

Zagotavljanje kakovosti pri razvijanju mamogramov

Lucijan Miklavčič

Ortopedska bolnica Valdoltra, Ankaran, Slovenija

Ekipa, ki se ukvarja z zagotavljanjem kakovosti na področju radiologije, posebno pa v mamografiji, mora dobro poznati uporabo senzimetra in denzitometra za spremljanje učinkovitosti razvijanja filmov. Prispevek uvaja bralca v osnove, ki so nujne za razumevanje programa zagotavljanja kakovosti in spremljanja parametrov učinkovitosti pri razvijanju mamografskih filmov.

Ključne besede: mamografija; rentgenski film; kvaliteta, kontrola

Uvod

Zagotavljanje kakovosti je v radiologiji pomembno vendar velikokrat zanemarjeno področje. Posebnega pomena je zagotavljanje kakovosti pri razvijanju mamografskih filmov, ki je najpomembnejši test s katerim preverimo delovanje avtomatske temnice. S tem strokovnim prispevkom želim najprej predstaviti poenostavljen vendar popoln pregled teoretičnih izhodišč zagotavljanja razvijanja mamografskih filmov, saj so potrebna za izvajanje programa zagotavljanja kakovosti pri razvijanju mamogramov oziroma za optimizacijo mamografske tehnike. Teoretična izhodišča kakršnega koli merjenja parametrov so vezana na znanja matematike, fizike ter radiološke tehnologije. Povzemam postopek in

praktične napotke za izvajanje in analizo meritev, izračun hitrosti in kontrastnosti razvitega filma kot meritev kakovosti pri razvijanju mamografskega filma in njene ponovljivosti. Z definiranjem vzrokov prekomernega odstopanja parametrov kakovosti, kot sta dnevna hitrost in kontrastnost filma, od primerjalne meritve bom utemeljil nujnost in namen posega v razvijalni aparat.

Materiali in definicija spremenljivk

Zagotavljanje kakovosti pri razvijanju mamografskih filmov je najpomembnejši test s katerim preverimo delovanje avtomatske temnice, vendar ga ponavadi v naših ustanovah ne izvajamo.^{1,2} Pred desetletjem ali več bi lahko pripisali neizvajanje ukrepov za zagotavljanje kakovosti slabi opremljenosti ali sploh neopremljenosti naših diagnostičnih enot, danes pa so vzroki drugje.

V prispevku predstavljam poenostavljen, vendar popoln pregled teoretičnih izhodišč zagotavljanja kakovosti pri razvijanju mamogramov.

Naslov avtorja: Lucijan Miklavčič, Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Jadranska cesta 31, 6280 Ankaran, Tel: +386 66 462100; Fax: +386 66 527185; E-mail: lucijan.miklavcic@ob-valdoltra.si

grafskih filmov, ki so potrebna za izvajanje programa zagotavljanja kakovosti pri razvijanju mamogramov oziroma za optimizacijo mamografske tehnike.³

Zagotavljanje kakovosti praviloma določa program zagotavljanja kakovosti v zakonskih predpisih (na primer MQSA, ki ga je predpisala FDA), tako da se preprečijo razlikovanja glede na dogovorjene minimalne kvalitetne standarde, medtem ko je optimizacija praviloma strokovno zahtevnejša; njen namen je namreč izboljšati kvaliteto nasploh (na primer: *Mammography optimization guide za sistem Kodak Min-R 2000* dostopno na spletnih straneh naslov je: www.kodak.com/go/mammo).^{4,5}

Mamografski film

Sodoben mamografski film je enoslojen, ima eno emulzijo približno dvojne debeline na eni sami površini baze filma. V procesu razvijanja (in podobno tudi fiksiranja) moramo zaradi tega zmanjšati hitrost premikanja filma, tako da je film za daljši čas izpostavljen razvijalni kopeli. Razvijanje mora trajati tako dolgo, da je omogočena difuzija vseh kemičnih sestavin razvijalne kopeli v najgloblje plasti zelo debele emulzije mamografskega filma. Najkrajši potreben čas, da dosežemo razvijanje tudi v najglobljih slojih emulzije mamografskega filma je, pri različnih vrstah filmov lahko bistveno različen. V glavnem ga dosežemo ali pa presežemo z avtomatskimi temnicami, ki so predvidene za mamografsko razvijanje, sicer moramo ustrezno modificirati čas razvijanja standardne temnice z 90 sekundnim ciklusom obdelave filmov, pri čemer moramo upoštevati navodila proizvajalca mamografskih filmov.^{6,7}

