

Intraorale digitale receptorers dynamikområde og evne til at fremstille et lavkontrastobjekt

Ann Wenzel, Iben Søbye, Marlene Andersen, Thea Erlendsson

Rapporten vurderer nogle fysiske egenskaber ved nye digitale intraorale receptorer i sammenligning med film. Receptorerne bestod af tre fosforplader, tre CCD-sensorer, to CMOS-sensorer og to film. Billedgengivelsen af et lavkontrastaluminiumsfantom med huller af varierende dybde og diameter blev vurderet ved forskellige rørsændinger og eksponeringstider. Artiklen giver et bud på en kvalitetstest af digitale receptorer med henblik på deres evne til at gengive små kontrastforskelle (hvilket kan sammenlignes med cariesdiagnostik). Kontrollen kan anvendes til alle typer intraorale digitale receptorer og er let at udføre.

Receptorer til optagelse af digitale intraorale røntgenbilleder findes i to principielt forskellige udgaver: fosforplader og sensorer. Fosforpladen har udseende og format som en konventionel film, mens sensorerne har et mindre aktivt strålefelt og er tykkere end film (1,2). Efter eksponering af fosforpladen dannes et latent billede i fosforlaget, som aflæses i en skanner, der er koblet til en computer, og vises på skærmen efter 8-25 sekunder alt efter skannertype. Modsat fosforpladen sendes det latente billede fra sensorerne direkte til computeren, hvorfor billedet vises på skærmen inden for få sekunder. Sensorerne kan inddeles i to hovedgrupper: CCD- (charge-coupled device) og CMOS- (complementary metal oxide semiconductors) sensorer. Sensorerne indeholder fotoelektriske celler, som genererer en strøm, der via en forstærker sendes til en analog-til-digital-omformer koblet til computeren (3). Der er nyligt udviklet en trådløs CMOS-sensor, hvor det latente billede overføres via radiobølger til en modtager, der er forbundet til computeren (4).

Det er tidligere vist, at der er forskelle i digitale receptorers spatialopløsning (pixelantal pr. måleenhed) (5-7) og i deres dynamikområde, dvs. hvor stor variation i eksponeringsfaktorer receptoren tillader, hvor der stadig dannes et billede (7-11). Disse faktorer har sammen med receptorens signal-til-støj-forhold (5,12,13), kontrastopløsning (antal mulige gråtoner, en pixel kan antage) og muligheden for efterbehandling af billedet i softwaren indflydelse på, hvilke detaljer der kan gengives i et digitalt billede. Fosforpladesystemer er tidligere vist at have bredere dynamikområde end CCD-sensorer (9-11), mens nogle sensorer har en højere spatialopløsning end fosforplader (6,7). Resultater fra nyere sensorer og fosforplader er dog endnu ikke rapporteret i litteraturen.

Sundhedsstyrelsen har udgivet bekendtgørelser, som skal sikre en optimal kvalitet af røntgenbilleder. Bekendtgørelserne er detaljerede med hensyn til kontrol af konventionelle røntgenanlæg og film, men mangelfulde med hensyn til kontrol af digitale receptorer (14). I juli 2006 er der udkommet et tillæg til kvalitetssikring af digitale røntgenoptagelser, hvor der benyttes fosforplader (15). Der er behov for en simpel kvalitetstest af intraorale digitale røntgenoptagelser med henblik på at vurdere deres evne til at gengive små kontrastforskelle.

Formålet med nærværende forsøg var at undersøge nye digitale receptorers dynamikområde og evne til at gengive små forskelle i et lavkontrastaluminiumsfantom.

Materiale og metode

Otte intraorale digitale receptorer: fem sensorer (tre CCD og to CMOS), tre typer fosforplader og to konventionelle

Tabel 1. Receptornavn, fabrikant, teknologi, software og spatialopløsning for digitale receptorer og film.

