

Stafræn tækni opnar nýjar víddir í röntgenþjónustu

Ásbjörn Jónsson **Ágrip**

Með hjálp tölvutækni má framkvæma allar myndgreiningarrannsóknir þannig að myndirnar verði á stafrænu formi. Úrlestur rannsókna á röntgendeildum fer þá fram á sérhæfðum tölvuskjám og myndirnar eru geymdar í stafrænni myndgeymslu. Læknar sem vísa sjúklingi til rannsókna senda beiðni og fá röntgensvör gegnum tölvunet. Tilvísandi læknir getur nálgast myndirnar í myndgeymslunni og skoðað þær á venjulegum tölvuskjá. Öll starfsemi röntgendeilda og samskipti við lækna verða í framtíðinni pappír- og filmulaus. Þetta hefur veruleg áhrif, ekki einungis á starfsemi sjúkrahúsa, heldur munu sjúklingar heilsugæslulækna og sjálfstætt starfandi lækna njóta betri þjónustu.

Raktar eru helstu aðferðir við að framkvæma hefðbundnar röntgenrannsóknir með stafrænni tækni sem og kostir stafrænna mynda. Þá er gerð grein fyrir ýmsum breytingum sem orðið geta á þjónustu röntgendeilda á Íslandi í náninni framtíð.

Inngangur

Með hratt vaxandi notkun stafrænnar tækni opnar áður óþekktir möguleikar innan heilbrigðisþjónustunnar. Samskipti eru hraðari, úrvinnsla gagna er markvissari og geymslurými er fyrir ómælt magn upplýsinga. Þessi þróun, ásamt nýjum stafrænum myndgreiningarbúnaði, hefur þegar haft veruleg áhrif á læknisfræðilega myndgreiningu og mun meiri breytingar eru í sjónmáli. Nauðsynlegt er að fleiri en röntgenlæknar tileinki sér þessar nýjungar, aðrir læknar sem nota myndgreiningu í daglegu starfi þurfa einnig að þekkja og hagnýta sér þær. Þannig má tryggja að þessar breytingar nýtist sjúklingum best. Hér verður farið yfir grunn stafrænnar myndgerðar og raktar þær breytingar á starfsemi röntgendeilda sem þegar hafa orðið og eru fyrirsjáanlegar.

Stafrænar myndir

Stafrænar myndir eru að grunni til ólíkar hinni hefðbundnu röntgenmynd. Venjuleg röntgenmynd er hliðræn (analog) mynd, sem samsett er úr óendanlega mörgum punktum með samfelldan gráskala. Þannig er ekki hægt að afmarka einn punkt í myndinni frá öðrum.

Stafræn mynd er hins vegar samsett úr myndeiningum (pixel, picture element), sem eru agnarsmáir ferningar. Hver myndeining hefur

ENGLISH SUMMARY

Jónsson Á

The impact of digital techniques on radiological services

Læknaþlaðið 2000; 86: 673-81

All diagnostic imaging examinations may be performed digitally using computer techniques. The diagnostic reading in the imaging department can be made on a specialised computer screen and the images stored in a digital archive. The referring physician uses his computer to send requests and to read the reports. He can also access the images in the archive and view the images on a standard computer screen. The X-ray departments and their communication with referring physicians will be paper- and filmless, which results in considerable changes in working routines and increased speed of service. Digital X-ray techniques are described and some examples of digital services given.

Key words: radiology, diagnostic imaging, digital, information technology, teleradiology.

