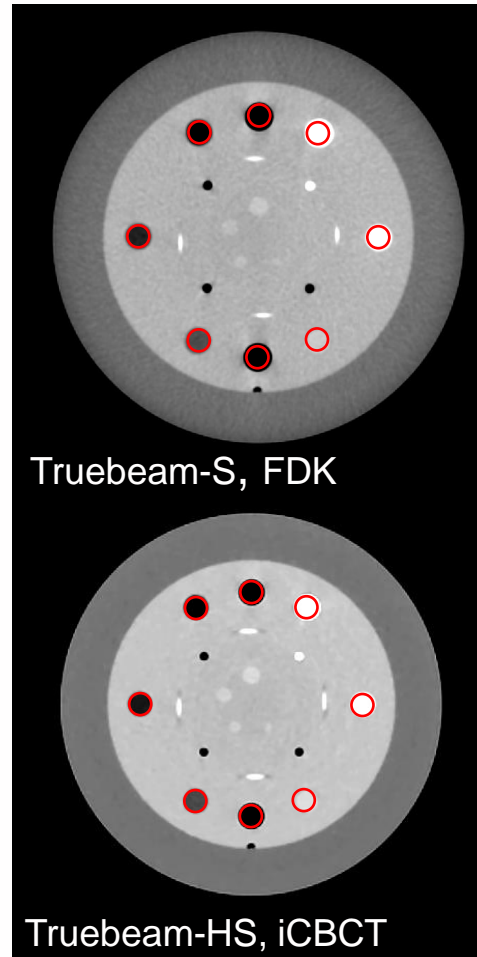
## Kerätyt parametrit:

1. Lineaarisuus (CTP404)
2. Homogeenisuus (CTP486)
3. CNR (CTP515)
4. MTF, modulation transfer function (CTP528)
5. NPS, Noise power spectrum (CTP486)
6. Matalan kontrastin erotuskyky (CTP515)

\*J. R. Kerns, "Pylinac: Image analysis for routine quality assurance in radiotherapy," *J Open Source Softw*, vol. 8, no. 92, p. 6001, Dec. 2023, doi: 10.21105/JOSS.06001.

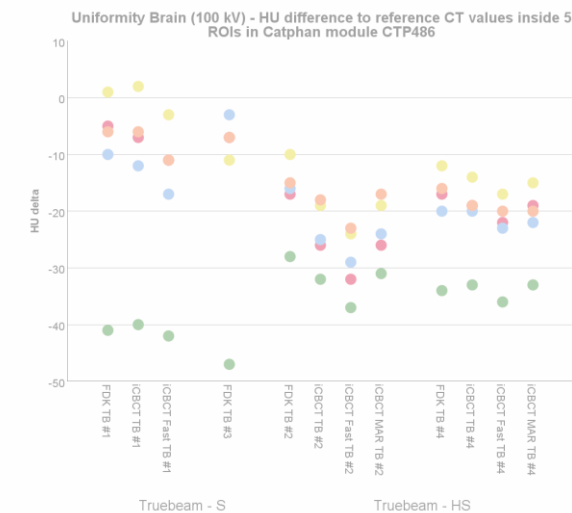
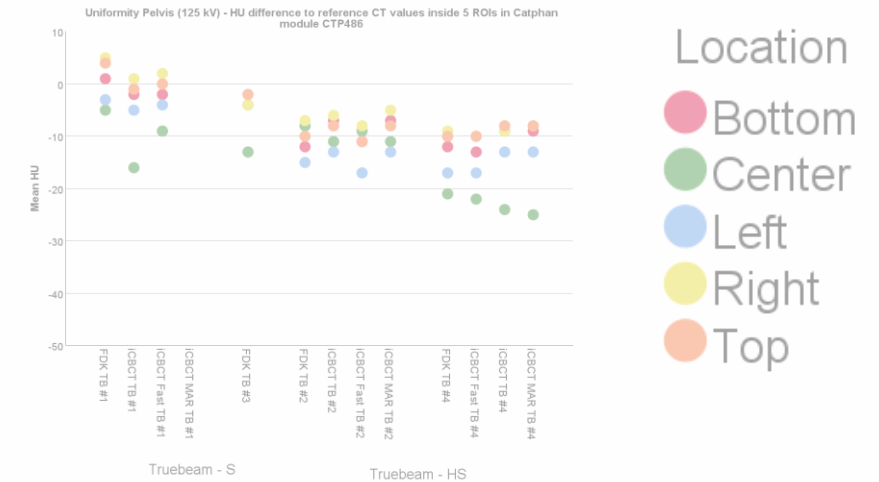
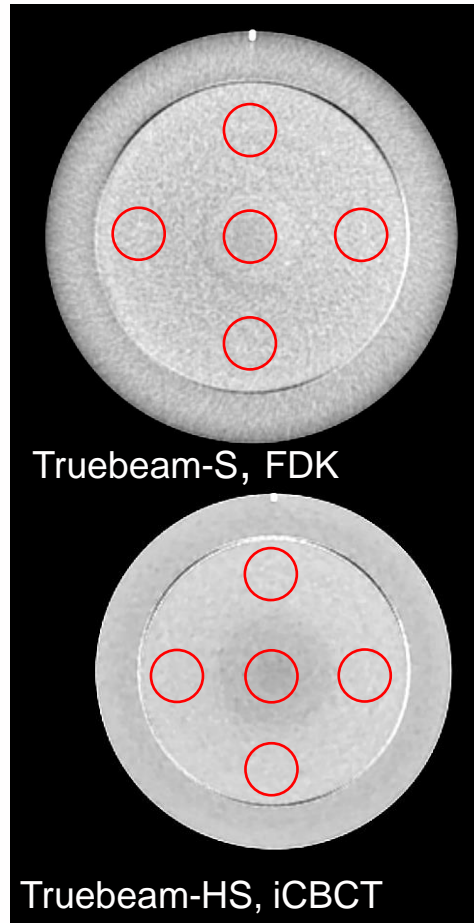
# Hypersight – Lineaarisuus

- 7 materiaalia: Ilma, PMP, LDPE, Polystyreeni, Akryyli, Delrin & Teflon
- Ympyrä-ROI:n mediaani vähennettiin referenssikäyrän tuloksista
  - TT:n referenssikäyrä
- Lopulliset tulokset ilmoitettiin erotuksina
- Havainnot:
  - Beam hardening -korjauksella on merkitystä tiheämpiin materiaaleihin
  - Hypersighin tulokset ovat TT:n arvojen kanssa paremmin linjassa.



# Hypersight – Homogeenisuus

- Homogeenisuus määritellään viiden ROI:n avulla
  - Keskellä, ylhäällä, alhaalla, oikealla & vasemmalla
  - Mediaani arvo
- Alueiden mediaanin erotus TT:n referenssiarvoista
- Havainnot:
  - Erot TT:n arvoihin ovat Hypersightilla suuremmat, tulokset eivät kuitenkaan ota kantaa homogeenisuuden vaihteluun.



Julkaisemattomasta aineistosta.

