

Kuvantamisketju: Heikoin lenkki määrää kuvan laadun

Erikoistuva fyysikko Tuomo Starck, Oulu

Johdanto

Monimutkaisessa järjestelmässä on aina jokin heikoin lenkki, mutta vakavuusaste vaihtelee. Kuvantamisketjunkin tapauksessa heikoin lenkki määrittää pitkälti tutkimuksen laadun. Laadulle voidaan ajatella esimerkiksi kaksi ulottuvuutta, optimoitu sekä yhteneväinen toiminta. Järjestelmän heikkoja kohtia voidaan luokitella monista näkökulmista, mm.:

- vakavuus (letaali – kauneusvirhe)
- toistuvuus (systemaattinen – äärimmäisen harvinainen ”musta joutsen”)
- laajuus (kattaa kaikki tutkimukset – yksittäinen tutkimustyyppi)
- ongelman syntyperä (tekninen – inhimillinen)

Ongelmatilanne syntyy usein jonkinlaisen epäjatkavuuskohdan jälkeen, kun kuvantamisketjuun tehdään muutos, jonka vaikutuksia järjestelmän toimintaan ei osatakaan ennakoida. Muutoksia tehtäessä, esimerkiksi jonkin teknisen parannuksen myötä, voi olla epätodennäköistä, että yksi ihminen ilman vuorovaikutusta muiden asianosaisten kanssa pystyisi näkemään aiheutuvat muutokset järjestelmän muulle toiminnalle. Kokonaisuuden hallinta on erityisen tärkeää muutostilanteissa, silloin hyvä kommunikaatio organisaatiossa on olennaista. Vaihtoehtona on nojata asiantuntijaan, joka hallitsee kaiken yksin, mikä on kuitenkin harvinaista.

Melkein kaikissa työpaikkojen kyselytutkimuksissa on huomautettu jonkinlaisesta kommunikaation puutteellisuudesta. Ihmisyhteisöjen ongelmat voidaankin monella tapaa ajatella redusoituvan eri syistä johtuviin kommunikaation ongelmiin. Kuvantamistoiminnassa ammattiryhmien välisessä kommunikaatiossa sairaalafyysikolla on usein suurehko rooli, toivottavasti ei kuitenkaan se heikoin lenkki.

Tässä esitelmässä tarkastellaan teknistä kuvantamisketjua siihen tehtyjen muutosten aiheuttamien haasteiden ja ongelmien kautta. Jotkin seuraavassa käsiteltävät asiat voivat olla erityisiä heikkoja lenkkejä, mutta suurimmaksi osaksi ne eivät ole kriittisiä järjestelmän toiminnalle.

Kuvaustapahtuma

Kuvauksen aikana tekniikan virheellinen toiminta tai epäoptimaalisesti suunnitellut käyttöasetukset voivat aiheuttaa ongelmia kuvan laadulle tai liialliselle sädeannokselle. Esimerkiksi vajaan valotuksen voi aiheuttaa generaattorin tai valotusautomaatiikan vika. Mikäli tällaiset ilmenevät satunnaisesti, voi niiden todentaminen ja korjaaminen olla aikaa vievää. Säännöllisillä laadunvalvontamittauksilla pyritään varmistamaan valotusautomaatiikan ja säteilyntuoton oikeellinen toiminta.

Siirryttäessä filmijärjestelmästä digitaaliseen järjestelmään säilyttäen vanha valotusautomaatiikka, olisi hyvä tiedostaa, että säädetty kV-kompensaatio ei enää pidä paikkaansa uudella detektorityypillä. Ero johtuu detektoreiden erilaisesta herkkyydestä röntgensäteilyn energian suhteen eli valotusautomaatiikka pitäisi kalibroida käytettävällä energia-alueella uuden detektorityypin käyttöönoton myötä. Filmikuvantamisessa valotusautomaatiikka oli säädetty säilyttämään kuvan optinen tiheys samana jännitteen muuttuessa, mutta digitaalisessa järjestelmässä relevanttia olisi kalibroida järjestelmä pitämään annosindikaattori vakiona kuvausjännitteen muuttuessa [1].