Correspondence: Ásbjörn Jónsson. E-mail: asjon@shr.is

ákveðið gráskalagildi og því er unnt að afmarka einn punkt í myndinni frá þeim næsta, ef gráskalagildi þeirra er mismunandi. Þannig er stafræn mynd gerð úr dálkum og röðum af myndeiningum og kallast það myndfylki (image matrix). Upplausn eða skerpa myndarinnar er háð stærð myndeininganna og upplausnargetu myndgerðarbúnaðarins. Ef heildarstærð myndar er óbreytt en dálkum og línunum er fjölgað (stærra myndfylki) minnkar hver myndeining og upplausn eykst. Þar af leiðir að betri upplausn krefst aukins geymslurýmis ef vista á myndina, til dæmis þarf fjórfalt meira geymslurými fyrir 1024x1024 myndfylki en fyrir 512x512 myndfylki. Fjöldi mögulegra grátóna sem hver myndeining getur fengið kallast dýpt og er gefin upp í bitum. Algengast eru 8, 10 eða 12 bitar, sem samsvara 256, 1048 og 4096 grátónum. Stafrænni mynd má lýsa með þessu, til dæmis 1024x1024x12 bitar. Til að fylki segi til um upplausn myndar þarf að vita raunstærð myndar. Því er hámarksupplausnin iðulega gefin í línupörum á millimeter (lp/mm), sem gefur upplausn óháð myndstærð. Fleiri línupör á hvern millimetra

Frá röntgendeild Landspítala Fossvogi og læknaeild Háskóla Íslands. Fyrirspurnir, bréfaskipti: Ásbjörn Jónsson, röntgendeild Landspítala Fossvogi, 108 Reykjavík. Sími: 525 1000. Netfang: asjon@shr.is

Lykilord: röntgen, myndgreining, stafræn tækni, upplýsingatekni, fjarlækningar.

þýða minni myndeiningar og aukna upplausn myndar. Kostur er að unnt er nota lþ/mm einnig fyrir hliðrænar myndir. Þá má og gefa upp raunstærð hvernar myndeiningar til dæmis í millimetrum eða mikrómetrum.

Stafræn myndgerð

Frá uppgötvun röntgengeislans fyrir rúmum 100 árum hefur myndgerðin lengst af verið fólgin í að lýsa röntgenfilmum. Öll nýrri myndgerðartæki eru aftur á móti byggð á stafrænum grunni. Ísótópmyndir, ómmyndir, tölvusneiðmyndir, segulómmyndir og myndir frá fullkornari æðapræðingartækjum eru gerðar með aðstoð tölvu og því stafrænar. Möguleikar stafrænnar myndgerðar hafa þó lengstum verið lítið notaðir og myndir prentaðar út á filmu til úrlestrar, skoðunar og geymslu. Á síðari árum hefur komið til tækni sem gerir kleift að færa venjulega röntgenmynd á stafrænt form og jafnvel að myndin sé millilíðalaust tekin á stafrænu formi. Þar með er unnt að framkvæma allar myndgreiningarrannsóknir með stafrænni tækni.

Kostir stafrænnar myndgerðar

Hefðbundin röntgenmynd á filmuformi þarf að gagnast til ólíkra hluta. Röntgenmyndin er fyrst fest á filmu við myndgerðina. Síðan er filman notuð til úrlestrar og túlkunar rannsóknar. Þá er sama filman notuð til að sýna þeim lækni er sendi sjúkling í rannsókn hvað fundist hefur. Í fjórða lagi er filman geymslumiðill rannsóknarinnar og ef nota þarf hana annars staðar, svo sem á skurðstofu eða til samanburðar, þarf að senda filmuna á milli staða. Útlit hefðbundinnar röntgenmyndar er endanlegt strax við myndatökuna og nánast ekkert hægt að breyta eiginleikum myndarinnar eftir á. Þó er til dæmis notað sterkt ljós til þess að skoða dökk svæði á myndinni sem og stækkunargler. Í eina öld hafa allir vinnuferlar á röntgendeild þróast í kringum filmuna. Stafræn tækni kallar því á viðtæka endurskipulagningu á starfsemi röntgendeilda.

Með stafrænni myndgerð má brjóta upp þessi mismunandi hlutverk. Þannig eru myndgerðin, myndvinnslan, úrlesturinn, myndskýningin, myndgeymslan og myndflutningur samtengdir en annars óháðir þættir. Því má nú bæta einstaka þætti eftir alveg nýjum leiðum, með aukna hagkvæmni og aukin gæði að markmiði.