Receptor	Fabrikant/hjemmeside	Teknologi	Software	Spatialopløsning pixel per inch
Digora SR-1	Soredex, Tuusula, Finland	Stimulerbar fosforplade	Digora for Windows 2.5	397
Digora DT-1	Soredex, Tuusula, Finland	Stimulerbar fosforplade	Digora for Windows 2.5	397
Vista	Dürr Dental GmbH, Bietigheim-Bissingen, Tyskland	Stimulerbar fosforplade	DBSWIN 4.1	1011
CDR trådløs	Schick Technologies Inc., New York, USA.	CMOS	CDR for DICOM Windows 3.0.1	635
CDR-APS	Schick Technologies Inc., New York, USA.	CMOS	CDR for DICOM Windows 3.0.1	635
Dixi-2	Planmeca Oy, Helsinki, Finland	CCD	Dimaxis Pro 3.01	668
Dr. Suni Plus	Suni Medical Imaging Inc., San Jose, California, USA.	CCD	Prof. Suni Software	564
Sidexis	Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Tyskland	CCD	Sirona Sidexis XG	651
Insight	Eastman Kodak Company, Rochester, New York, USA.	film, F-speed	–	–
Xpress	Flow X-ray Corporation, New York, USA	film, F-speed	–	–

film som reference blev inkluderet i undersøgelsen (se Tabel 1). Fosforpladerne var nye og havde ikke været i brug før forsøget for at undgå, at der var skader i pladerne. Sensorerne var uden kendte defekter. Alle billeder blev optaget under anvendelse af deres egen software. For Digora fosforplade-systemet blev to typer plader anvendt: de hidtil solgte plader (type SR-1) og nye plader (type DT-1), som producenten påtænker at skifte til. Dixi-2 CCD-sensorbillederne blev vurderet med producentens traditionelle filter indeholdt i softwaren og uden dette filter.

Der blev anvendt et lavkontrastpladehulfantom (CD-Dent, Artinis Medical Systems B.V., Zetten, Holland) (Fig. 1). Fantomet er udformet som en rektangulær aluminiumsplade (30 x 40 mm, højde 3 mm Al + 1 mm plast) med 10 x 10 rækker af cylindriske huller med en diameter varierende fra 0,1 til 1,0 mm. Dybden varierer fra 0,04 til 0,7 mm. I hvert af de fire hjørner er der yderligere et hul på 1,0 mm i diameter. Hvis pladen vendes, således at de mindste, laveste huller vender nedad til venstre, vil hullerne øges i dybde i horisontal retning og i diameter i vertikal retning.

Røntgenoptagelser

Opstillingen før eksponering på hver receptor var standardiseret (Gendex 1000 dentalapparat, fokus-receptor-afstand 30 cm, 10 mA, rektangulær tubus, bløddelssimulation for enden af tubus i form af en 10 mm tyk plastklods). Receptoren blev

anbragt på et plant underlag, sensorerne fastgjort med voks, og justeret til vater. Hulfantomt blev lagt oven på alle receptorerne med de mindste huller nederst til venstre.

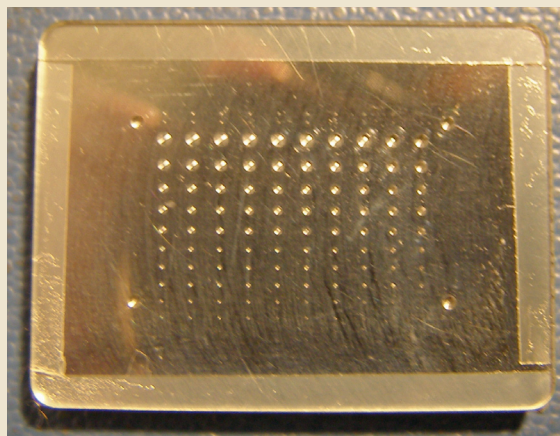


Fig. 1. Aluminiumsfantom med 10 x 10 huller, der fra nederste højre hjørne øger i dybde horisontalt og i diameter vertikalt.

Fig. 1. Aluminium block with 10 x 10 holes with increasing depth horizontally and increasing diameter vertically starting from the lower right corner.

Tabel 2. Spænding og eksponeringstid for optagelse af hulfantom med digitale receptorer og film.