Kuvan laadulle tärkeämpänä seurauksena detektoreiden energiavasteen eroista on herkkyys sironneelle säteilylle, jonka energia on matalampi kuin primaarisäteilyllä. Yleisimmät digitaalijärjestelmissä käytetyt detektorimateriaalit ovat herkempiä hajasäteilylle (k-reunat 13–36 keV:n välillä) kuin filmi-vahvistuslevyjärjestelmän gadolinium-pohjaiset (k-reuna n. 50 keV), mikä saattaa tarkoittaa hilan käytön olevan suositellumpaa kuin filmiaikana. Samasta syystä myös korkeamman hilasuhteen hilojen käyttö on suositeltua digitaalisissa järjestelmissä. Lisäksi digitaalisissa järjestelmissä kannattaa käyttää tiheälamellista hilaa hila-artefaktan ja moiré-kuvioiden välttämiseksi [2].

Kvantatutkimuksille optimaalisten yhdistelmien valinta kuvausjännitteen, lisäsuodatuksen, sähkömäärän ja hajasäteilyhilan kesken on melko monimutkaista organisaatioissa, joissa on monenlaisia detektoreihin perustuvia digitaalisia järjestelmiä. Lisäksi pitäisi järjestelmällisesti pystyä kompensoimaan vaihtelevan paksuisten potilaiden aiheuttamaa haastetta riittävän tasaiselle kuvanlaadulle.

Kuvaluenta

Kuvan luentavaiheessa on kuvalevylukijalaitteiden virheellinen toimin-

ta tietenkin mahdollista, esimerkiksi luentaoptiikan tai kuvalevyjen liikaantumisen voi aiheuttaa artefaktoja. Ylipäättään detektoriviat voivat tuottaa hyvin moninaisia artefaktoja [3]. Näiden mahdollisesti asteittain pahenevien vikojen havaitseminen potilaskuvauksista saattaa olla vaikeaa, joten laadunvalvontamittauksissa tehtävät lukijan kalibroinnin tarkistaminen ja tasaisen kuvan ottaminen ovat tärkeitä. Fyysisen luennan jälkeen kuvantuottoketjussa on potentiaalisena virhelähteenä histogrammianalyysi ja automaattinen kohteentunnistus, joka saattaa epäoptimaalisen säteilytyksen, kuvausprojektion, rajauksen, asettelun tai poikkeavan korkeakontrastikohteen takia epäonnistua. Kohteen automaattisen määrittelyn epäonnistuessa pitää tietenkin pyrkiä käyttämään manuaalista kuvarajasta uusintakuvaus sijaan.

Digitaalisten järjestelmien dynamiikka on tunnetusti laaja, eikä säteilyn määrä kuvadetektorilla vaikuta laaja-alaiseen kontrastiin normaalilla toiminta-alueella. Rajoittavaksi tekijäksi sähkömäärän pienentämiselle tulee kvanttikohina, joka satunnaisena tekijänä on kuvan kohinan dominoiva tekijä (quantum sink), sekä järjestelmän rakenteellinen kohina. Digitaalisessa kuvantamisessa myös kuvausjännitteen merkitys on vähentynyt verrattuna filmiaikaan; jännitteen kasvaessa histogrammin olennaisen kuvainformaation sisältävä ikkuna kapenee luu-pehmytkudoskontrastin pienentyessä, mutta erot kuvausjännitteiden välillä pitkälti kompensoituvat lopullisen kuvan esityksessä monitorilla.

Kuvankäsittely

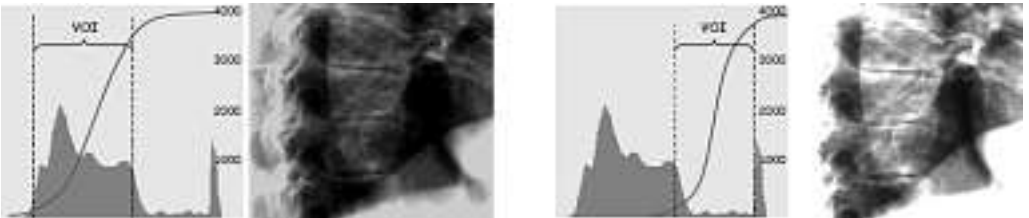
Käytännön potilaskuvaamisessa saatetaan joskus pitää huonon kuvan kuvausarvoja liian vähäisinä, vaikka ongelmana saattaa olla esim. kuvan eritummuuksisissa osissa erilainen kontrasti, joka voi olla mahdollista korjata kuvankäsittelyparametreja säätämällä. Digitaalisella järjestelmällä valotusvaste on lineaarinen, mutta hyvän kuvakontrastin esittämiseksi käytetään S-käyrää (tai LUT-käyrää – look-up-table), jonka ominaisuuksia kuvauskohteen mukaan säädellään. Epätarkoituksenmukainen S-käyrä voi esimerkiksi korostaa suolikaasuja lantiokuvauksessa ja saada ne näyttämään syöpäpesäkkeiltä.