# Hypersight – CNR

- Määritelty Pylinac:ssa:

$$CNR(I) = \frac{Contrast(I)}{noise(I)} = \frac{Contrast(I)}{stdev(I)}$$

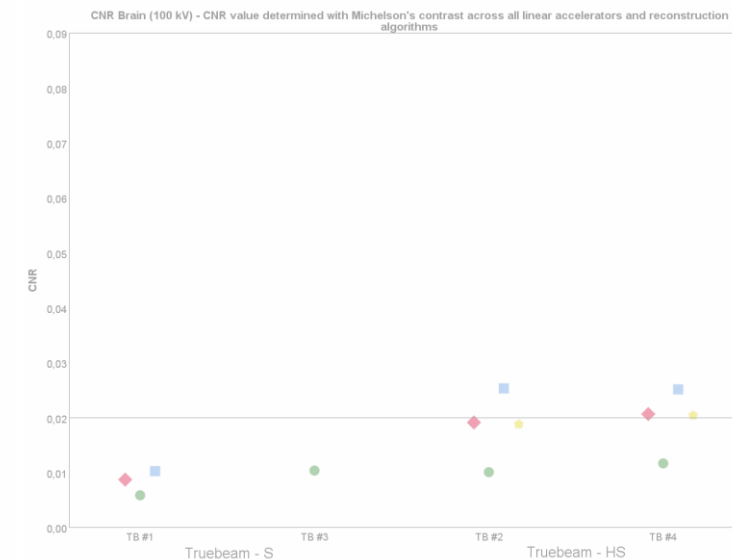
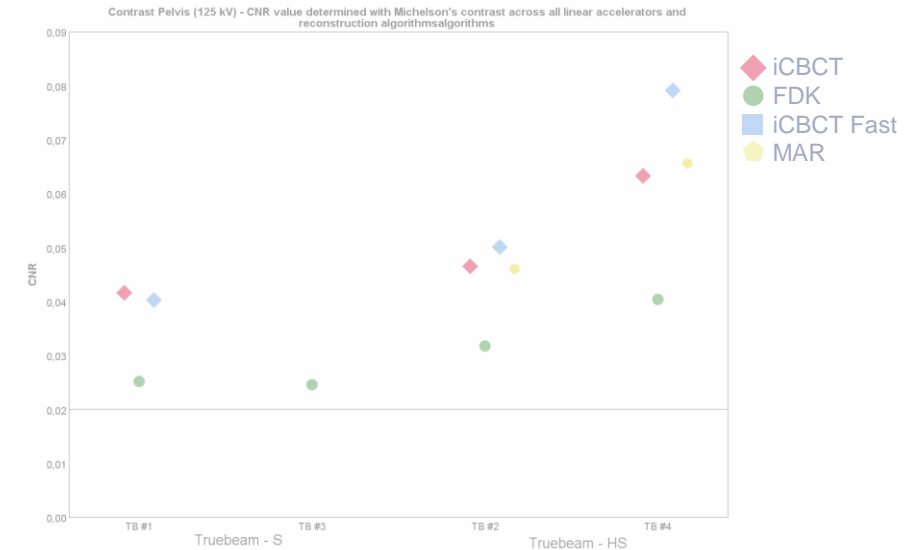
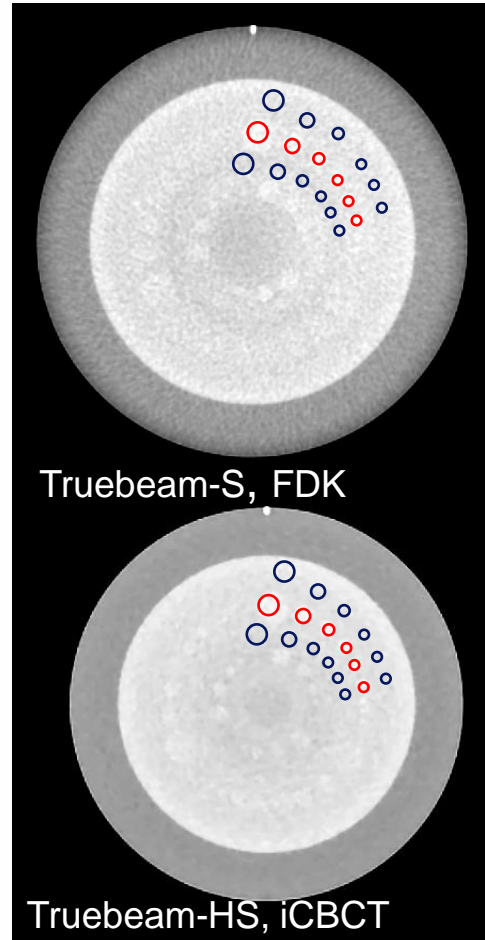
Jossa  $Contrast(I)$  kuvaa Michelsonin kontrastilla määritettyä matalakontrasti ROI:n (CTP515) arvoa.

- Michelsonin kontrasti:

$$\frac{I_{mean} - R_{mean}}{I_{mean} + R_{mean}}$$

Jossa I kuvaa tutkittavaa ROI:ta ja R taustan ROI:ta

- Analyysissa käytettiin kuutta ROI:ta
  - Halkaisijat 15mm, 9mm, 8mm, 7mm, 6mm & 5mm
- Havainnot:
  - Hypersightilla CNR on korkeampi ja uudet iteratiiviset algoritmit parantavat tulosta entisestään.



Julkaisemattomasta aineistosta.

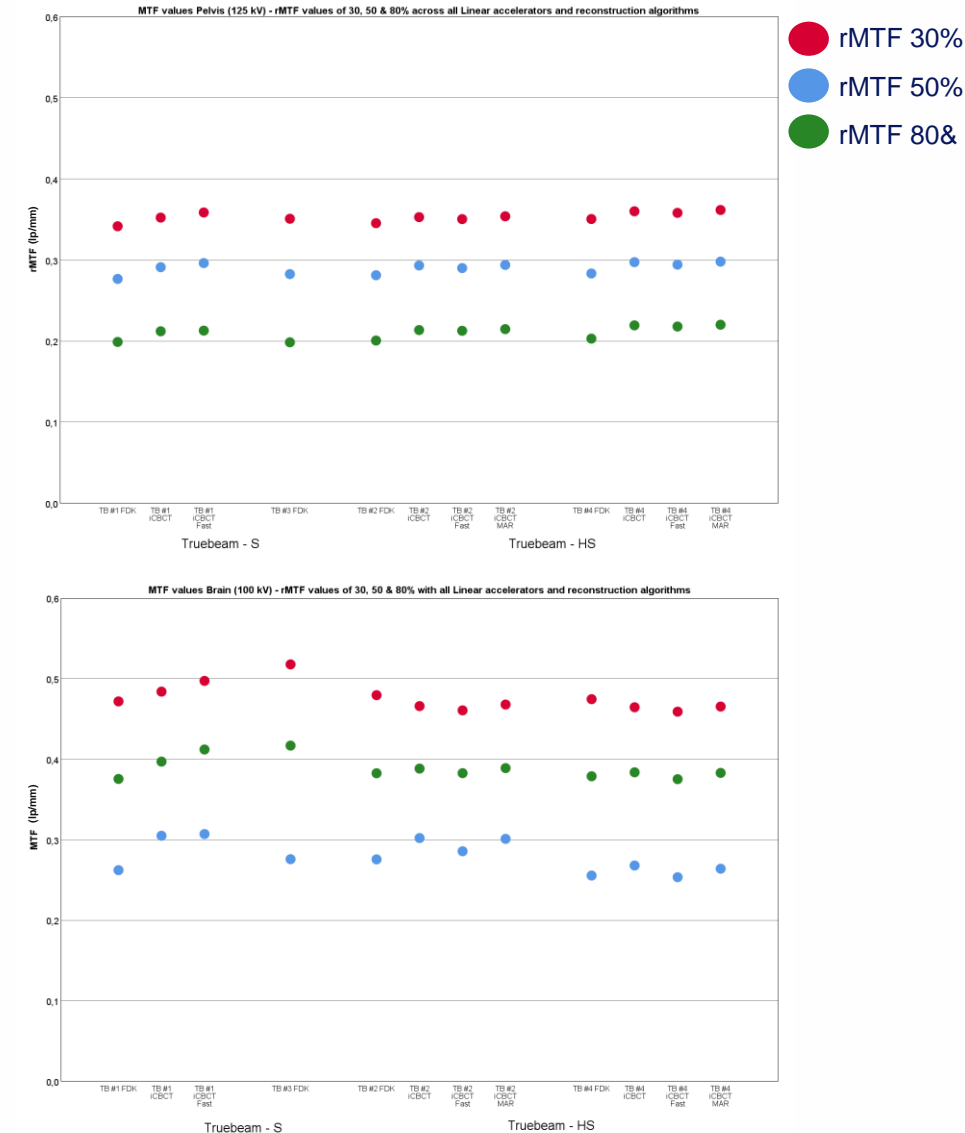
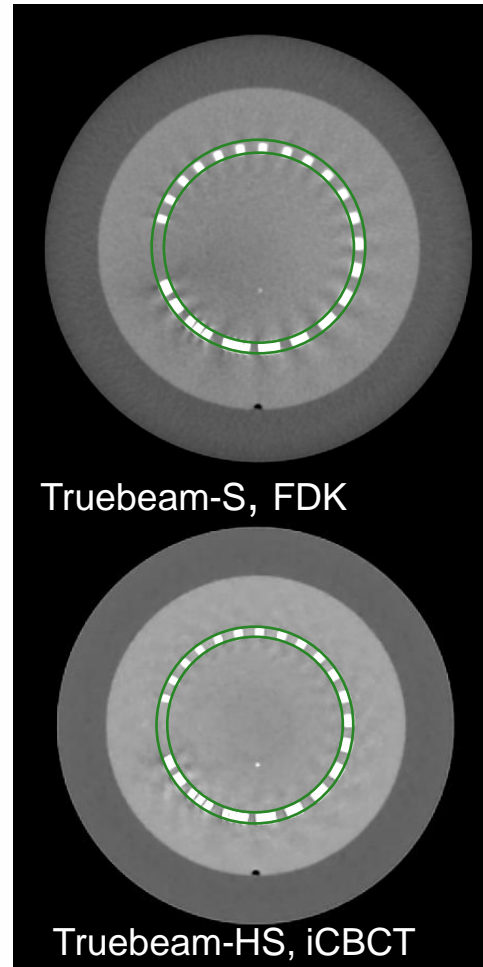
# Hypersight – MTF