Spænding (kV)	Eksponeringstider (sek.)			
60	0,18	0,26	0,34	0,50
65	0,18	0,26	0,34	0,50
70	0,18	0,26	0,34	0,50

Der blev udført to ens eksponeringsrækker for hver receptor for at tage højde for røntgenrørets variation. En eksponeringsrække bestod af tolv eksponeringer (tre spændinger (kV) ved fire eksponeringstider (sek.), se Tabel 2). Dette eksponeringsinterval blev valgt med film som reference, da begge filmtyper kunne fremstille anvendelige billeder af hulfantommet over hele intervallet. I alt blev der

optaget 24 billeder pr. receptor. Mellem hver eksponering gik der mindst 15 sekunder.

Billedanalyse

Fire observatører vurderede optagelserne af hulfantommet i forskellig rækkefølge. Vurdering blev foretaget i et mørkt rum (loftbelysning slukket) og i et program tilpasset formålet (PorDios for Windows, Erik Gottfredsen). Observatøren markerede med computermusen for hvert billede det nederste hul i hver kolonne, som hun fandt »erkendbart«. Dette program giver samtidig mulighed for manipulation/forstærkning af billedet med ændring af lys, kontrast og gammakurvefunktion. Hver observatør foretog to vurderinger af hvert billede; første vurdering uden brug af billedmanipulation og anden vurdering, hvor billedet frit kunne manipuleres.

De digitale billeder blev vurderet på en Philips 19" fladskærm (Philips 190S). De konventionelle film blev vurde-

Tabel 3. Gennemsnitligt antal huller for alle eksponeringer vurderet med 11 receptorer med og uden anvendelse af billedmanipulation. Der var signifikant forskel mellem receptorerne markeret med forskellige bogstaver (A bedre end C, D, E; B bedre end C, D, E; etc. Forskellene mellem receptorerne er testet for de ikke-manipulerede og de manipulerede billeder separat og ikke mellem disse.

Receptor	Digora SR-1	Digora DT-1	Dixi-2 med filter	Vista	Xpress film	Insight film	Dixi-2 uden filter	Sicexis	CDR trådløs	CDR-APS	Dr. Suni Plus
N huller (÷ manipulation)	50 ^A	53 ^A	52 ^A	44 ^B	42 ^B	39 ^B	38 ^B	40 ^B	29 ^C	24 ^D	12 ^E
N huller (+ manipulation)	51 ^A	55 ^A	52 ^A	47 ^B	–	–	49 ^A	40 ^B	32 ^C	26 ^C	12 ^D

Tabel 4. Antal eksponeringer (af 12 mulige), ved hvilke der kunne dannes et billede. Gennemsnitligt antal huller vurderet ved den optimale spænding og eksponeringstid med 11 receptorer (med anvendelse af billedmanipulation for de digitale receptorer).

Receptor	Digora SR-1	Digora DT-1	Dixi-2 med filter	Vista	Xpress film	Insight film	Dixi-2 uden filter	Sicexis	CDR trådløs	CDR-APS	Dr. Suni Plus
Antal eksponeringer med billeddannelse	12	12	11	12	12	12	11	9	8	6	4
Antal huller ved optimal eksponering	54	58	59	49	43	39	56	58	52	39	25
Optimal spænding (kV)	70	70	65	70	65	65	65	65	65	60	60
Optimal eksponeringstid (sek.)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,26	0,26	0,34	0,26

ret i et mørkt rum på en lyskasse med en betragterkikkert med to gange forstørrelse.

Databehandling

For hvert billedpar (fra de to ens eksponeringsrækker) blev antallet af erkendbare huller for hver observatør summeret, delt med to og rundet op til nærmeste hele tal. I de statistiske analyser blev dette gennemsnit anvendt som resultatet for det enkelte billede optaget ved hver spændings- + eksponeringstidskombination.

Der blev foretaget tovejs variansanalyse mellem receptorer og observatører. Der blev udført post hoc t-test mellem antallet af observerede huller med hver af receptorerne. Da der indgik mange receptorer, defineredes en statistisk signifikant forskel til at være $P < 0,01$.

