

# Panoramska radiologija s pomoću CCD: čimbenici izobličenja slike uz konture njenog odabranog sloja

T. T. Farman,  
A. G. Farman  
M. S. Kelly  
F. J. Firriolo  
J. M. Yancey  
A. V. Stewart

School of Dentistry  
The University of Louisville  
Louisville, Kentucky, USA

## Sažetak

**Svrha:** Svrha ove studije bila je odrediti svojstva čimbenika izobličenja kontura razlučivanja odabranog sloja slike ortopantomografa OP 100® (Instrumentarium Imaging, Tuusula, Finland) kombiniranog sa senzorom vrste CCD (charge-coupled device) tipa (Trophy Radiologie, Vincennes, France).

**Materijal i metode:** Upotrebom mreže kojom se određuje razlučivanje postavljene u razmacima uzduž iskustveno ustanovljenih putanja projekcijskog snopa, konture sloja slike proizvedene ortopantomografom OP 100® modificiranim s osjetilom DigiPan® prethodno su određene za granice razlučivanja od 4,0, 3,0 i 1,5 lp mm<sup>-1</sup>. Za određivanje čimbenika povećanja uz odabrane granice razlučivanja i vodoravne angulacije snopa bila je upotrebljena jedna šestokutna ispitna naprava, uz uporabu mjernog algoritma koji pripada vlastitom soft-wareu (programskoj podršci) osjetila DigiPan®. Zatim su upotrebljena vodoravna i okomita povećanja kako bi se odredili čimbenici izobličenja za svaku konturu razlučivanja uzduž odabrane angulacije snopa.

**Rezultati:** Uz konture razlučivanja sloja slike od 4 lp mm<sup>-1</sup> svi čimbenici izobličenja površine bili su približno jedinica. U području omeđenom tim konturama razlučivanja mjerni je algoritam kompenzirao učinke izobličenja svojstvene povećanju, uzrokovanom geometrijom snopa X-zraka. Uz 1,5 lp mm<sup>-1</sup> čimbenici izobličenja površine kretali su se od 1,16 do 1,19 facijalno i 1,14 do 1,22 lingvalno u odnosu prema konturi sloja slike najvećeg razlučivanja. Kontura sloja slike s najvećim prostornim razlučivanjem bila je postavljena lingvalno u odnosu spram geometrijskome središtu žarišta.

**Zaključak:** Upotrebom osjetila DigiPan® i uređaja OP 100® ustanovljene vrijednosti izobličenja odgovaraju vrijednostima već ustanovljenim s pomoću konvencionalnih receptora vrste film/zaslon. U području najvećeg razlučivanja mjerni algoritam programa djelotvorno je kompenzirao izobličenje povećanja projekcionog snopa.

**Ključne riječi:** digitalna obrada slike, čimbenik izobličenja, mjerni algoritam, panoramska radiologija

Acta Stomatol Croat  
1998; 13—17

IZVORNI ZNANSTVENI  
RAD  
Primljeno: 15. rujna 1997.

Adresa za dopisivanje:

Dr. Taeko T. Farman  
Division of Radiology and  
Imaging Sciences  
School of Dentistry  
The University of Louisville  
Louisville, Kentucky 40292,  
USA

Tijekom posljednjih 12 godina konstruirano je više sustava digitalne panoramske radiografije (Tablica 1) (1-16). Ti sustavi temeljeni su na tehnologiji fosfora koji zadržava sliku, ili na optičkom pretvorniku slike u naboj (CCD).

Fosfore za zadržavanje slike prvi su za panoramsku dentalnu radiografiju upotrijebile Kashima i suautori s Kanangawa Dental College, Japan (1-5). Primjenom fosfora za zadržavanje slike metoda je vrlo slična konvencionalnoj panoramskoj radiografiji upotrebom filmova osjetljivih na X-zrake, tj. iskorišten je pokretni dvodimenzionalni detektor (10). Film je samo zamijenjen pločicom navedenog fosfora.

Uporabom uskoga dvodimenzionalnog detektora, kakav je modifikacija CCD matrice osjetila DigiPan® (Trophy Radiologie, Vincennes, France) za instrumentarijski ortopantomograf OP 100® (Instrumentarium Imaging, Tuusula, Finland), također se može postići digitalna panoramska radiografija. U takvim sustavima CCD detektor upotrebljen je za oponašanje konvencionalnog prikupljanja slike temeljnom na filmu, upravljanjem kretanja nositelja naboja (10).