Aðferðir við stafræna myndgerð

Einfaldasta aðferð til koma venjulegri röntgenmynd á stafrænt form er að nota myndbandstökuvél (svokallaða CCD myndavél). Upplausn myndanna er léleg og ekki nothæf til sjúkdómsgreiningar. Notkun er aðallega fólgin í sýningu rannsókna (til dæmis á morgunfundum).

Betri aðferð er að nota filmulesara (skanna). Þar

er venjuleg röntgenmynd sett í lesara sem matar myndina undir leysigeisla. Geislinn færast fram og aftur yfir myndina og les hana línu fyrir línu. Myndinni er þannig skipt upp í myndeiningar. Hver eining fær ákveðið gráskalagildi sem er meðalgildi grátóna samsvarandi svæðis á filmunni. Upplausnin er lægri en á filmunni en þó nægilega góð fyrir ýmsar sjúkdómsgreiningar. Slíkir filmulesarar eru framleiddir á Íslandi og eru til á Landspítala og á nokkrum stöðum á landsbyggðinni. Þessi tæki nýtast aðallega til fjargreiningar röntgenmynda sem þýðir að úrlestur rannsóknar fer fram annars staðar en sjálf myndatakan. Þá eru filmulesarar notaðir til að koma eldri rannsóknum á stafrænt form á filmulausum röntgendeildum en þar hefur stafræn tækni og skjáúrlestur úthýst filmum.

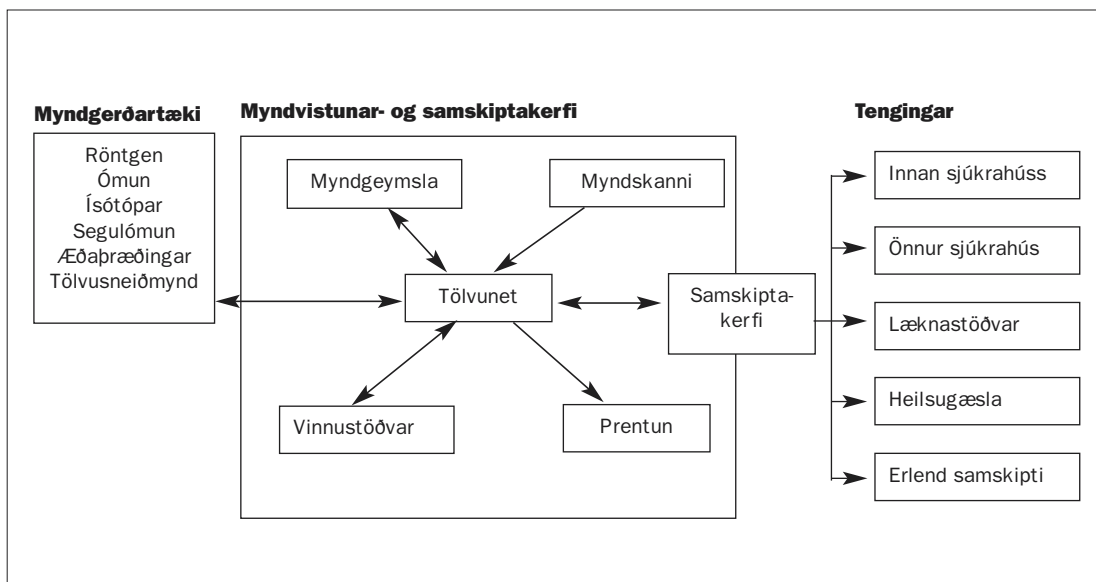
Þróaðri aðferðir til stafrænnar myndgerðar nota ekki röntgenfilmuna sem millilið.