Resultater

Efter eksponering med røntgenstråling på en receptor fremstod hullerne med varierende sværtning/optisk densitet. Det gennemsnitlige antal huller registreret med de 11 systemer, når alle eksponeringsparametre er inkluderet, er vist i Tabel 3. For overskuelighedens skyld er systemerne organiseret i grupper, mellem hvilke der var en statistisk signifikant forskel. Tabeller viser ligeledes forskellen mellem de manipulerede og de ikke-manipulerede digitale billeder. For de ikke-manipulerede billeder var der forskel mellem grupperne A-E. Der var ikke signifikant forskel mellem de to konventionelle film. Det gav nogen yderligere information at manipulere billederne; dette var dog kun mærkbart for billederne fra Dixi-2-sensoren (uden filter), idet der for de andre var tale om en ubetydelig gevinst (Tabel 3).

I Tabel 4 ses den enkelte receptors dynamikområde defineret ved, hvor mange af de 12 eksponeringer der fremstillede et billede af hulfantomt, hvor antallet af huller kunne vurderes. Alle billederne optaget med film og fosforplader kunne anvendes diagnostisk defineret ved, at der fremkom et billede, og et vist antal huller kunne observeres på alle optagelser, hvilket ikke var tilfældet for sensorerne. Film og fosforplader havde således det bredeste dynamikområde. Film havde sit optimale område ved 65 kV og 0,5 sek. Fosforpladerne havde deres optimale område ved højeste kV (70) og eksponeringstid (0,5). CCD- og CMOS-sensorerne havde varierende dynamikområder. Dixi-2 med og uden filter kunne fremstille et billede ved alle eksponeringer undtagen med den kraftigste stråling (70 kV og 0,5 sek.), hvor sensoren blev overeksponeret således, at der ikke fremkom noget billede. De øvrige receptorer havde en noget snævrere dynamik: Sidexis CCD kunne fremstille billeder ved ni af eksponeringerne, CDR-APS ved seks, CDR trådløs ved otte,

og det snævre dynamikområde havde Dr. Suni Plus-sensoren, der kun fremstillede et billede ved fire af de 12 mulige eksponeringsindstillinger (Tabel 4).

I Tabel 4 ses desuden det gennemsnitlige (mellem de fire observatører) antal huller gengivet ved en enkelt eksponering ved den for den enkelte receptor mest optimale eksponeringsparameter. Det ses på trods af forskelle i spatioopløsning mellem receptorerne (se Tabel 1), at de fleste var nogenlunde lige gode ved deres bedste eksponeringsparameter. Dr. Suni Plus var dog signifikant dårligere end alle andre receptorer ved sin bedste eksponering. For de resterende receptorer var der kun signifikante forskelle mellem Insight/CDR-APS og de resterende. En grafisk fremstilling af dette kan ses i Fig. 2.

Der var forskel i det observerede antal huller mellem observatørerne, men forskellen var konsistent mellem systemerne og kan synliggøres som en næsten parallelforskudt linje (Fig. 3).

Diskussion

I denne undersøgelse anvendtes en aluminiumsplade med huller af varierende dybde og diameter til at vurdere, hvor små kontrastforskelle der kunne erkendes på en røntgenoptagelse foretaget med forskellige receptorer. Hovedparten af tidligere undersøgelser af kontrastforholdene for digitale receptorer har ligeledes anvendt hulfantomter af aluminium til dette formål (5,7-9,12,13). Den inter-observatør-

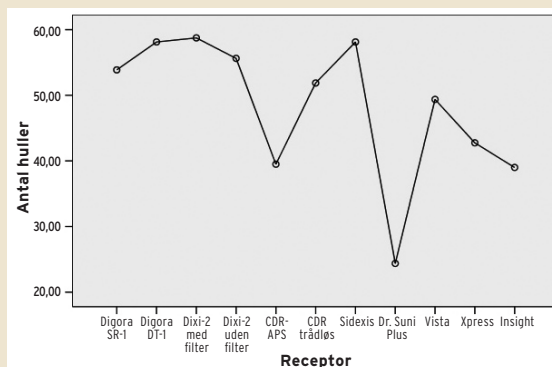


Fig. 2. Grafisk fremstilling af det gennemsnitlige (mellem observatører) antal huller, der kunne erkendes med de 11 røntgensystemer ved deres optimale eksponeringsparametre.

Fig. 2 Graphic illustration of the average (between observers) number of holes perceived on images with 11 radiographic systems at their optimal exposure settings.