- Korkean kontrastin analysointi
- Lasketaan Michelsonin kontrastin avulla:

$$Contrast = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

Jossa I:t kuvaavat viivaparin viivaa ja väliä

- Lopulliset kontrasti arvot normalisoidaan suurimman arvon mukaan ja tulokset esitetään normalisoituina MTF arvoina (rMTF).
- Esitettynä 30%, 50% ja 80% rMTF arvot
- Havainnot:
  - Tulokset ovat hyvin samankaltaiset kaikilla laitteilla
  - Korkean kontrastiin Hypersightilla ei pitänyt olla vaikutusta



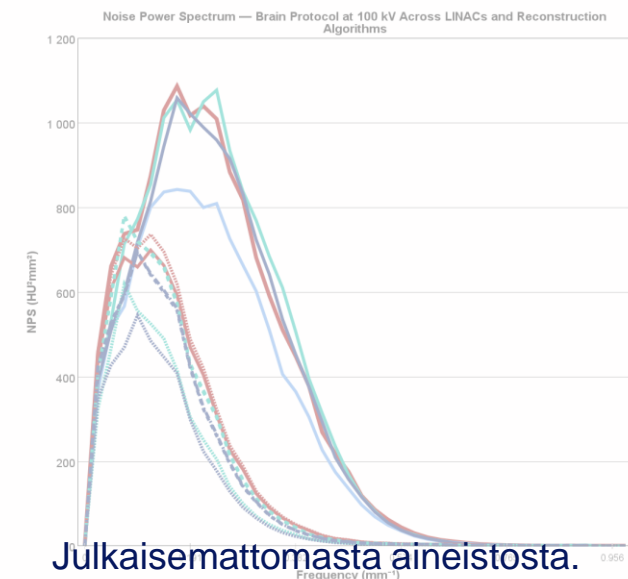
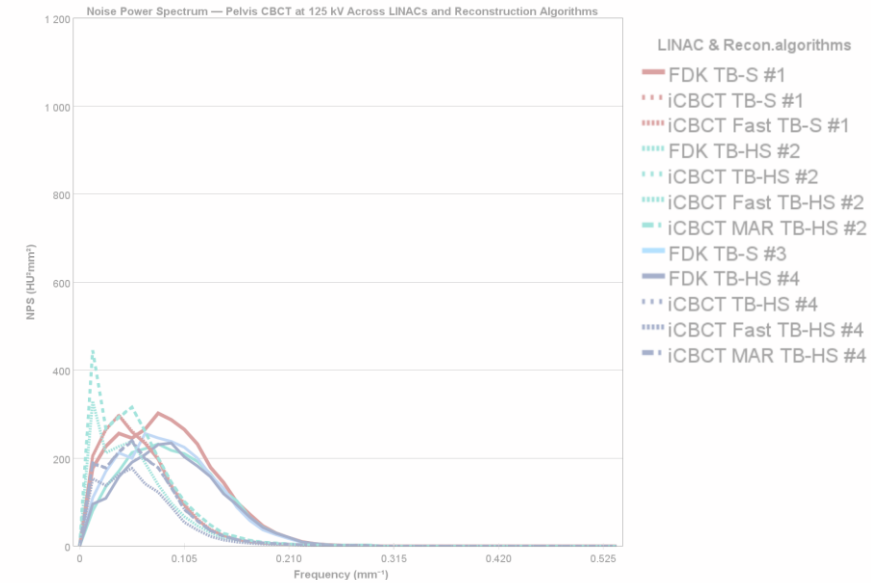
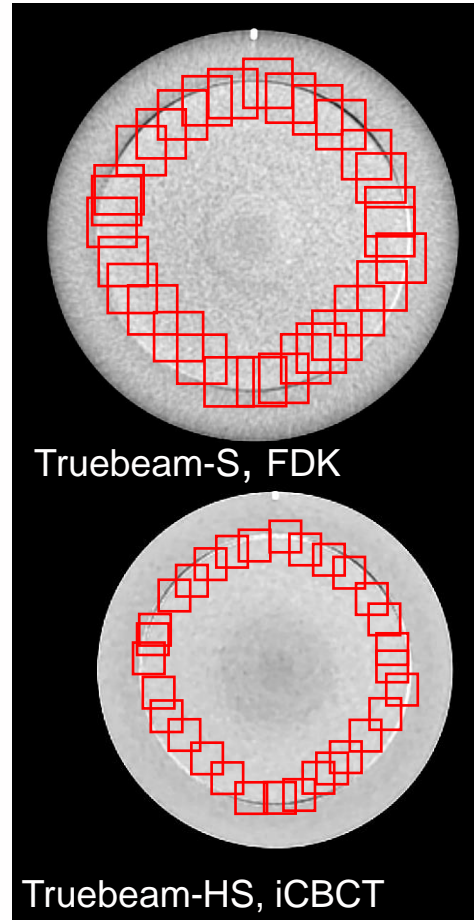
# Hypersight – NPS

- Kvantitatiivinen parametri, arvioida kuvan kohinaa
- 2D Fourierin muunnos muuttaa kuvan taajuuksiksi
- ICRU Report 87 kaava 11.1

$$NPS(f_x, f_y) = \frac{\Delta_x \Delta_y}{N_x N_y} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |DFT_{2D}[I_i(x, y) - \bar{I}_i]|^2$$

Jossa  $\bar{I}_i$  kuvaa kuvan keskiarvoa,  $I_i(x, y)$  on  $i$ :s kuva,  $\Delta_x$  ja  $\Delta_y$  kuvaavat pikselikokoja,  $N_x$  ja  $N_y$  ovat pikselien määrät ja  $N$  on kuvien/ROI:den lukumäärä

- Havainnot:
  - Kohinan luonne pysyy vakiona Truebeam-HS:n ja Truebeam-S:n välillä
  - Suurimmat parannukset saadaan aikaiseksi iteratiivisilla rekonstruktio algoritmeilla