Sú tækni þeirrar gerðar sem mest er notuð kallast myndplötukerfi (computed radiography) (1,2). Tæknin byggist á minnismyndplötum sem viðtaka geislunar, í stað filmu. Platan geymir í sér minnismynd í hverjum punkti í hlutfalli við áfallandi geislun, sem mótuð er af mismunandi geislagleypingu líkamsvefjanna. Minnisplatan inniheldur flúrskímandi efni og þegar hún er sett í sérstakan leysigeislalesara verður ljómun í hlutfalli við þá geislun er féll á hvern punkt. Ljósíð er numið fyrir hverja myndeiningu og styrkur ljóssins ákvarðar gráskalagildi þeirrar einingar. Þannig fæst stafræn mynd.

Auðvelt er að taka í notkun plötukerfi inni á röntgendeildum. Ekki þarf að breyta röntgentækjum. Innstillingar og myndatökutækni eru eins. Gömlu filmuhylkin og myndplötuhyllin eru eins að formi og stærð. Í stað framköllunarvéla koma myndlesarar. Ef skoða á myndina á filmu er hún prentuð út á leysigeislaprentara. Þá er hægt að skoða myndina á vinnustöð, sem er tölva með sérhæfðum hugbúnaði og góðum skjá. Ef engar filmur eru notaðar eru ljósaskápar og rúmfrekar filmugeymslur óþarfar.

Myndplötukerfi eru raunhæfur valkostur við hefðbundin filmukerfi. Plötukerfi leyfa vissa lækkun geislaskammta við töku myndarinnar (3) og vegna eðlis minnisplatananna eru endurteknningar vegna rangs geislaskammts nánast úr sögunni (1,2). Upplausnin er ívið lægri en á hefðbundinni filmu en greiningargildið er óbreytt samkvæmt flestum rannsóknum (4-7). Þó hefur verið sýnt fram á tilvik þar sem greiningargildi rannsókna með myndplötum getur verið lakara. Dæmi um það er greining ótilfærðra brota í útlimum (8). Kostir myndplötukerfisins eru taldir vega þetta upp og er útbreiðsla þeirra vaxandi. Plötukerfi eru ekki enn til héraendis.

Um þessar mundir er verið að kynna nýja tegund skynjara (9,10). Þar er viðtæki myndar plata af nýrri



Mynd 1. Dæmi um uppsetningu og tengingar myndvistunar- og samskiptakerfis.

gerð sem fækkar enn skrefunum frá því að röntgengeisli er sendur í gegnum sjúkling og þar til mynd birtist á skjá. Lesið er beint af hverri myndeyningu skynjarans sem geislað er á. Skynjarinn tengist tölvubúnaðinum um kapal. Þannig berst myndin beint í tölvu sem byggir upp myndina og sýnir á skjá. Þessi tækni mun enn stytta rannsóknartíma og auka afköst. Fyrirsjáanlegt er að þessi tækni komi í stað eldri myndplötukerfa og filmulesara.

Stafræn myndvinnsla

Unnt er að breyta stafrænni mynd á ýmsan hátt í vinnustöð (2). Kontrast myndar má breyta með því að nýta fleiri eða færri grátóna til að skoða myndina. Of ljósa eða of dökka mynd má laga. Þá eru ákveðnir þættir myndar ýktir en dregið úr öðrum eða þeir þurrkaðir út. Síðastnefndu breytingarnar eru gagnlegar í vissum tilvikum en hafa ekki valdið straumhvörfum í greiningarhæfni eins og vonast var til (3).

Úrlestur stafrænna rannsókna

Úrlestur fer fram á vinnustöðvum sem sérhannaðar eru til sjúkdómsgreiningar. Öflugar tölvur þarf til að afköst séu svipuð eða betri en úrlestur með filmum. Sérstakir hágæðaskjái eru yfirleitt notaðir. Í vinnustöð er mikilvægt að stuttan tíma taki að kalla rannsókn fram á skjáinn. Þá þarf að vera auðvelt að stækka, snúa og spegla myndunum, framkvæma mælingar og svo framvegis. Til að unnt sé skoða allar myndir í sömu rannsókn og jafnframt að bera saman við eldri rannsóknir hefur verið reynt að nota allt upp í fjóra skjái en algengast er nota einn eða tvo.