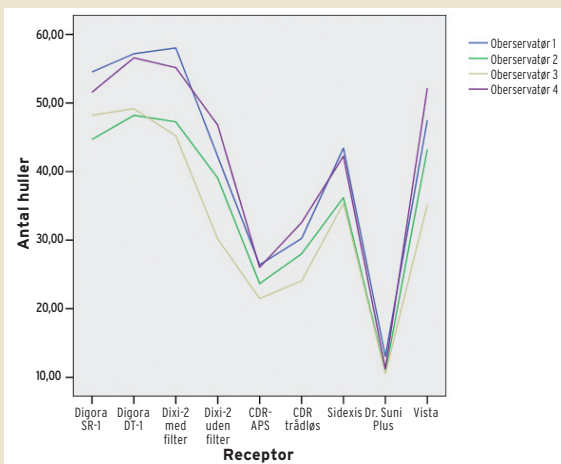


Fig. 3 Grafisk fremstilling af det gennemsnitlige (mellem alle eksponeringsparametre) antal huller, der kunne erkendes med de 11 røntgensystemer af de fire observatører.

Fig. 3. Graphic illustration of the average (between all exposure settings) number of holes perceived on images with 11 radiographic systems by the four observers.

forskel, der sås i undersøgelsen, skyldes observatørernes forskellige subjektive vurdering af, hvornår et hul kunne erkendes. Observatørerne vidste naturligvis inden undersøgelsen, at hulfantomet indeholdt 10x10 huller. Testen kræver derfor, at observatøren har gjort sig bevidst om, hvornår en radiolucens i billedet skal betragtes som et hul eller som støj. Denne bias kunne elimineres ved at bruge et fantom, hvor hullerne var »mobile«, altså boret i blokke, der kunne flyttes rundt som i et puslespil (16). Den store inter-observatørforskel er imidlertid ikke et udtryk for en forskellig bedømmelse af receptorerne indbyrdes formåen. Dette ses ud fra parallelforskydningen af observatørernes bedømmelse af billederne fra den enkelte receptor. Inter-observatørforskellen havde således ikke betydning for forskellen mellem de undersøgte systemer.

Undersøgelsen viste, at fosforplader og film havde et bredere dynamikområde end samtlige sensorer, da de kunne danne et registrérbart billede ved alle 12 eksponeringsparametre. Dette er ligeledes rapporteret i undersøgelser af tidligere versioner af fosforpladesystemer (9-11). Dixi-2-sensoren havde et bredere dynamikområde end de andre sensorer, idet der kunne fremstilles et billede ved alle eksponeringsparametre undtagen ved den stærkeste bestråling. De andre sensorer »brændte ud« ved stærk bestråling, og der blev ikke dannet noget billede. Dr. Suni

Plus-sensoren havde det smalleste dynamikområde. Det faktum, at sensorer ved høj eksponering har tendens til »bloomning« (et kraftigt »burn-out«-fænomen) (9) eller brænder helt ud og slet ikke danner noget billede, er en tydelig indikator for tandlægen af, at der er blevet overeksponeret, mens fosforplader kan tåle (og endda give et bedre og mere »mættet« billede) stærk bestråling, uden at der signaleres en tærskel for, hvornår billedet er overeksponeret. Hvis tandlægen ikke er opmærksom på dette fænomen, kan det resultere i, at patienterne får en unødvendig høj dosis ved brug af fosforplader (11). Til gengæld må tandlægen være meget påpasselig med at tilpasse eksponeringstiden til regionen og patienten, når der anvendes visse sensorer, da en overeksponering vil medføre, at der ikke dannes noget billede, mens patienten dog har modtaget bestrålingen.

De fleste dentalrøntgenapparater i tandlægepraksis arbejder med ikke-justérbar spænding – normalt 60, 65 eller 70 kV – hvorfor det kan være en relevant information inden indkøb af en digital receptor, ved hvilken spænding denne har sin bedste ydeevne. Baggrunden for valget af de spændinger og eksponeringstider, som blev brugt i dette forsøg, var, at filmen, der anvendtes som reference, viste en klinisk brugbarhed ved disse eksponeringer og havde sin optimale præstation ved en midterværdi i dette eksponeringsspektrum. I dentalrøntgenanlæg med fast rørspænding er spændingen normalt ikke over 70 kV, da denne faktor influerer på prisen; samtidig mindskes kontrasten i billedet med stigende spænding. En ny undersøgelse har dog demonstreret, at artificielle knoglelæsioner observeredes lige godt på film og fosforplader og ved 60 og 90 kV (17).