Že manjša kemična degradacija in manjša temperaturna razlikovanja razvijalne kopeli vplivajo na v času spreminjajočo se kakovost pri razvijanju mamogramov. Te spremembe v kvaliteti razvijanja porušijo ponovljivost testnih meritev razvijalnega procesa. V isti avtomatski temnici so lahko omenjena manjša

razlikovanja kemičnih in fizikalnih spremenljivk razvijalne kopeli vzrok za poslabšanje kakovosti mamografske slike, čeprav je kvaliteta radiografske slike dvoslojnih filmov še dobra. V skladu s tem moramo za program zagotavljanja kakovosti pri razvijanju mamogramov v testirani avtomatski temnici uporabiti izključno enake mamografske filme.^{1,8}

Karakteristična krivulja filma: definicija

Karakteristična krivulja filma nam grafično prikazuje črnitev filma (odvisna spremenljivka) v odvisnosti od ekspozicije s svetlobo (neodvisna spremenljivka). To funkcijsko odvisnost poenostavljeno definiramo z določenimi spremenljivkami posebnega pomena, ki so tudi parametri zagotavljanja kakovosti (osen, maksimalna črnitev, hitrostna točka in povprečni gradient); njihov izračun in pomen bom razložil pozneje.³

Optična gostota (OD)

Za kvantitativno prikazovanje črnitve filma je bila izbrana optična gostota (OD), ki je relativna enota in je izražena v naslednji obliki:

$$OD = -\log T = \log(1/T) \quad (1)$$

kjer je T transparenca skozi razviti del filma.³

Optično gostoto izmerimo s posebnim aparatom – optičnim denzitometrom. Postopek umeritve denzitometra in zagotavljanje ponovljivosti denzitometričnih meritev predpiše proizvajalec naprave; naprava pa mora zagotavljati tudi odčitavanje optične gostote vsaj do vrednosti 4.

Iz navedene definicije optične gostote in transparence, upoštevajoč značilnosti logaritmičnih izrazov, lahko določimo nekatere pomembne točke na diagramu karakteristične krivulje in nekatere značilnosti logaritmične lestvice. Tako ustreza vrednost $OD = 0$ transparenco 100 % (ali 1); $OD = 1$ pa transparenco 10 % (ali 0,1) itn., kakor je razvidno iz Tabele 1.

Tabela 1. Lestvica črnitve v enotah OD ter vrednosti transparence v odstotkih in frakciji prepuščene svetlobe

OD	T%	T
0,00	100,00	1
0,10	80,00	1/2
0,20	64,00	1/ 1,6
0,30	50,00	1/2
0,40	40,00	1/ 2,5
0,50	32,00	1/ 3,2
0,60	25,00	1/4
0,70	20,00	1/5
0,80	16,00	1/ 6,4
0,90	12,50	1/8
1,00	10,00	1/10
1,10	8,00	1/ 12,5
itd		
2,00	1,00	1/100
2,10	0,80	1/ 125
itd		
3,00	0,10	1/1.000
3,10	0,08	1/ 1.250
itd		
4,00	0,01	1/10.000
4,10	0,01	1/12.500
itd		

Za kvantitativni prikaz so razlike za 1 med optičnimi gostotami zelo velike; seznaniti pa se moramo tudi z manjšimi koraki te enote. Za naše izračune in za razlago poteka krivulj črnitve je pomembno upoštevati približek:

$$0,3 \approx \log 2 \quad (2)$$

od tod pa še lahko izpeljemo vrednosti lestvice s tem korakom, kakor je razvidno iz Tabele 1.