Uvodni pregled sustava DigiPan®, uključujući opis razlučivanja kontura sloja slike, bio je posvuda objavljen i dostupan (17). Svrha studije bio je procijeniti modifikaciju sustava DigiPan® u izrazima čimbenika izobličenja površine uz izabrane konture sloja slike od 4,0, 3,0 i 1,5 lp mm<sup>-1</sup>, lingvalno i facijalno u odnosu prema konturi sloja slike s najvećim prostorima razlučivanjem.

## Materijal i metode

1. *Generator i detektori X-zraka:* Ortopantomograf OP 100® (Instrumentarium Imaging, Tuusula, Finland) je visokofrekventni dentalni panoramski stroj s X-zrakama, upravljen računalskim programom, s prilagodljivom strujom (2-10 mA±1mA) i prilagodljivom razlikom potencijala (57-85±5 kVcp) s vremenom eksponiranja od 17,6±0,05 s za standardne sekvence panoramskog slikanja. Ukupno filtriranje ekvivalentno je 2,5 mm Al. Cijev za X-zrake ima nazivnu veličinu fokusne točke od 0,5 mm<sup>2</sup>. Za slike temeljene na filmu upotrebljava se vremenski odsječak za fotografiranje. To nije primjenjivo na

modifikaciju DigiPan®; no moguće su tri razine kompenzacije sjene hrpta, a "ekvalizacijski" algoritam kompenzira promjenljivost slabljenja koprene.

Modifikacija DigiPan® zamjenjuje standardnu kasetu s filmom za uređaj ortopantomograf OP 100® (Slika 1). Matricu CCD čine 1244 x 63 svjetlosnih djelića (pixel) dimenzija 104 ηm x 104 ηm i osjetljive površine 129,4 x 66 mm. Nekomprimirana matrica slike je 2550 x 1244 na površini od 265 mm x 129 mm. Scintilator je odijeljen od CCD optičkim vlaknima stalnoga presjeka. Zasad nisu na raspolaganju informacije u svezi s tipom scintilatora i njegovim vremenom utruća (decay time), jer proizvođač to smatra poslovnom tajnom. Prikuplja se 10 bita podataka, ali se prema samokompenzirana slika s 8 bita, vrste TIFF. Datoteka za sliku ima veličinu od 3 Mbyte (3,031,616 byte) bez kompresije podataka, ili 220 kbyte uz kompresiju tipa Joint Photographers Expert Group (JPEG). Slika se prikazuje neposredno nakon prikupljanja i stalno je na ekranu tijekom eksponiranja. Rezydentni software omogućuje četverostruko "zoom" povećanje. Udaljenosti na slici mogu se mjeriti u aditivnim segmentima koji dopuštaju mjerenje uzduž ravnih ili zakrivljenih linija.

2. *Razlučivanje i konture sloja slike:* Metode i rezultati za određivanje kontura sloja slike za DigiPan® objavljeni su potanko i široko dostupno (17). Da bi se određivao sloj slike izrađene su digitalne slike s mrežom vodiljom za razlučivanje tipa Kyokko No. X-ray Grid (Kasei Optonix Co., Tokyo, Japan) postavljene na dijelove milimetara uzduž odabrane, iskustvom određene angulacije projekcije snopa. Upotrebljena metoda bila je slična onoj koju su opisali Paibon i Manson-Hing (1985.) te Martinez-Cruz i Manson-Hing (1987.) (18,19).

3. *Povećanje:* Kao ispitni objekt za određivanje okomitog i vodoravnog povećanja uzduž svake konturne linije snimanoga sloja slike bila je upotrebljena šesterostrukna matica (7,82 mm okomito x 8,88 mm vodoravno). Prvi autor izvršio je mjerenja uz rezultate s dva decimalna mjesta, koristeći se mjernim algoritmom rezidentnog softwarea. Sva očitavanja izvršena su 20 puta, zatim su uprosječena i određeno je standardno odstupanje za svaki od slučajeva. Nakon toga određeni su čimbenici vodoravnih i okomitih dimenzija za svaku već prije odbranu konturu razlučivanja.

4. *Izobličenje*: Usporedba povećanja između okomitih i vodoravnih osi načinjena je metodom Sämfors i Welander upotrebom odnosa vodoravnih i okomitih povećanja (20). Taj odnos bio je upotrebljen kao indeks izobličenja površine slike.