Det ses indirekte af denne undersøgelse, at alle sensorerne var mere strålefølsomme end fosforpladesystemerne, mens de fire sensorer med det snævraste dynamikområde også var mere strålefølsomme end film. Sensorerne opnåede således den bedste billedkvalitet ved lav rørspænding og eksponeringstid, mens fosforpladerne opnåede den bedste billedkvalitet ved den højeste spænding og eksponeringstid. De to filmtyper var ikke signifikant forskellige, og de tre fosforpladetyper var heller ikke forskellige. Man kunne, for at vurdere sensorernes nedre grænse for at fremstille et registrérbart billede, have øget eksponeringsrækken og inddraget 50 kV-eksponeringer eller kortere eksponeringstider. Imidlertid var den optimale eksponeringsparameter for ingen af sensorernes vedkommende den laveste i det mulige spektrum af eksponeringer, hvilket indikerer, at sensorernes optimale eksponeringsparameter var indeholdt. Man kunne ligeledes have øget eksponeringsrækken med endnu højere dosis til fosforplade-

systemerne for at vurdere, om højere dosis yderligere ville øge det diagnostiske udbytte, men dette syntes ikke rimeligt ud fra en strålehygiejnisk betragtning om, at forsøgets resultater skulle kunne overføres til en klinisk situation.

Ved den enkeltes optimale eksponeringsparameter kunne der observeres nogenlunde det samme antal huller på de fleste receptorer. Dog registreredes signifikant færre huller på Insight-filmen og med CDR-APS-sensoren og allerfærrest med Dr. Suni Plus-sensoren. Trods det faktum, at film har en langt bedre spatialopløsning end fosforplader (7), var det muligt at registrere flere huller på fosforpladerne. Dette kan muligvis forklares ved, at betragtningsforholdene er bedre på en 19"-skærm, end når en 3x4 cm-film skal ses på en lyskasse. Det gav kun en lille gevinst at manipulere billederne, som det også tidligere er vist i denne type forsøg (10); en ældre undersøgelse af en nu udgået sensor viste dog, at billedmanipulation kunne øge det diagnostiske udbytte (16).

Digora SR-1- og DT-1-pladen var ikke signifikant forskellige. Den traditionelle fosforplade til Digoras Optime-skanner (SR-1-pladen) påtænkes udskiftet med den nye DT-1-plade, som efter producentens udsagn skulle være mere resistent over for ridser og andre slidskader. Et separat forsøg vil undersøge denne påstand og senere blive publiceret i Tandlægebladet. Skader i fosforlaget i pladerne er et velkendt fænomen og medfører, at tandlægen bør udskifte pladerne ofte (18). Mere slidstærke plader vil derfor være en velkommen fornyelse på tandklinikken.

Dixi-2-sensorens software indeholder et filter, der ikke kan vælges fra af brugeren. Når billedet ses på skærmen, er det herved allerede manipuleret uden observatørens mulighed for indblanding. I denne undersøgelse indgik muligheden for med producentens godkendelse at fjerne filteret. Billederne med det automatiske filter havde dog bedre kontrastforhold end dem uden filter, og filteret kan derfor siges at have en gavnlig effekt på fremstillingen af små forskelle i et lavkontrastobjekt. Andre CCD-sensorer har tilsvarende et filter indbygget i deres software, som billederne dannet med både Sidexis og Dr. Suni Plus-sensoren antyder.