Tudi korak 0,3 logaritmične vrednosti je razmeroma velik; primernejši in zelo uporaben je korak 0,1 logaritmične vrednosti; v tabeli 1 so navede tudi logaritmične in numerične vrednosti tega zaporedja.

Logaritem relativne ekspozicije ($\log RE$)

Ponovljivo ekspozicijo mamografskega filma naredimo s posebno napravo imenovano senzitometer. Vsebuje vir zelene in modre svetlobe, med katerima lahko komutiramo glede na spektralno občutljivost filma. Vir svetlobe gre skozi široko pravokotno polje, v katerem je 21 segmentov označenih progresivno s številkami od 1 do 21. Vsak naslednji segment prepušča za 0,15 log večjo intenzivnost svetlobnega sevanja. Razmerja v intenzivnosti svetlobnega sevanja dveh sosednjih polj so enaka kvadratnemu korenu števila 2, to je v približku 1,4. Tabela 2 prikazuje logaritmične in numerične vrednosti intenzivnosti svetlobnega sevanja od polja 1 do 21.¹

Tabela 2. Senzitometrična lestvica z numerično označenimi polji ter ustrezne vrednosti v $\log RE$ in v RE

Polje	LOG	Pribl. Razmerje	Razmerje
1	0,00	1	1,00
2	0,15	1,4	1,41
3	0,30	2	2,00
4	0,45	2,8	2,82
5	0,60	4	3,98
6	0,75	5,6	5,62
7	0,90	8	7,94
8	1,05	11,2	11,22
9	1,20	16	15,85
10	1,35	22,4	22,39
11	1,50	32	31,62
12	1,65	44,8	44,67
13	1,80	64	63,10
14	1,95	90	89,13
15	2,10	128	125,89
16	2,25	180	177,83
17	2,40	256	251,19
18	2,55	360	354,81
19	2,70	512	501,19
20	2,85	700	707,95
21	3,00	1000	1000,00

Izvajanje ukrepov za zagotavljanje kakovosti pri izvajanju mamogramov

Referenčno krivuljo in njene osnovne parametre dobimo po servisnem pregledu razvijalne naprave ali po pranju avtomatske temnice. Pri tem moramo natančno upoštevati navodila proizvajalca. Radiološki inženir, ki je odgovoren za zagotavljanje kakovosti, mora skrbeti za dnevna testiranja zagotavljanja kakovosti pri razvijanju mamogramov med servisnim vzdrževanjem razvijalne naprave. Meritve za program zagotavljanja kakovosti moramo opraviti pred začetkom dela, vendar mora biti razvijalna naprava že pripravljena za obratovanje, tako da so kemične kopeli v njej optimalno segrete.^{1,3}

Inštrumenti in materiali, ki jih potrebujemo, so: senzitometer, denzitometer in mamografski film. Oba inštrumenta, senzitometer in denzitometer, moramo uporabljati v skladu z navodili proizvajalca, tako da zagotovimo dobro ponovljivost meritev. Denzitometer moramo pred vsako uporabo umeriti na vrednost 0,00; umerjanje je lahko avtomatsko ali ročno. Čeprav proizvajalec filmov zagotavlja enako kakovost proizvoda lahko obstajajo razlike med filmi enake kakovosti zaradi razlik v starosti, razmerah pri skladiščenju itn. Zato filme, ki jih uporabljamo za meritve, vedno jemljemo iz iste škatle, ki jo hranimo v ta namen za naslednje meritve.^{1,3}

Testni film eksponiramo v popolni temi v temnici s senzitometrom in ga zatem razvijemo v razvijalni napravi in zatem preverimo kakovost razvijanja. Pred tem moramo na senzitometru preveriti ali smo pravilno izbrali barvo ekspozicijske svetlobe v skladu s spektralno občutljivostjo filma in pozicijo komutatorja za izbiro med enoslojnim in dvoslojnim filmom. Pri enoslojnih filmih moramo upoštevati, da postavimo emulzijo filma proti viru ekspozicijske svetlobe senzitometra; podobno kakor moramo emulzijo enoslojnega filma postaviti proti površini ojačevalne folije v mamografski kaseti.^{1,3}

Na razvitem filmu dobimo pravokotno polje sestavljeno iz 21 segmentov, ki so označena s številkami od 1 do 21. Polja označena z najnižjimi številkami ne dosega črnitev ali vsaj neke vidne črnitve; polja, označena z višjimi številkami pa so progresivno čedalje temnejša. Senzitometer označi na testnem filmu tudi datum in uro, ko smo eksponirali film. Črnitev 21 polj izmerimo z denzitometrom, ki smo ga pred tem umerili na izhodiščno vrednost optične gostote 0,00.