## Rezultati

### 1. Povećanje slike

(a) *Vodoravno*: Slika 2 grafički prikazuje vodoravna povećanja koja vrijede za konture razlučivanja sloja slike 1,5 lp mm<sup>-1</sup>, 3,0 lp mm<sup>-1</sup> i 4,0 lp mm<sup>-1</sup> u okolini točke fokusa. Uz granice razlučivanja od 1,5 lp mm<sup>-1</sup> izračunata vodoravna povećanja bila su:

- -19 % facijalno i +23% lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u prednjoj središnjici (vodoravna angulacija 0°),
- -19 % facijalno i +28 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u bočnoj regiji sjekutića (vodoravna angulacija 24°),
- -19 % facijalno i +29 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u regiji očnjaka (vodoravna angulacija 37°),
- -19 % facijalno i +33,1 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u prvoj regiji kutnjaka (vodoravna angulacija 47°),
- -20 % facijalno i +24% lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u drugoj regiji prije kutnjaka (vodoravna angulacija 56°),
- -21 % facijalno i +24 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u prvoj regiji kutnjaka (vodoravna angulacija 66°),
- -21 % facijalno i +23 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u drugoj regiji kutnjaka (vodoravna angulacija 76°),
- -20 % facijalno i + 29 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u trećoj regiji kutnjaka (horizontalna angulacija 83°),
- -19 % facijalno i + 27 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u temporomandibularnoj regiji (vodoravna antulacija 90°).

Kod 4 lp mm<sup>-1</sup> vodoravno povećanje središnjice bilo je:

- -0,3 % facijalno i +1,1 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja,

- -0,7 % facijalno i +0,56 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u bočnoj regiji sjekutića (vodoravna angulacija 24°),
- 0 % facijalno i + 4 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u regiji očnjaka (vodoravna angulacija 37°),
- 0 % facijalno i +0,6 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u prvoj regiji prije kutnjaka (vodoravna angulacija 47°),
- -0,9 % facijalno i +5 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u drugoj regiji prije kutnjaka (vodoravna angulacija 56°),
- 0 % facijalno i + 0,8 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u prvoj regiji kutnjaka (vodoravna angulacija 66°),
- 0 % facijalno i + 5 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u drugoj regiji kutnjaka (vodoravna angulacija 76°),
- -0,9 % facijalno i + 4 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u trećoj regiji kutnjaka (vodoravna angulacija 83°),
- -0,7 % facijalno i + 3,4 % lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja u temporomandibularnoj regiji (vodoravna angulacija 96°).

(b) *Okomito*: Za svaku od studiranih kontura razlučivanja i angulacije snopa ustanovljeno okomito povećanje bilo je konzistentno maleno u usporedbi s iznosima vodoravnih povećanja. Najveća okomita povećanja bila su pronađena uz 1,5 lp mm<sup>-1</sup> lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećega razlučivanja u temporomandibularnoj regiji spoja (9%) i u regiji ispred kutnjaka (8%). Na Slici 3 prikazane su srednje vrijednosti rezultata mjerenja povećanja za studirane konture sloja slike uz odabrane angulacije vodoravnih projekcija snopa.

2. *Izobličenje*: U Tablici 2 navedeni su čimbenici izobličenja uz odabrane angulacije projekcije snopa. Isto je na Slici 4 prikazano grafički. Čimbenici izobličenja bili su:

- kod 4 lp mm<sup>-1</sup>, za središnjicu: 0,99 - 1,00 facijalno i 0,98 - 1,02 lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja,
- kod 3 lp mm<sup>-1</sup>, za središnjicu; 1,02 -1,08 facijalno i 1,00 - 1,12 lingvalno u odnosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja,

- kod 1,5 lp mm<sup>-1</sup>, za središnjicu; 1,16 - 1,19 fokalno i 1,14 - 1,22 lingvalno u donosu prema sloju slike najvećeg razlučivanja.

Čimbenici izobličenja kod 4 lp mm<sup>-1</sup> bili su približno jedinice (tj. bilo je očito malo izobličenje).

### Rasprava

Sustavi intraoralne radiografije temeljeni na tehnologiji CCD bili su kritizirani da im je prostorno razlučivanje lošije od razlučivanja postignutog filmom (21-22). Prostorno razlučivanje panoramske radiografije temeljene na upotrebi filma ne premašuje 5 lp mm<sup>-1</sup> i kontura prihvatljiva područja neoštine obično se bira kao približno 1,5 lp mm<sup>-1</sup> (19). Na prostorno razlučivanje za panoramsku radiografiju ne postavljaju se tako visoki zahtjevi kao za intraoralnu radiografiju, gdje prostorno razlučivanje uz upotrebu neposredno eksponiranih emulzijskih filmova može postići vrijednost od 16 lp mm<sup>-1</sup> (23).