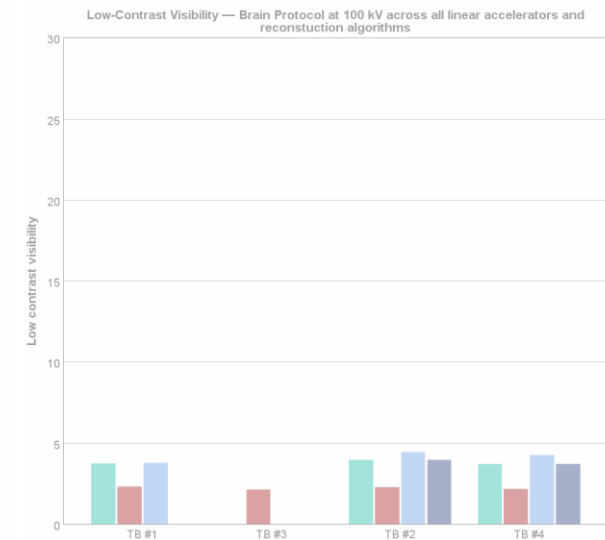
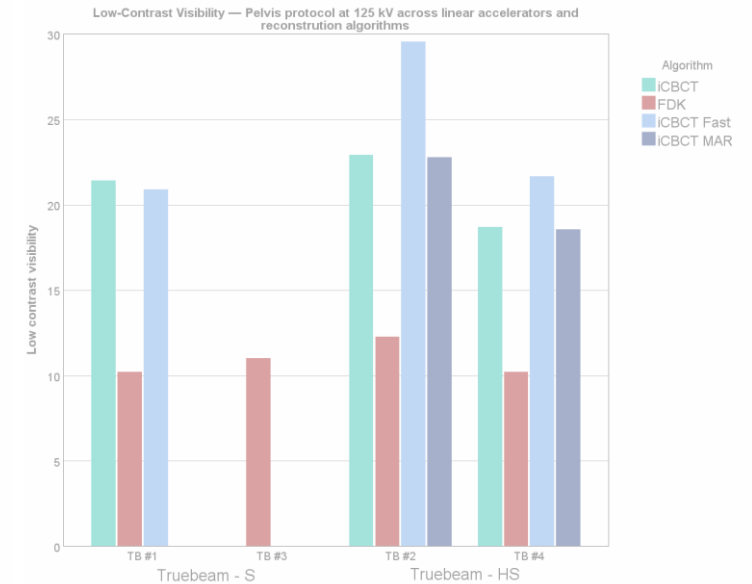
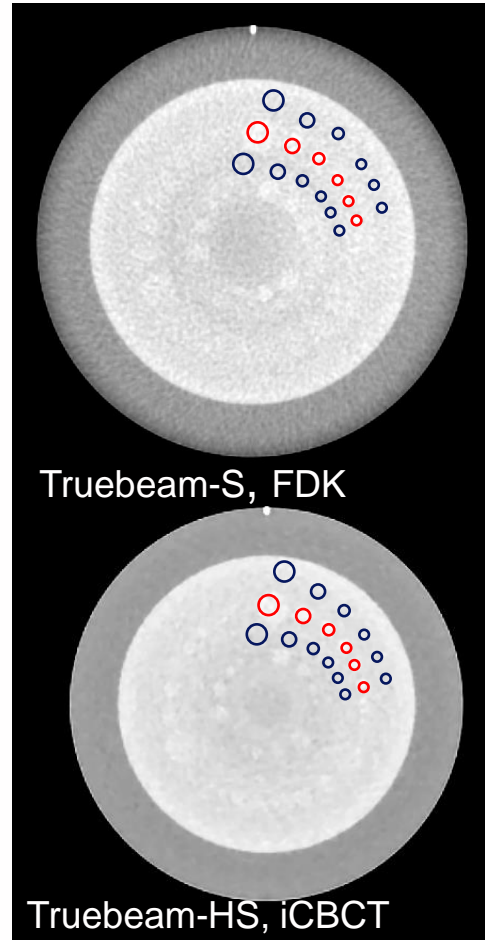
# Hypersight – Matalan kontrastin erotuskyky

- Kyky havaita signaali kohinan joukosta
- Suurempi, pienen kontrastin objekti voidaan havaita kun taas samankontrastinen pienempi objekti jää ”näkemättä”
- Pylinac hyödyntää Rosen kaavaa:

$$Visibility(I, R) = Contrast(I, R) \frac{\sqrt{\pi r^2}}{I_{std}}$$

Jossa  $\pi r^2$  kuvaa laskettavan ROI:n pinta-alaa, I kuvaa kontrastialuetta ja R taustaa.

- Analyysissa hyödynnetään vain 1% suprareleike ROI:ta

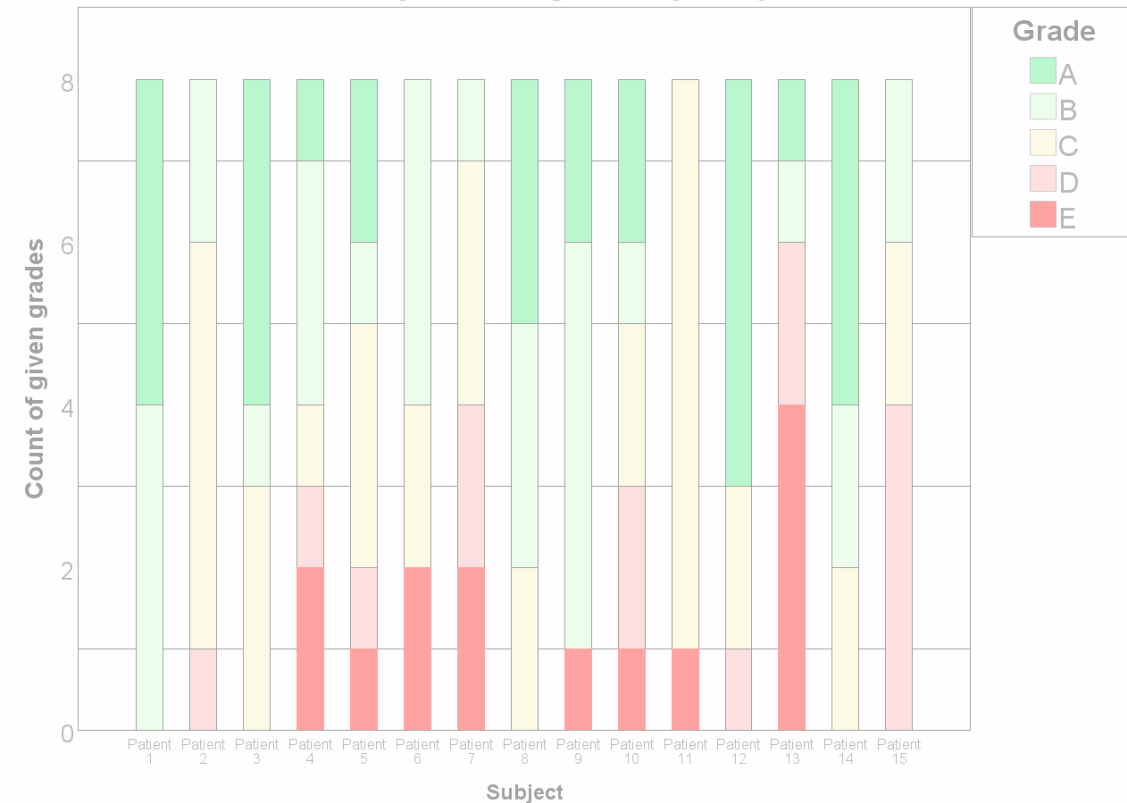


Julkaisemattomasta aineistosta.

# Hypersight – Subjekttiivinen Kuvanlaatu

- 8 Röntgenhoitajaa & 15 potilasta
  - Erilaisia anatomisia kohteita
    - 2 kpl aivot
    - 4 kpl pään ja kaulan aluetta
    - 5 kpl eturauhasta
    - 2 kpl pikkulantioita
    - 1 kpl keuhkojen alueelta
    - 1 kpl reisiluu
- Kuvattu ennen ja jälkeen Hypersightin asennuksen
- Arviointi tapahtui sokeutetusti (A ja B kuva)
  - Vertailu aina A kuvaan ja 5 portainen arviointi\*
    - A. Parempi kuvanlaatu ja parempi kuvan rekisteröinti
    - B. Parempi kuvanlaatu mutta ei vaikutusta rekisteröintiin
    - C. Yhtä hyvä kuvanlaatu ja rekisteröinti
    - D. Hieman heikompi kuvanlaatu mutta ei vaikutusta rekisteröintiin
    - E. Huonompi kuvanlaatu ja huonompi rekisteröinti