V posebno tabelo (Tabela 3) in v diagram (Diagram 1) vnesemo podatke o filmu vključno s podatki o vrsti emulzije (na primer Kodak Min-R 2000 Film/4316) ter z vrednostmi dobljenih meritev optične gostote za vsa senzitometrična polja od 1 do 21. Za neodvisno spremenljivko lahko uporabimo lestvico z enotami v logaritmih relativne ekspozicije (od

Tabela 3. Št. polja – številka, ki označuje polje na senzitometru $\text{Log RE} = (\text{Št. polja} - 1) * 0,15$; OD – izmerjena črnitev na filmu

Št. polja	Log RE	OD
1	0	0,19
2	0,15	0,21
3	0,3	0,21
4	0,45	0,21
5	0,6	0,22
6	0,75	0,23
7	0,9	0,26
8	1,05	0,34
9	1,2	0,5
10	1,35	0,83
11	1,5	1,25
12	1,65	1,79
13	1,8	2,33
14	1,95	2,79
15	2,1	3,12
16	2,25	3,34
17	2,4	3,5
18	2,55	3,58
19	2,7	3,64
20	2,85	3,66
21	3	3,66

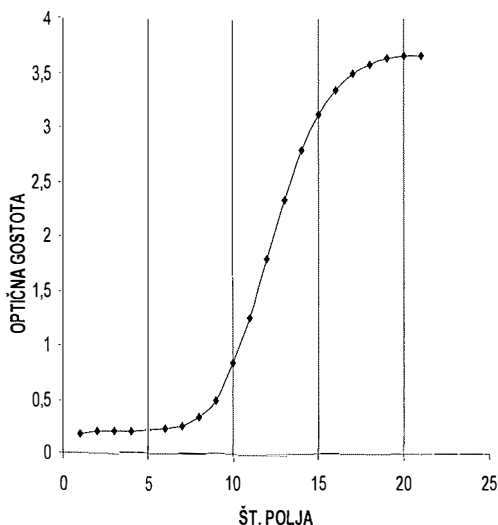


Diagram 1.

0,00 do 3,00). Tako določene točke nam definirajo približen potek krivulje, ki ima tipično obliko (krivulja črnitve filma ali krivulja HD).

Prvi segment krivulje pri nizkih vrednostih logaritma relativne ekspozicije (kadar je črnitev filma za naše oko neopazna) poteka vodoravno in ima zelo nizke vrednosti optične gostote (med 0,15 in 0,20). Take vrednosti optične gostote dobimo tudi na površini filma, ki ni bila eksponirana s senzitometrom, predstavljajo osen film. Kadar osen presega vrednost 0,20 gre zelo verjetno za okvaro sistema: razvijalnega aparata (oksidacija razvijalne kopeli, kontaminacija razvijalne kopeli s fiksirjem, previsoka temperatura razvijalne kopeli, predolg čas razvijanja, slabo fiksiranje itd.) ali filma (nepravilno skladiščenje filma, osvetlitev filma s svetlobo ali žarki X, preseganje roka uporabnosti filmov, ki ga je označila tovarna itd.).