Sloj slike s najvišim razlučivanjem može se DigiPan® procijeniti interpoliranim od lokacija kontura slike s 4 lp mm<sup>-1</sup> u odnosu prema konturi slike s 1,5 lp mm<sup>-1</sup>. Obratite pozornost na to da čimbenik izobličenja uzduž linije interpoliranja (Slika 5) teoretski ostaje jednak jedinici. Primjenom DigiPan® softwarea objekti smješteni unutar kontura slike s 4 lp mm<sup>-1</sup> bili su zaista predstavljeni dimenzijama koje su vrlo blizu njihovim stvarnim veličinama.

Kada su Razmus i suautori (1989.) ispitivali iste tipove panoramskih strojeva četiriju različitih proizvođača, otkrili su da su dimenzije i lokacije točke fokusa inkonzistentne (24). Oni su sugerirali da je potrebno poboljšati osiguranje kakvoće u procesu proizvodnje.

McDavid i suautori (1989.) opisali su metodu za nadvladavanje opisanih nedostataka održavanjem stalnog čimbenika povećanja tijekom eksponiranja rotacijskih panoramskih radiografa (25).

Uz sustav DigiPan® isto se može postići računalnim upravljanjem kretanja OP 100® ili prilagodbom programa za prikupljanje podataka o slici i za njezino prikazivanje.

Promjene čimbenika povećanja okomitom dimenziji kod panoramske su radiografije obično minorne (26,27). Uz slikanje temeljeno na filmu može se očekivati pogreška od oko 10%; no uz sustav Di-

giPan® mjerni algoritam softwarea djelovao je na prirodno izobličenje i proizveo točnu refleksiju stvarne okomite visine ispitnog objekta. Dok su uporabom konvencionalnih receptora za panoramsku radiografiju okomita mjerenja pouzdana unutar određenih granica, vodoravna mjerenja mogu biti veoma izobličena (28,29).

Uporabom konvencionalnih receptora tipa film/zaslon izvršena su brojna ispitivanja mjerne točnosti različitih panoramskih strojeva (26,30-35). Tijekom ove studije utvrđeno je izobličenje površine za odabrane konture sloja slike, međutim nisu ispitivani učinci prostornog razlučivanja u kombinaciji s čimbenikom izobličenja. Potrebne su daljnje studije da bi se utvrdila kutna izobličenja i izobličenja oblika (36,37). Dok se spomenuta izobličenja mogu ekstrapolirati iz prostornih izobličenja za različite konture slike danih u ovom izvješću, svakako postoje i mogućnosti za daljnje empiričke studije slične onima učinjenim prije, s konvencionalnim receptorima tipa film/zaslon (30-35). Pribaviti točan mjerni algoritam za digitalne panoramske sustave moglo bi se pokazati kompliciranom zadaćom u pogledu izobličenja koja su implicitna iz teorije panoramske radiografije.

Razlike u mjernom povećanju za konture sloja slike ustanovljene upotrebom sustava DigiPan® i onih već objavljenih za uređaj OP 100® s konvencionalnim receptorima mogu biti uvelike pripisane primjenjenoj metodi. Scarfe i suautori (38) upotrijebili su neposredna mjerenja na filmskim slikama, međutim ova se studija oslanja na pripadajući mjerni algoritam dobavljen od Trophy Radiologie. Zbog gotovo potpune odsutnosti povećanja u konturama sloja slike s najvećim razlučivanjem, očito je da algoritam softwarea dobavljen uz sustav DigiPan®, točno kompenzira učinke projekcijskog povećanja svojstvene svim tehnikama radiografije.

### Zaključci

Čimbenici i konture sloja slike sustava OP 100 DigiPan® u skladu su s onima ustanovljenim upotrebom standardnih kombinacija film - zaslon. Kontura sloja slike najvećeg razlučivanja je lingvalna u odnosu prema geometrijskom središtu prolaza snopa kroz fokus. Na tome položaju pripadajući proizvođačev mjerni algoritam dobro kompenzira sva izobličenja prirodna proizvodnji slike.

- Slika 1. DigiPan® kasete. Zamjenjuje standardnu filmsku kasetu za OP 100®. Aktivno područje je u središtu ploče
- Slika 2. Vodoravno povećanje (%) za konture sloja slike kod angulacije projekcije vodoravnog snopa upotrebom DigiPan®
- Slika 3. Okomito povećanje (%) za konture sloja slike kod angulacije projekcije vodoravnog snopa upotrebom DigiPan®
- Slika 4. Čimbenici izobličenja za konture sloja slike kod angulacije projekcije vodoravnog snopa upotrebom DigiPan®
- Slika 5. Interpolirani položaj sloja s minimalnim izobličenjem unutar DigiPan® završnog žlijeba. Zapamti da to nije središte žarišnog žlijeba. Ono je smješteno unutar žlijeba