Stafrænar rannsóknir eru forsenda sjálfvirkis úrlestrar rannsókna, það er þegar tölva túlkar rannsókn (11). Slíkur búnaður er þegar til á

markaðinum og er þróunin einna lengst komin í röntgenrannsóknum á brjóstum (11,12). Þessi tækni er notuð til að beina athygli röntgenlæknis að hugsanlegri meinsemd en lokatúlkunin er röntgenlæknisins.

Stafræn myndýning

Venjulegar filmur eru afleitir miðill þegar sýna á mörgum hvað fundist hefur við rannsókn. Misgöð tæki eru fánleg til að stækka venjulegar myndir en þau eru óhentug. Hins vegar má sýna stafræna mynd beint á stórum tölvu- eða sjónvarpsskjám. Jafnframt má sýna sömu rannsókn samtímis á mörgum stöðum í einu.

Stafræn myndgeymsla

Filmugeymslur eru rúmfrekar og safnumslög fyrir filmur eru þung. Mjög erfitt er að halda reiðu á gagnasöfnum af þessu tagi og aðgangur að gögnum er ekki greiður. Stafræn myndgeymsla rúmast á nokkrum fermetrum og getur verið staðsett hvar sem er. Slíkar geymslur þurfa verulega minnisrým, talið í gíga- og terabætum frekar en megabætum, en stærð á einstakri röntgenmynd getur verið um 50 MB. Mest eru notaðir diskar og stafræn segulbönd, valið fer eftir verði á hverri minniseiningu, kröfum um aðgangshraða að gögnum og ætlaðan geyslutíma.

Stafrænn myndflutningur

Mynd frá stafrænni myndgeymslu má nálgast hvaðan sem er, svo fremi sem aðgangur að geyslunni sé heimilaður. Unnt er að skoða rannsóknina á skjá eða prenta út þar sem þörf er, til dæmis á skurðstofu, læknastofu eða á öðru sjúkrahúsi. Því er skynsamlegt að allar stafrænar myndgeymslur landsins séu samtengdar. Með slíkum myndflutningi tekur mun skemmri tíma að fá álit sérfræðinga innanlands sem utan.

Ný hugtök

Ofangreindar breytingar hafa fætt af sér ný hugtök innan myndgreiningar, í daglegu máli kölluð RIS (Radiological Information System), PACS (Picture Archiving and Communication System) og fjargreining (13,14).

RIS eru tölvukerfi sem sjá um sjúklingabókhald, tímagjöf, rannsóknarsvör og tengsl við tölvukerfi sjúkrahúsins (hospital information system, HIS). Rannsóknarsvör frá röntgendeildum eru send yfir á sjúkrahúskerfið.

PACS eða myndvistunar- og samskiptakerfi (mynd 1) sjá um vistun stafrænna mynda og tengsl við önnur kerfi hvað myndrænar upplýsingar varðar. Þannig er mögulegt að kalla beint fram rannsókn úr stafrænni myndgeymslu á einu sjúkrahúsi ef sjúklingur leggst inn annars staðar.

Fjargreining myndgreiningarrannsókna er einn angi fjarlæknisfræði (14). Fjargreining felur í sér að framkvæmd og túlkun rannsókna fara fram á mismunandi stöðum og rannsóknin er send á milli á stafrænu formi.