Zadnji segment krivulje pri visokih vrednostih logaritma relativne ekspozicije (kadar je črnitev filma za naše oko največja) poteka vodoravno in ima zelo visoke vrednosti optične gostote (praviloma okoli 4,00). Take vrednosti optične gostote dobimo na površini filma, ki je bil izpostavljen dnevni svetlobi. Kadar največ-

ja črnitev filma ne dosega teh visokih vrednosti, je to najverjetneje znak za nepravilnost v razvijalnem aparatu (oksidacija razvijalne kopeli, kontaminacija razvijalne kopeli s fiksirjem, prenizka temperatura razvijalne kopeli, prekratek čas razvijanja itd.).³

Prvi in zadnji segment krivulje črnitve filma kažeta, da film ne reagira na spremembo ekspozicije; v tem intervalu kljub spreminjanju ekspozicije ne dosežemo sprememb črnitve filma. Osrednji segment krivulje črnitve pa ima naraščajoč, v približku linearen potek optične gostote. Potek osrednjega dela krivulje nam določa zelo pomembna parametra črnitve: povprečni gradient črnitve filma in hitrostno točko sistema.^{3,6,7}

Povprečni gradient filma merimo v linearnem delu poteka v intervalu ekspozicijskih vrednosti med 0,45 in 2,20 (razlika 1,75 log relativne ekspozicije); določa nam odziv, torej porast črnitve filma, v odvisnosti od svetlobne ekspozicije (Diagram 2). Mamografski filmi imajo povprečne gradiente blizu vrednosti 3, praviloma ga presegajo. Izmerjena vrednost je tipična za enak film (Diagram 3).³

Hitrostno točko določa logaritmična vrednost relativne ekspozicije, s katero do-

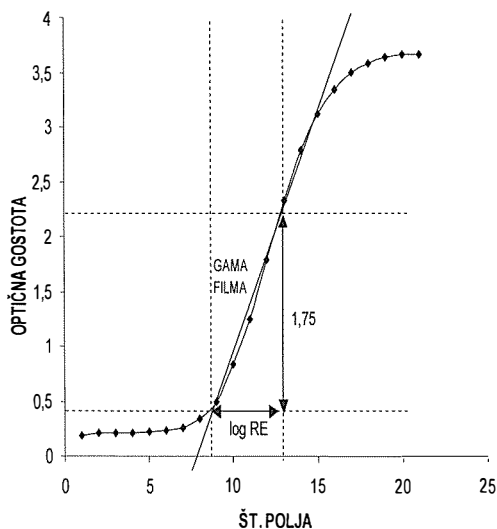


Diagram 2.

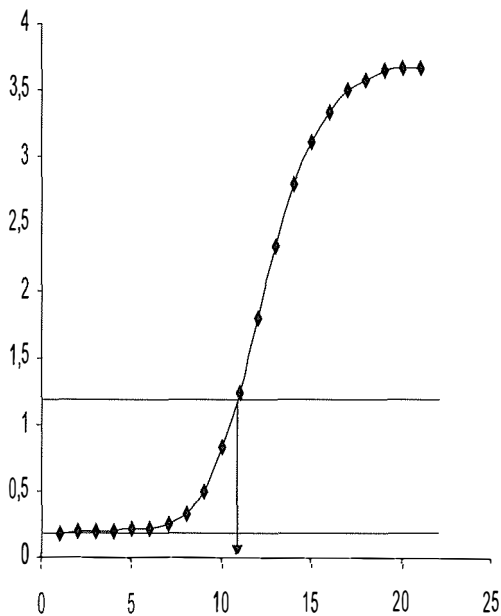


Diagram 3.

sežemo črnitev filma 1,00 nad vrednostjo osona. Uporabljamo jo le za relativne meritve; razliko glede na primerjalni sistem izrazimo v log RE.³

Osnovni segment krivulje črnitve ima naraščajoč, v približku linearen potek optične gostote, s prvim in zadnjim segmentom povezuje spodnje in gornje koleno krivulje. Poteka teh dveh prehodnih segmentov krivulje črnitve ne določamo s posebnimi parametri črnitve.

Izračun povprečnega gradienta

Povprečni gradient gama (γ) po definiciji:

$$\gamma = 1,75 / (\log RE_{2,20} - \log RE_{0,45}) \quad (3)$$

Izračun hitrostne točke (S)

Hitrostno točko določimo v dobrem približku z linearno interpolacijo dveh bližnjih vrednosti optične gostote (OD_L , OD_H) k vrednosti optične gostote ena nad osonom (OD_S); vrednosti odčitamo na filmu, ki je bil ekspaniran s senzitometrom.