Sundhedsstyrelsen anbefaler som standard at anvende et trappfantom til kvalitetskontrol af densiteten i røntgenbilleder. Trappfantomet er i modsætning til hulfantomet ikke et lavkontrastfantom. Ved anskaffelse af et fantom med huller af varierende dybde og diameter kan man udføre en kvalitetstest med henblik på at vurdere små kontrastforskelle i optagelser foretaget med en digital receptor. En vigtig faktor i forbindelse med vurderingen af et digitalt billedes kvalitet er opløsningen samt lys- og kontrastforhold i computerskærmen (19). Det er vist i en nylig un-

dersøgelse, at mange svenske tandlæger, som arbejdede med digital røntgen, betragtede billederne på en skærm, der havde dårlig opløsning, og hvor lys og kontrast ikke var optimalt indstillet (20), og disse forhold blev dokumenteret at være af stor vigtighed for rigtigheden af cariesdiagnostik (21). En anden vigtig faktor i forbindelse med vurderingen af et digitalt billede er lysforholdene i det rum, hvor man betragter billedet. Rumbelysningen bør være svag, formentlig ikke højere end 50 lux under betragtningsforholdene af digitale røntgenbilleder for at få det bedste diagnostiske udbytte (21). Disse forhold bør respekteres også under udførelsen af en kvalitetskontrol. Anvendes et hulfantom som det beskrevne i en kvalitetskontrol på tandklinikken, bør man være opmærksom på, at den samme observatør bør vurdere antallet af erkendbare huller. For at sikre sig, at vedkommende er konsekvent over tid, bør observatøren starte med at genvurdere tidligere gemte billeder fra den samme receptor.

Konklusion

Forsøget med forskellige intraorale receptorers dynamikområde til at fremstille et lavkontrastobjekt viste, at film, fosforplader og Dixi-2-sensoren havde det bredeste dynamikområde. Sidexis, og de to CMOS-sensorer (CDR-APS og CDR trådløs) havde smallere dynamikområde og Dr. Suni Plus-sensoren havde det smalleste dynamikområde. Fosforpladerne ydede deres bedste ved en høj eksponering (70 kV), mens de fleste af sensorerne ydede deres bedste ved 65 kV, og nogle endda ved 60 kV. Sensorerne var derfor mere strålefølsomme end film og fosforplader. Dr. Suni Plus-sensoren havde den ringeste evne til at fremstille hullerne i lavkontrastfantomet, selv ved sin optimale eksponeringsparameter, hvor de andre receptorer var mere ens. Manipulation af billederne gav for de fleste af de digitale receptorer kun en ringe gevinst.

English summary

Dynamic range and perceptibility of contrast in intra-oral digital receptors.

This paper describes an experiment to assess the comparative quality of images created using a variety of intra-oral digital receptors.

Eight intra-oral digital receptors were used, with two films for reference (Table 1). In relation to the digital receptors, for the Digora storage phosphor system (PSP), two types of plates were included (SR-1 and a new version, DT-1). For Dixi-2 CCD-sensor images, a version was included which did not contain the automatic filter in the software. An Aluminium plate (30 x 40 mm) with 10 x 10 rows of cy-

lindrical holes, (diameter range from 0.1 to 1.0 mm, depth from 0.04 to 0.7 mm), was used as the low-contrast object. Exposures were performed at 12 settings (3 kV x 4 exp. sec, Table 2). Four observers assessed the images, in a different order, on a 19" monitor, by recording the smallest hole that was perceptible in each row. Two sessions were performed, one with and one without image manipulation. A two-way-analysis of variance between receptors and observers was conducted. Post hoc t-tests between the number of observed holes with each receptor were conducted. The average number of holes perceived in images from the 11 modalities, when all exposure settings were included, is shown in Table 3. For non-manipulated images significant differences existed between groups A-E (Table 3). No significant difference existed between the two films. For most digital systems, little benefit was gained from image manipulation. Table 4 shows the dynamic range for each receptor, defined as how many of the 12 settings provided an assessable image. Film and PSP plates possessed the largest dynamic range (the optimal setting for film was 65 kV and 0.5 sec, and for PSPs was 70 kV and 0.5 sec.). CCD and CMOS sensors varied in dynamic range, Dixi-2 provided an image at all exposure settings but one, while Sidexis CCD was able to display nine images, CDR-APS six images, CDR wireless eight images, and Dr. Suni Plus only four images (Table 4). At their optimal setting (Fig. 2), there were only small differences in the receptors' performances except for Dr. Suni Plus, which still had a significantly lower performance than the others. There was a difference between the number of holes perceived by each observer, but the difference was consistent among the receptors (Fig. 3), so that the rank order of results was consistent across all the observers.