Subjective Image Quality Analysis - Grades

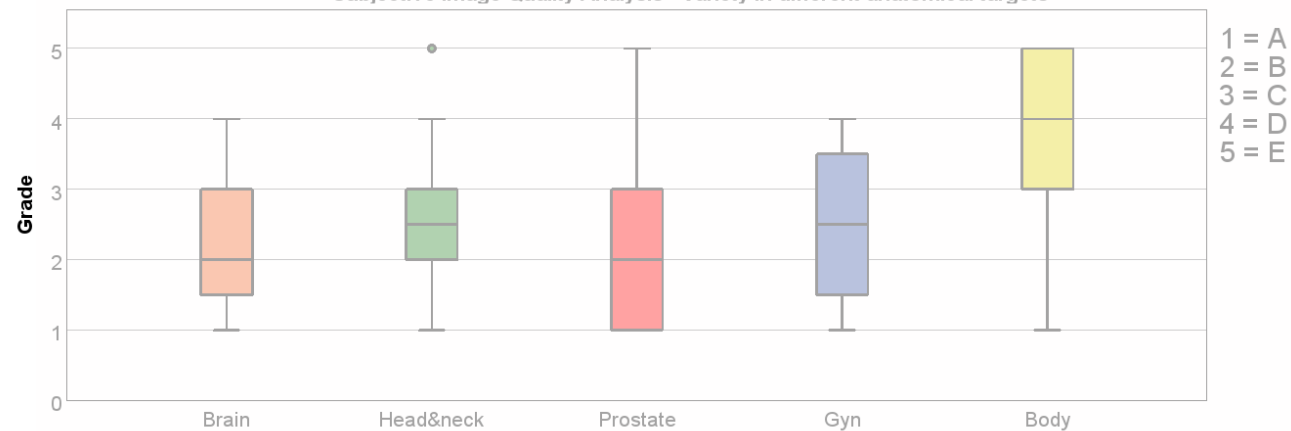


Julkaisemattomasta aineistosta.

Hypersight KKTT-konekuvauksen hyödyntäminen sädehoidossa

# Hypersight – Subjekttiivinen Kuvanlaatu

Subjective image Quality Analysis - Variety in different anatomical targets



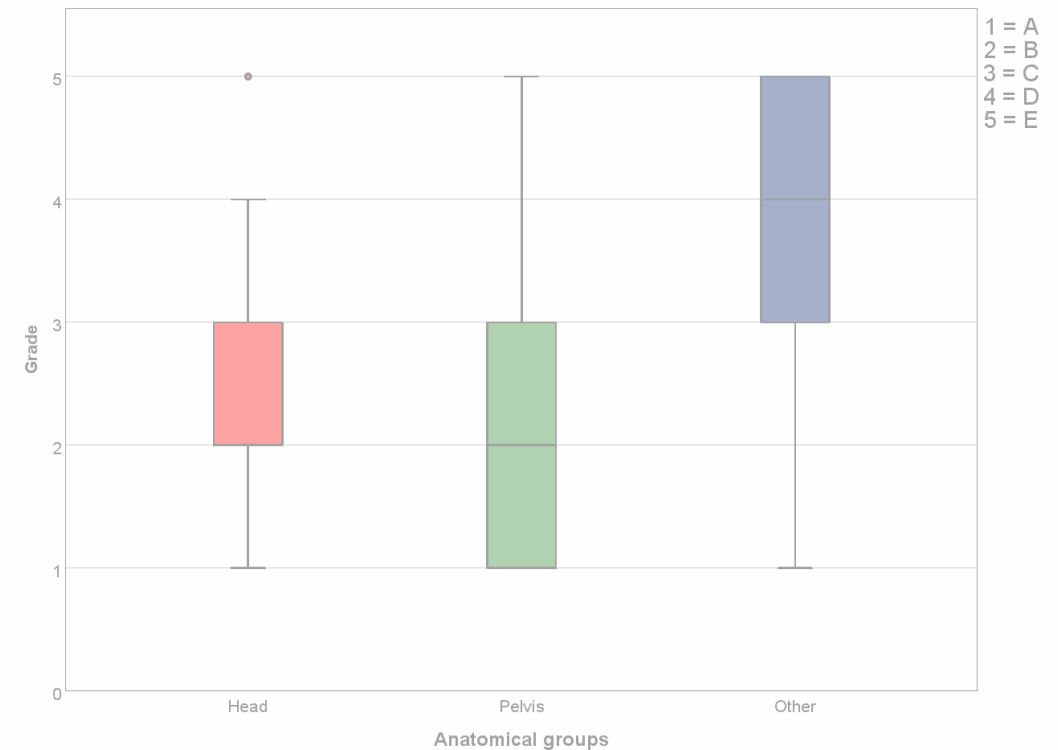
Arvosanan  
keskiarvo

2,7333

C

Yhtä hyvä kuvanlaatu ja rekisteröinti

Subjective Image Quality analysis - Variety in different anatomical regions



# Hypersight – Kuvanlaadun yhteenveto

Parametri	Truebeam – S	Truebeam – HS
Lineaarisuus		Truebeam – HS
Homogeenisuus	Truebeam – S	
CNR		Truebeam – HS
MTF (Korkea kontrasti)	Truebeam – S	Truebeam – HS
NPS (Kohina)	Truebeam – S	Truebeam – HS
Matalan kontrastin erotuskyky	Truebeam – S	Truebeam – HS
Subjekttiivinen kuvanlaatu	Truebeam – S	Truebeam – HS

# Hypersight – Annoslaskenta

- Verrataan Hypersightilla lasketettua sädehoidon annossuunnitelmaa ilman Hypersightia kuvattuun.
  - Vertailu tapahtuu myös TT -kuviin.
- Yhteistyössä Turun sädehoidon yksikön kanssa
  - 4 kpl Truebeam (2kpl Truebeam-S & 2 kpl Truebeam-HS) – Oulu
  - 1 kpl Halcyon ilman Hypersightia – Oulu
  - 1 kpl Halcyon Hypersightilla – Turku
- Kuvattiin CIRS elektronitiheys fantomi ja ATOM antropomorfinen fantomi jokaisella laitteella.
  - CBCT protokolat CIRS: Aivot, 1 mm Aivot, Pelvis ja Thorax
    - Lasketettu kaikilla rekonstruktio algoritmeilla
  - Kuvattu ATOM:ista: Aivot, pää ja kaula, keuhkot ja lantio.
- Turun Halcyonin Hypersight mukana tulosten validointia varten.
  - Tämän hetkiset julkaisut kohdistuvat Halcyoniin

## Kerättävät tulokset:

Suunnitelmien vertailu:

- Gamma-analyysi (CT vs. TB-HS vs. TB-S)
  - 3%/2 mm, Globaali normalisointi, 95% hyväksyntäraja & 3 mm MLC marginaali

Hoitokohde:

- $D_{max}$ ,  $D_{95\%}$ ,  $D_{90\%}$ ,  $D_{50\%}$ ,

Tervekudokset:

- RTOG & CORSAIR

# Hypersight – Elektronitiheyskäyrän validointi (TT vertailu)

## Aivot

Materiaali	Elektroni tiheys	Massa Tiheys	Brain FDK												Brain iCBCT								Brain Fast			Brain MAR				TT			
			Oulu						Turku						Oulu				Turku				Oulu			Turku							
			L1	L2	L4	L5	L6	L6 IQ	L6	L6 H5 IQ	L6 H5	L1	L2	L5	L6	L6 iCBCT IQ	L6 iCBCT AC	L6 iCBCT IQ AC	L6 iCBCT AC	L6 H5 iCBCT IQ	L6 H5 iCBCT	L6 H5 AC iCBCT	L6 H5 iCBCT	L1	L2	L5	L2	L5	L6 AC MAR IQ		L6 AC MAR	H5 AC MAR IQ	H5 AC MAR
Air	1,01E-20	0,001204	-1000,0	-999,9	-1000,0	-1000,0	-984,0	-922,2	-931,4	-912,7	-924,7	-1000,0	-996,1	-994,2	-998,3	-943,6	-943,5	-939,6	-940,9	-942,4	-941,6	-935,8	-937,9	-1000,0	-1000,0	-999,8	-996,1	-993,6	-938,8	-938,9	-936,8	-938,0	-1001,7
Lung inhale	0,668	0,205	-851,8	-822,7	-837,5	-834,0	-817,1	-803,8	-803,9	-797,1	-799,9	-856,5	-821,9	-838,2	-825,7	-804,7	-806,2	-796,3	-798,1	-804,6	-805,3	-796,1	-795,5	-856,6	-834,3	-858,1	-821,8	-839,2	-798,7	-799,1	-798,7	-797,8	-804,4
Lung exhale	1,658	0,507	-522,9	-517,6	-519,8	-518,5	-519,3	-507,6	-507,3	-504,8	-506,2	-528,6	-519,0	-517,6	-518,5	-509,6	-508,9	-511,7	-511,5	-508,8	-508,0	-512,6	-512,0	-528,5	-525,3	-532,0	-519,0	-518,6	-497,1	-495,4	-500,6	-497,8	-499,2
Adipose	3,171	0,96	-73,8	-91,6	-90,3	-100,4	-57,6	-63,9	-68,2	-67,0	-67,0	-70,2	-91,0	-96,5	-66,4	-72,8	-71,7	-81,4	-81,9	-70,1	-72,9	-86,9	-83,4	-66,1	-89,6	-110,0	-91,1	-97,3	-72,7	-70,4	-75,9	-74,2	-70,1
Breast	3,261	0,99	-39,1	-51,1	-42,1	-51,5	-19,4	-28,2	-27,9	-28,8	-29,5	-44,1	-66,5	-64,5	-24,5	-32,5	-32,5	-44,0	-42,2	-32,2	-29,2	-49,7	-39,2	-42,0	-65,3	-63,8	-66,5	-64,3	-38,1	-40,8	-41,8	-38,9	-40,7
Water	3,34	1	23,2	-0,1	14,1	-4,3	14,7	21,5	16,3	17,9	12,9	-12,6	-15,6	13,0	10,5	-13,1	-13,7	15,6	9,2	-8,6	-11,3	20,1	-9,1	-6,4	-12,5	-15,5	-9,0	-9,9	-10,6	-10,7	9		
Muscle	3,483	1,06	51,8	34,0	48,1	23,6	63,8	60,9	59,6	59,3	57,0	48,8	22,0	7,6	57,8	58,7	57,7	47,1	47,5	56,1	56,7	43,7	46,3	47,7	21,6	-2,3	22,1	4,9	41,2	43,4	39,7	43,6	45,5
Liver	3,516	1,07	76,1	48,0	69,8	56,6	96,6	94,6	100,4	91,2	98,1	71,8	36,2	48,8	87,1	92,0	90,2	65,7	66,6	94,0	88,8	59,5	65,9	73,3	38,2	50,8	36,2	49,1	62,5	62,3	58,0	63,4	63,2
Bone 200	3,73	1,16	319,2	293,1	309,0	283,4	297,9	283,2	281,9	277,2	276,2	316,3	271,0	258,7	296,6	275,9	276,2	257,8	261,7	273,4	276,3	253,2	261,4	316,5	275,1	264,8	271,2	258,8	250,4	248,4	246,4	249,0	264,2
Bone 800	4,862	1,53	1241,5	1112,3	1172,6	1095,5	1113,8	1100,5	1096,7	1079,5	1079,4	1243,1	1092,5	1079,8	1114,1	1082,3	1086,0	1044,2	1046,8	1079,8	1076,2	1043,4	1046,4	1246,3	1104,1	1084,1	1092,7	1079,0	1073,1	1066,7	1072,6	1072,2	1041,5
Bone 1250	5,663	1,82	1839,4	1650,4	1742,5	1639,7	1621,9	1585,6	1581,8	1568,8	1561,4	1844,4	1692,6	1698,6	1638,4	1563,5	1563,3	1583,2	1588,9	1558,4	1549,1	1594,0	1593,0	1847,3	1659,7	1704,9	1700,2	1613,1	1487,0	1483,9	1462,0	1458,2	1563,3
Titanium	12,475	4,51	6969,7	6937,5	6973,3	6950,0	6917,5	6956,3	6839,8	6955,1	6811,0	6964,2	6941,1	6953,9	6929,7	6962,8	6845,6	6965,4	6849,1	6962,9	6822,9	6969,7	6860,6	6966,3	6936,6	6934,5	6921,4	6958,2	6941,4	6819,3	6939,0	6886,8	10990,7

## Pelvis

Materiaali	Elektroni tiheys	Massa Tiheys	Pelvis										Pelvis iCBCT						Pelvis Fast				Pelvis MAR				TT
			Oulu					Turku					Oulu			Turku			Oulu		Turku						
			L1	L2	L4	L5	L6	L6	L6 H5	L1	L2	L5	L6	L6 iCBCT	L6 iCBCT AC	L6 H5 iCBCT	L6 H5 iCBCT	L1	L2	L5	L6	L2	L5	L6 AC MAR	H5 AC MAR		
Air	1,01E-20	0,001204	-997,3	-975,9	-995,5	-985,6	-997,5	-931,5	-929,7	-999,4	-997,1	-999,9	-996,7	-934,9	-945,7	-934,7	-945,4	-998,7	-981,5	-991,0	-997,6	-997,1	-999,9	-945,4	-945,1	-1005	
Lung inhale	0,668	0,205	-771,7	-761,5	-781,0	-770,1	-794,9	-760,8	-759,0	-812,0	-801,8	-808,9	-793,5	-767,7	-804,5	-766,7	-803,7	-780,8	-767,4	-774,3	-799,4	-801,8	-808,9	-805,1	-805,0	-800,75	
Lung exhale	1,658	0,507	-488,9	-486,7	-501,7	-493,1	-503,3	-484,7	-482,6	-518,2	-513,4	-518,6	-502,4	-491,0	-514,4	-489,7	-513,8	-496,3	-492,0	-497,1	-508,6	-513,4	-518,6	-514,5	-513,9	-498,5	
Adipose	3,171	0,96	-60,8	-63,6	-70,7	-69,2	-58,2	-68,2	-66,5	-70,8	-66,3	-70,8	-56,8	-74,3	-72,4	-73,5	-71,6	-62,8	-66,3	-69,8	-63,1	-66,3	-70,8	-73,5	-72,9	-65	
Breast	3,261	0,99	-29,1	-28,2	-35,2	-34,0	-22,6	-39,8	-38,9	-36,0	-31,0	-33,8	-22,6	-43,2	-38,4	-43,1	-38,4	-33,6	-32,1	-36,9	-27,5	-30,9	-33,8	-38,8	-38,7	-37,5	
Water	3,34	1	24,1	3,7	17,5	-5,0	-17,5	-16,5	-11,2	15,3	4,7	-22,0	-10,1	-22,2	-8,7	20,2	23,7	13,7	12,7	19,0	-2,6	-2,8	4,5				
Muscle	3,483	1,06	52,5	52,6	49,0	42,6	59,2	49,3	51,0	50,6	57,3	51,0	58,7	45,4	48,7	45,8	49,7	47,1	45,6	38,8	54,4	57,3	51,1	49,8	50,0	41,75	
Liver	3,516	1,07	76,0	79,7	63,5	71,0	76,0	62,6	62,4	72,0	76,2	66,4	77,6	58,7	68,9	57,9	68,8	76,2	77,6	70,4	73,3	76,3	66,5	68,2	69,6	60	
Bone 200	3,73	1,16	220,2	214,4	209,3	206,3	235,2	206,2	207,8	248,7	249,9	247,2	232,6	202,9	235,7	202,6	236,4	221,3	213,2	207,1	232,0	249,9	247,2	235,6	236,1	227,5	
Bone 800	4,862	1,53	848,0	848,4	827,3	843,9	892,4	829,8	830,9	974,9	988,7	979,0	884,0	821,7	946,2	821,0	946,9	850,3	847,3	845,2	883,0	988,8	979,0	945,6	947,4	907,036	
Bone 1250	5,663	1,82	1261,0	1269,1	1288,4	1267,5	1350,6	1243,9	1246,4	1452,6	1479,0	1499,2	1339,4	1235,6	1421,0	1237,4	1425,3	1261,6	1272,0	1271,0	1338,0	1479,1	1499,1	1421,0	1430,1	1365,413	
Titanium	12,475	4,51	6667,5	6714,1	6280,1	6706,6	6598,6	6892,3	6893,0	6834,4	6794,8	6770,4	6571,4	6928,1	6994,9	6928,5	6994,5	6812,4	6753,3	6718,2	6638,9	6720,2	6704,9	6905,8	6905,5	8245,832	