Framtíðarþjónusta á Íslandi

Aðskilnaður einstakra þátta myndgreiningarrannsókna opnar nýjar víddir í þjónustu og starfi röntgendeilda. Sjálf myndgerðin verður einungis háð staðsetningu rannsóknartækis, einhverjum sem kann á tækið og nærveru sjúklings. Algengast er að nota myndplötukerfi til að fá stafrænar röntgenmyndir. Myndirnar fara inn á net sem tengt er fjarskiptaneti. Óháður aðili, svo sem símafyrirtæki, getur séð um flutning hinnar stafrænu rannsóknar hvert á land sem er, jafnvel til annarra landa. Varðveisla myndanna gæti verið í höndum þriðja aðila sem sérhæfir sig í öruggri og öflugri gagnageymslu (lagabreytingu gæti þurft til að slíkt yrði heimilt). Einn eða fleiri sérfræðingar í myndgreiningu lesa úr rannsóknum, jafnvel sem verktakar eða með þjónustusamningum við stærri myndgreiningardeildir. Læknir sjúklings fær svar á tölvuskjá.

Þannig má hugsa sér að framkvæmd sé röntgenrannsókn af lungum á Vopnafirði. Lesið er úr henni augnabliki síðar í Reykjavík og svar sent til heilsugæslulæknisins að fimm mínútum liðnum. Rannsóknin er sjálfkrafa geymd hjá myndgeymslufyrirtæki á Norðurlandi. Þaðan getur brjóstholskurðlæknir í Reykjavík, sem leitað er álitis hjá, kallað fram myndina til skoðunar á tölvuskjá. Öll svör má nálgast gegnum tölvur og tölvunet.

Þrátt fyrir fjarlæknisfræði munu stærri myndgreiningardeildir áfram verða meginstarfsvettvangur röntgenlækna en þar er umfang þjónustunnar mest og röntgenlæknar sinna þar sérhæfðum rannsóknum, rannsóknarinngrípum, stjórnun, gæðaeftirliti og ráðgjöf. Heilsugæslustöðvar og minni sjúkrahús án þjónustu myndgreiningarlæknis geta

tengst stærri deildunum. Í raun getur röntgenstofa úti á landi verið hluti stærri myndgreiningardeilda, rétt eins og hver önnur rannsóknarstofa deildarinnar. Rannsókn framkvæmd á landsbyggðinni birtist þá á skjá röntgenlæknis á sama hátt og aðrar rannsóknir. Áþekkt dæmi er nú þegar til á röntgendeild Landspítala Fossvogi. Filmuskanni á röntgeneiningunni á Landakoti er notaður til að senda myndir til úrlestrar í Fossvogi. Þannig má minnka viðveru röntgenlæknis en veita þó óskerta útlestrarþjónustu.

Kostir þessa eru margir. Íbúar á landsbyggðinni munu njóta skjótrar úrlestrarþjónustu sérfræðinga í myndgreiningu svipað og íbúar þéttbýlisins búa við nú. Unnt er að leita fjarálits sérfræðinga á stærri sjúkrahúsum hvort senda skuli sjúkling til meðferðar. Með fjaráliti röntgenrannsóknar má koma í veg fyrir ónaúðsynlegan flutning og veita betri og skjóttari upplýsingar um meðferð. Dæmi um þetta eru einkum á sviði bæklunar- og slysalækninga og heila- og taugaskurðlækninga. Heila- og taugaskurðlæknir í Reykjavík getur skoðað tölvusneiðmyndarrannsókn sem framkvæmd er á Fjórðungssjúkrahúsinu á Akureyri nokkrum mínútum eftir að henni lýkur. Bæklunarskurðlæknir getur ákvarðað með hliðsjón af röntgenrannsókn hvort bráðliggi á flutningi sjúklings og þannig komið í veg fyrir tvísýnan eða ónaúðsynlegan flutning. Stafrænar myndgeymslur munu útrýma fermetrafrekum filmugeymslum, rannsóknir munu ekki týnast eða vera í útláni þegar þeirra er þörf, sömu rannsókna má skoða samtímis á mörgum stöðum og svo framvegis. Hætt verður að nota filmur og þar með hefðbundna framköllun með meðfylgjandi spilliefnum.