Perinteisen S-käyrän lisäksi kuvan kontrastia pyritään monissa tutkimuksissa kasvattamaan paikallisesti ja tasoittamaan kuvan suurten harmaasävyerojen välillä, tähän pitäisi olla mahdollista vastata nykyaikaisilla monitaajuusprosessoinneilla [4]. Yleisesti ottaen digitaalisella

kuvankäsittelyllä voidaan parantaa kuvien tulkintaa, mutta milloinkaan kuvan informaatio ei kasva. Kuvankäsittely voi toimia myös virhelähteenä. Työympäristössä, jossa tulkitaan kuvia monenlaisilta natiivikuvauslaitteilta, on haasteena olla tietoinen eri laitteiden tuottamien kuvien mahdollisesta ristiriitaisuudesta. Jos eri laitteiden kuvia tulkitaan ”sokkona”, voi yhden laitteen kuvasta löytyä virheellisesti patologiaa, kun ollaan mahdollisesti totuttu toisen laitteen tuottamiin kuviin.

Harmaasävyesitys diagnostisilla monitoreilla

Tärkeää kuvakontrastin optimoimisen ja hallittavuuden kannalta olisi, että kuvauslaitteen työasemamonitori olisi harmaasävykalibroitu diagnostisten työasemien kaltaiseksi. Tulevaisuudessa diagnostisilla kuvankatselumonitoreilla saattaa lisäksi olla monipuolisemmat mahdollisuudet kontrastin säätämiseksi. Kuvassa 1 on esitetty DICOM-standardin lisätoiminnallisuus, joka mahdollistaisi laajemman harmaasävyskaalan esityksen. Tällöin automaattisen histogrammitunnistuksen aiheuttamat ongelmat vähenisivät.



Kuva 1. Käyttämällä DICOM:n value of interest (VOI) LUT -toimintoa voidaan välttää kuvainformaation tuhoaminen ja tarvittaessa histogrammianalyysin ulkopuolinen data saadaan uudelleen näkyviin. (kuva: Peck & Flynn, AAPM 2005 konferenssiesitys)

Digitaalikuvan harmaasävyesityksen tallennus ja toisto on kriittinen vaihe kuvantamisketjusta, mikä on viime vuosina alkanut saamaan ansaitsemaansa huomiota. Siirtymä filmiajan analogilaitteista digitalisoituun järjestelmään jätti selviä aukkoja kokonaisuuden laadunhallintaan. Kuvankäsittelyketjun bittisyvyyden pullonkaulat käsittelyn eri vaiheissa aiheuttavat virheitä lopullisessa kuvatoistossa verrattuna DICOM-määrittelyn mukaiseen harmaasävyyden näyttöfunktioon (GSDF). Vielä

tärkeämpi tekijä on DICOM-määritelmän mukaisen kuvankäsittelyn ja kommunikaation toteutus, jotta diagnostisella monitorilla pystyttäisiin esittämään arkistoitu kuva niinkuin on ihmissilmälle soveliainta. Natiivikuvausjärjestelmän ja arkiston täytyy siis olla DICOM-standardin mukaisia tässä suhteessa, mutta myös kuvankatselumonitori täytyy olla kalibroitu toistamaan harmaasävyt standardin mukaisesti. Monitoreiden harmaasävytoiston ja kuvankatseluolosuhteiden huonous onkin tämän päivän merkittävin kuvantamisketjun systemaattinen tekninen heikko lenkki.

Viitteet

- [1] Doyle P. & Martin C.J. (2006) Calibrating automatic exposure control devices for digital radiography. *Phys. Med. Biol.* 51, 5475–5485.
- [2] Lin Chih-Yang et al. (2006). A study of grid artifacts formation and elimination in computed radiography images. *J Dig. Imaging*. Vol 19, no 4, pp 351–361.
- [3] Willis C.E. et al. (2004). Artifacts and misadventures in digital radiography. *Appl. Radiol.* 33, 11–20.
- [4] Prokop M. & Schaefer-Prokop M.C. (1997) Digital image processing. *Eur. Rad.* 7 (Suppl. 3), S73–S82.