Tolerances (HU)			
Reference	Lung	Soft	Bone
ESTRO	60	50	170
IPEM	8	10	70
IAEA	992	970	994
787	792	800	817
-502	-502	-515	-516
-68	-70	-80	-77
-34	-34	-44	-42
2	-1	1	-4
51	51	42	47
70	71	67	66
227	230	280	276
897	879	1111	1093
1352	1332	1646	1638
6772	6787	6930	6950

# Hypersight – Elektronitiheyskäyrän validointi (KA vertailu)

## Aivot

Materiaali	Elektroni tiheys	Massa Tiheys	Brain FDk										Brain iCBCT								Brain Fast			Brain MAR				KA					
			Oulu					Turku					Oulu				Turku				Oulu			Oulu					Turku				
			L1	L2	L4	L5	L6	L6 IQ	L6	L6 H5 IQ	L6 H5	L1	L2	L5	L6	L6 iCBCT IQ	L6 iCBCT	L6 iCBCT IQ AC	L6 iCBCT AC	L6 H5 iCBCT IQ	L6 H5 iCBCT	L6 H5 AC iCBCT	L6 H5 iCBCT	L1	L2	L5	L2		L5	L6 AC MAR IQ	L6 AC MAR	H5 AC MAR IQ	H5 AC MAR
Air	1,01E-20	0,001204	-1000,0	-999,9	-1000,0	-1000,0	-984,0	-922,2	-931,4	-912,7	-924,7	-1000,0	-996,1	-994,2	-998,3	-943,6	-943,5	-939,6	-940,9	-942,4	-941,6	-935,8	-937,9	-1000,0	-1000,0	-999,8	-996,1	-993,6	-938,8	-938,8	-936,8	-938,0	-971
Lung inhale	0,668	0,205	-851,8	-822,7	-837,5	-834,0	-817,1	-803,8	-803,9	-797,1	-799,9	-856,5	-821,9	-838,2	-825,7	-804,7	-806,2	-796,3	-798,1	-804,6	-805,3	-796,1	-795,5	-856,6	-834,3	-858,1	-821,8	-839,2	-798,7	-799,1	-798,7	-797,8	-820
Lung exhale	1,658	0,507	-522,9	-517,6	-519,8	-518,5	-519,3	-507,6	-507,3	-504,8	-506,2	-528,6	-519,0	-517,6	-518,5	-509,6	-508,9	-511,7	-511,5	-508,8	-508,0	-512,6	-512,0	-528,5	-525,3	-532,0	-519,0	-518,6	-497,1	-495,4	-500,6	-497,8	-515
Adipose	3,171	0,96	-73,8	-91,6	-90,3	-100,4	-57,6	-63,9	-68,2	-67,0	-67,0	-70,2	-91,0	-96,5	-66,4	-72,8	-71,7	-81,4	-81,9	-70,1	-72,9	-86,9	-83,4	-66,1	-89,6	-110,0	-91,1	-97,3	-72,7	-70,4	-75,9	-74,2	-80
Breast	3,261	0,99	-39,1	-51,1	-42,1	-51,5	-19,4	-28,2	-27,9	-28,8	-29,5	-44,1	-66,5	-64,5	-24,5	-32,5	-32,5	-44,0	-42,2	-32,2	-29,2	-49,7	-39,2	-42,0	-65,3	-63,8	-66,5	-64,3	-38,1	-40,8	-41,8	-38,9	-44
Water	3,34	1	23,2	-0,1	14,1	-4,3	14,7	21,5	16,3	17,9	12,9	-12,6	-15,6	13,0	10,5	-13,1	-13,7	15,6	9,2	-8,6	-11,3	20,1	-9,1	-6,4	-12,5	-15,5	-9,0	-9,9	-10,6	-10,7	1		
Muscle	3,483	1,06	51,8	34,0	48,1	23,6	63,8	60,9	59,6	59,3	57,0	48,8	22,0	7,6	57,8	58,7	57,7	47,1	47,5	56,1	56,7	43,7	46,3	47,7	21,6	-2,3	22,1	4,9	41,2	43,4	39,7	43,6	42
Liver	3,516	1,07	76,1	48,0	69,8	56,6	96,6	94,6	100,4	91,2	98,1	71,8	36,2	48,8	87,1	92,0	90,2	65,7	66,6	94,0	88,8	59,5	65,9	73,3	38,2	50,8	36,2	49,1	62,5	62,3	58,0	63,4	67
Bone 200	3,73	1,16	319,2	293,1	309,0	283,4	297,9	283,2	281,9	277,2	276,2	316,3	271,0	258,7	296,6	275,9	276,2	257,8	273,4	276,3	253,2	265,9	316,5	275,1	264,8	271,2	258,8	250,4	248,4	246,4	249,0	280	
Bone 800	4,862	1,53	1241,5	1112,3	1172,6	1095,5	1113,8	1100,5	1096,7	1079,5	1079,4	1243,1	1092,5	1079,8	1114,1	1082,3	1086,0	1044,2	1046,8	1079,8	1076,2	1043,4	1046,4	1246,3	1104,1	1084,1	1092,7	1079,0	1073,1	1066,7	1072,6	1072,2	1111
Bone 1250	5,663	1,82	1839,4	1650,4	1742,5	1639,7	1621,9	1585,6	1581,8	1568,8	1561,4	1844,4	1692,6	1698,6	1638,4	1563,5	1563,3	1583,2	1588,9	1558,4	1549,1	1594,0	1593,0	1847,3	1659,7	1704,9	1700,2	1613,1	1487,0	1483,9	1462,0	1458,2	1646
Titanium	12,475	4,51	6969,7	6937,5	6973,3	6950,0	6917,5	6956,3	6839,8	6955,1	6811,0	6964,2	6941,1	6953,9	6929,7	6962,8	6845,6	6965,4	6849,1	6962,9	6822,9	6969,7	6860,6	6966,3	6936,6	6934,5	6921,4	6958,2	6941,4	6819,3	6939,0	6886,8	6930

## Pelvis

Materiaali	Elektroni tiheys	Massa Tiheys	Pelvis										Pelvis iCBCT						Pelvis Fast				Pelvis MAR				KA				
			Oulu					Turku					Oulu			Turku			Oulu				Oulu					Turku			
			L1	L2	L4	L5	L6	L6	L6 H5	L1	L2	L5	L6	L6 iCBCT	L6 iCBCT AC	L6 H5 iCBCT	L6 H5 iCBCT	L1	L2	L5	L6	L2	L5	L6 AC MAR	H5 AC MAR	L6 AC MAR		H5 AC MAR			
Air	1,01E-20	0,001204	-997,3	-975,9	-995,5	-985,6	-997,5	-931,5	-929,7	-999,4	-997,1	-999,9	-996,7	-934,9	-945,7	-934,7	-945,4	-998,7	-981,5	-991,0	-997,6	-997,1	-999,9	-945,4	-945,1	-974					
Lung inhale	0,668	0,205	-771,7	-761,5	-781,0	-770,1	-794,9	-760,8	-759,0	-812,0	-801,8	-808,9	-793,5	-767,7	-804,5	-766,7	-803,7	-780,8	-767,4	-774,3	-799,4	-801,8	-808,9	-805,1	-805,0	-787					
Lung exhale	1,658	0,507	-488,9	-486,7	-501,7	-493,1	-503,3	-484,7	-482,6	-518,2	-513,4	-518,6	-502,4	-491,0	-514,4	-489,7	-513,8	-496,3	-492,0	-497,1	-508,6	-513,4	-518,6	-514,5	-513,9	-502					
Adipose	3,171	0,96	-60,8	-63,6	-70,7	-69,2	-58,2	-68,2	-66,5	-70,8	-66,3	-70,8	-56,8	-74,3	-72,4	-73,5	-71,6	-62,8	-66,3	-69,8	-63,1	-66,3	-70,8	-73,5	-72,9	-68					
Breast	3,261	0,99	-29,1	-28,2	-35,2	-34,0	-22,6	-39,8	-38,9	-36,0	-31,0	-33,8	-22,6	-43,2	-38,4	-43,1	-38,4	-33,6	-32,1	-36,9	-27,5	-30,9	-33,8	-38,8	-38,7	-34					
Water	3,34	1	24,1	3,7	17,5	-5,0	-17,5	-16,5	-11,2	15,3	4,7	-22,0	-10,1	-22,2	-8,7	20,2	23,7	13,7					12,7	19,0	-2,6	-2,8	2				
Muscle	3,483	1,06	52,5	52,6	49,0	42,6	59,2	49,3	51,0	50,6	57,3	51,0	58,7	45,4	48,7	45,8	49,7	47,1	45,6	38,8	54,4	57,3	51,1	49,8	50,0	51					
Liver	3,516	1,07	76,0	79,7	63,5	71,0	76,0	62,6	62,4	72,0	76,2	66,4	77,6	58,7	68,9	57,9	68,8	76,2	77,6	70,4	73,3	76,3	66,5	68,2	69,6	70					
Bone 200	3,73	1,16	220,2	214,4	209,3	206,3	235,2	206,2	207,8	248,7	249,9	247,2	232,6	202,9	235,7	202,6	236,4	221,3	213,2	207,1	232,0	249,9	247,2	235,6	236,1	227					
Bone 800	4,862	1,53	848,0	848,4	827,3	843,9	892,4	829,8	830,9	974,9	988,7	979,0	884,0	821,7	946,2	821,0	946,9	850,3	847,3	845,2	883,0	988,8	979,0	945,6	947,4	897					
Bone 1250	5,663	1,82	1261,0	1269,1	1288,4	1267,5	1350,6	1243,9	1246,4	1452,6	1479,0	1499,2	1339,4	1235,6	1421,0	1237,4	1425,3	1261,6	1272,0	1271,0	1338,0	1479,1	1499,1	1421,0	1430,1	1352					
Titanium	12,475	4,51	6667,5	6714,1	6280,1	6706,6	6598,6	6892,3	6893,0	6834,4	6794,8	6770,4	6571,4	6928,1	6994,9	6928,5	6994,5	6812,4	6753,3	6718,2	6638,9	6720,2	6704,9	6905,8	6905,5	6772					