Ef nýta á þessa tækni til að bæta þjónustu við sjúklinga og draga úr kostnaði þarf að breyta núverandi skipulagi. Skynsamlegt er að sett verði upp öflugt og öruggt gagnaflutningsnet með opnum stöðlum sem læknar og aðrir heilbrigðisstarfsmenn geti nýtt til að bjóða þjónustu sína á landsvísu, þar á meðal í myndgreiningu. Unnið er að slíku neti, Íslenska heilbrigðisnetinu, um þessar mundir að undirlagi Heilbrigðis- og tryggingamálaráðuneytisins. Samhliða því er mikilvægt að reglur um gagnagrunna á heilbrigðissviði (aðra en miðlægan gagnagrunn) verði settar af yfirvöldum. Þannig myndi skapast sá möguleiki að bjóða út myndgagnageymslu. Annars er hætt við að hver myndgreiningaraðili standi að uppbyggingu slíkra stafrænna kerfa með sínum hætti, án tengimöguleika milli aðila.

Þakkir

Baldri Johnsen, Péttri H. Hannessyni og Smára Kristinssyni eru þakkaðar gagnlegar ábendingar.

Heimildir

1. Murphey MD, Quale JL, Martin NL, Bramble JM, Cook LT, Dwyer SJ III. Computed radiography in musculoskeletal imaging: state of the art. *AJR* 1992; 158: 19-27.
2. Murphey MD. Computed radiography in musculoskeletal imaging. *Semin Roentgenol* 1997; 32: 64-76.
3. Jónsson Á, Herrlin K, Jonsson K, Lundin B, Sanfridsson J, Petterson H. Radiation dose reduction in computed skeletal radiography: effect on image quality. *Acta Radiol* 1996; 37: 128-33.
4. Swee RG, Gray JE, Beabout JW, McLeod RA, Cooper KL, Bond JR, et al. Screen-film versus computed radiography imaging of the hand: a direct comparison. *AJR* 1997; 168: 539-42.
5. Jónsson Á, Borg A, Hannesson P, Herrlin K, Jonsson K, Sloth M, et al. Film-screen vs. digital radiography in rheumatoid arthritis of the hand: an ROC analysis. *Acta Radiol* 1994; 35: 311-8.
6. Jónsson Á, Hannesson P, Herrlin K, Jonsson K, Andersen R, Petterson H. Computed vs. film-screen magnification radiography of fingers in hyperparathyroidism: an ROC analysis. *Acta Radiol* 1995; 36: 290-4.
7. Lund PJ, Krupinski EA, Pereles S, Mockbee B. Comparison of conventional and computed radiography: assessment of image quality and reader performance in skeletal extremity trauma. *Acad Radiol* 1997; 4: 570-6.
8. Wilson AJ, Mann FA, Murphy, WA Jr, Monsees BS, Linn MR. Photostimulable phosphor digital radiography of the extremities: diagnostic accuracy compared with conventional radiography. *AJR* 1991; 157: 533-8.
9. Chotas HG, Dobbins JT III, Ravin CE. Principles of Digital Radiography with Large-Area, Electronically Readable Detectors: A Review of the Basics. *Radiology* 1999; 210: 595-9.
10. Piraino DW, Davros WJ, Lieber M, Richmond BJ, Schils JP, Recht MP, et al. Selenium-based digital radiography versus conventional film-screen radiography of the hands and feet: a subjective comparison. *AJR* 1999; 172: 177-84.
11. Doi K, MacMahon H, Katsuragawa S, Nishikawa RM, Jiang Y. Computer-aided diagnosis in radiology: potential and pitfalls. *Eur J Rad* 1999; 31: 97-109.
12. Warren Burhenne LJ, Wood SA, D'Orsi CJ, Feig SA, Kopans DB, O'Shaughnessy KF, et al. Potential contribution of computer-aided detection to the sensitivity of screening mammography. *Radiology* 2000; 215: 554-62.
13. Bick U, Lenzen H. PACS: the silent revolution. *Eur Radiol* 1999; 9: 1152-60.
14. Pálsson Þ, Brekkan Á. Fjarlækningar. *Upplýsingatækni og skipulagning. Læknablaðið* 1999; 85: 876-82.