Litteratur

1. Wenzel A. Direkte digital røntgenteknik på tandklinikken. *Tandlægebladet* 2000; 4: 184-96.
2. Wenzel A, Gotfredsen E. Røntgenundersøgelse med digitale systemer. *Tandlægebladet* 2004; 12: 1024-30.
3. Sanderink G, Miles D. Intraoral detectors: CCD, CMOS, TFT, and other devices. *Dent Clin North Am.* 2000; 249-55.
4. Tsuchida R, Araki K, Endo A, Funahashi I, Okano T. Physical properties and ease of operation of a wireless intraoral x-ray sensor. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 100: 603-8.
5. Attaelmanan AG, Borg E, Gröndahl HG. Assessments of the physical performance of 2 generations of 2 direct digital intraoral sensors. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1999; 88: 517-23.
6. Farman AG, Farman TT. RVG-ui: a sensor to rival direct-exposure intra-oral x-ray film. *Int J Comput Dent* 1999; 2: 183-96.
7. Farman TT, Farman AG. A comparison of 18 different x-ray de-

tectors currently used in dentistry. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 99: 485-9.

8. Wakoh M, Farman AG, Scarfe WC, Kelly MS, Kuroyanagi K. Perceptibility of defects in an aluminium test object: a comparison of the RVG-S and first generation VIXA systems with and without added niobium filtration. *Dentomaxillofac Radiol* 1995; 24: 211-4.
9. Borg E, Gröndahl HG. On the dynamic range of different X-ray photon detectors in intra-oral radiography. A comparison of image quality in film, charge-coupled device and storage phosphor systems. *Dentomaxillofac Radiol* 1996; 25: 82-8.
10. Borg E, Attaelmanan AG, Gröndahl HG. Subjective image quality of solid-state and photostimulable phosphor systems for digital intra-oral radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2000; 29: 70-5.
11. Berkhout WER, Beuger DA, Sanderink GCH, van der Stelt PF. The dynamic range of digital radiographic systems: dose reduction or risk of overexposure? *Dentomaxillofac Radiol* 2000; 33: 1-5.
12. Attaelmanan AG, Borg E, Gröndahl HG. Signal-to-noise ratios of 6 intraoral digital sensors. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001; 91: 611-5.
13. Borg E, Attaelmanan AG, Gröndahl HG. Image plate systems differ in physical performance. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000; 89: 118-24.
14. Bekendtgørelse nr. 209 af 6. april 1999. Bekendtgørelse om dentalrøntgenanlæg til intraorale optagelser med spændinger til og med 70 kV. Sundhedsstyrelsen, 1999.
15. Modtage- og konstanskontrol af digitale dentalrøntgenanlæg (maks. 70 kV), hvor der benyttes CR-billedplader. Sundhedsstyrelsen, 2006.
16. Gobulow NA, Farman AG, von Fraunhofer JA, Kelly MS. Direct digital radiography for the detection of defects in a standard aluminium test object through composite resin restorative materials. *Dentomaxillofac Radiol* 1994; 23: 91-6.
17. Kaeppler G, Dietz K, Reinert S. Influence of tube potential setting and dose on the visibility of lesions in intraoral radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 2007; 36: 75-9.
18. Molander B, Gröndahl H-G. Durability of storage phosphor plates. Abstract 44. The 16th International Congress of Dentomaxillofacial Radiology, Beijing, China, 2007.
19. Hellén-Halme K. Quality aspects of digital radiography in general dental practice. *Swed Dent J Suppl* 2007; 184: 9-60.
20. Hellén-Halme K, Nilsson M, Petersson A. Digital radiography in general dental practice: a field study. *Dentomaxillofac Radiol* 2007; 36: 249-55.
21. Hellén-Halme K, Petersson A, Nilsson M. Effect of ambient light and monitor brightness and contrast settings on the detection of approximal caries in digital radiographs. An in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol* 2007; i trykning.

Forfattere

Ann Wenzel, professor, lic. et dr.odont.

Afdeling for Oral Radiologi, Odontologisk Institut, Aarhus Universitet

Iben Søbye, cand.odont., Marlene Andersen, cand.odont., Thea Erlandsen, cand.odont.