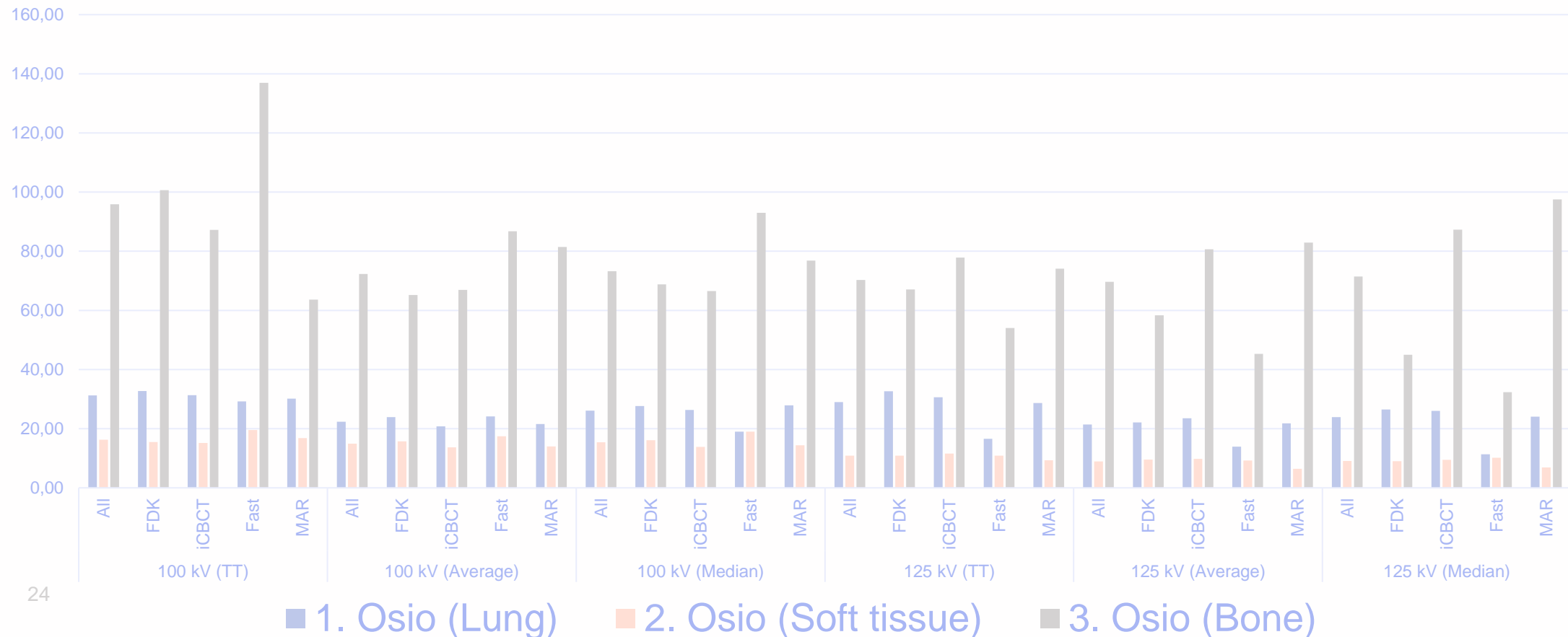
### Tolerances (HU)

Reference	Lung	Soft	Bone
ESTRO	50	50	170
IPEM	8	10	70
IAEA	20	20	34
AAPM	-	30	-

# Hypersight – Elektronitiheyskäyrän validointi

Julkaisemattomasta aineistosta.

RMSE



# Hypersight – Jatkosuunnitelmat

---

- Luodaan kaksi kalibraatiokäyrää KKTT kuville
  - 100 kV ja 125 kV
- Lasketetaan myös TT:n kalibraatiokäyrään
- Vertailu:
  - TT kuvattu ATOM vs. TB-HS vs. TB-S – KKTT:n kalibraatiokäyrä
  - TT kuvattu ATOM vs. TB-HS vs. TB-S – TT:n kalibraatiokäyrä
- Validointi:
  - TT kuvattu ATOM vs. Halcyon-HS vs. Halcyon-S – KKTT:n kalibrointikäyrä
  - TT kuvattu ATOM vs. Halcyon-HS vs. Halcyon-S – TT:n kalibrointikäyrä
- Annossuunnitelmien laadinta ja tulosten kerääminen

# Hypersight – Tulevaisuuden suunnitelmat

---

- Fantomi aineistosta siirtyminen potilasaineistoon
- Hypersightin validointi ja optimointi osaksi pään ja kaulan alueen potilaiden hoitoa (OART)
  - Lasketetaan Hypersightilla otettuihin kuviin suunnitelma viikon välein hoitajakson ajan
    - Eivät vaikuta potilaan hoitoon
  - Integroidaan mukaan myös automaattisegmentointi
    - Tukevatko offline adaptiivista työnkulkua.
- Tavoitteena analysoida >30 potilasta

# Hypersight – Johtopäätökset tähän mennessä

---

1. Hypersightin lupaamat parannukset kuvanlaatuun ovat osittain kyseenalaistettavissa etenkin homogeenisuuden suhteen. Parannukset kohdistuvat vahvasti Acuros –pohjaisten rekonstruktio algoritmien ympärille.
2. Erot Hypersightilla kerätyn elektronitiheyskäyrän ja perinteisellä kV-KKTT kerätyn välillä ovat pienet. Suurimmat erot tulevat tiheimmillä materiaaleilla (Luu), joissa Hypersightin tulokset ovat lähempänä TT:n arvoja.
3. Rekonstruktio algoritmin valinnalla ei ole suurta vaikutusta kalibrointikäyrään – Kuvausjännitteiden välinen ryhmittely on riittävä
4. Hypersightilla kuvattuihin kuviin tehtävissä annoslaskelmissa voidaan mahdollisesti hyödyntää TT:llä kerättyä kalibrointikäyrää – Vaatii lisää mittauksia

---

Jesse Lohela

Erikoistuva fyysikko & väitöskirjatutkija

Jesse.lohela@pohde.fi

puh. 0504363977

www.pohde.fi