OD_L točka bližnje meritve na karakteristični krivulji na levi strani ob točki S

OD_H točka bližnje meritve na karakteristični krivulji na desni strani ob točki S

$$S = \{L + [(OD_S - OD_L) / (OD_H - OD_L)]\} * 0,15 \quad (4)$$

Razlikovanja pri vsakodnevno določenih parametrih

V naši zakonodaji nimamo predpisov, ki bi nam določali največja dopustna razlikovanja pri izvajanju programa zagotavljanja kakovosti pri razvijanju mamogramov (ali drugih medicinskih filmov). Za zagotavljanje kakovosti pri razvijanju lahko uporabljamo dopustna razlikovanja, ki jih je predpisal proizvajalec filma in opreme (posebej kadar gre za istega proizvajalca); sicer določimo svoja dopustna razlikovanja izmerjene hitrosti filma od referenčne hitrosti, na primer do $\pm 10\%$ ($\pm 0,04 \log RE$). Razlikovanje hitrostne točke na krivulji črnitve lahko prikazemo grafično kot pomik krivulje črnitve. Na primer pomik vsakodnevne krivulje v desno za $\pm 0,04 \log RE$ pomeni, da se je hitrost sistema zmanjšala za $\pm 10\%$.

Razlikovanje vsakodnevne hitrosti za $\pm 12\%$ od referenčne hitrosti je enako razlikovanju log RE za vrednost $\pm 0,05$, medtem ko je razlikovanje vsakodnevne hitrosti za $\pm 25\%$ enako razlikovanju za $\pm 0,1 \log RE$. Pretvorbe v logaritmične vrednosti so pomembne, saj je na mamografih elektronika nadzornega sistema za avtomatsko ekspozicijo sorazmerna logaritmičnim vrednostim, tako da je ena enota na mamografu enaka logaritmičnemu razlikovanju za $\pm 0,1$. Drugače rečeno, če je razlikovanje vsakodnevne hitrosti še v dopustnih okvirih, recimo za vrednost $\log RE \pm 0,05$, moramo uskladiti elektroniko za avtomatsko ekspozicijo mamografa, tako da jo spremeni mo za vrednost $\pm 0,5$. Pri rentgenskih aparatih, ki nimajo nadzornega sistema za avtomatsko ekspozicijo pa si pomagamo s spremembo ekspozicije v mAs za en preskok sti-

kala (če je lestvica vrednosti v razmerju 0,1 log) pri spremembi hitrosti za $\pm 0,1$ log RE.

Največje dopustno razlikovanje vsakodnevne povprečnega gradienta črnitve filma od referenčne meritve je lahko do $\pm 5\%$. Povprečni gradient črnitve filma vpliva na kontrastni prikaz slikanih tkiv na radiogramu, torej na kontrastno ločljivost normalnih tkiv in patoloških formacij v njej. Vzdrževanje enakega standarda kakovosti povprečnega gradienta črnitve filma pa je pomembno pri diagnosticiranju, saj vpliva na napake pri interpretiranju mamogramov.

Največje dopustno razlikovanje osena je lahko do $+10\%$; razlikovanje največje črnitve filma od referenčnih meritev pa je lahko do $\pm 10\%$. Če razlikovanja presežejo določene okvire je po navadi vsaj eden izmed preostalih nadzornih parametrov zunaj dopustnih vrednosti.

Nedopustna razlikovanja merjenih parametrov po navadi nastanejo zaradi napake v razvijalnem sistemu in zajemajo dokaj tipične povezave. To nam bo v pomoč pri odstranjevanju napak. Tako je na primer pri oksidirani razvijalni kopeli osen povišan, maksimalna črnitev znižana, povprečni gradient filma je zmanjšan, hitrost sistema pa je zmanjšana. Pri povečani temperaturi razvijalne kopeli pa je osen povišan, maksimalna črnitev ni spremenjena, povprečni gradient filma je zmanjšan, hitrost sistema pa je povečana. Pri razredčeni razvijalni kopeli je osen nespremenjen, maksimalna črnitev je znižana, povprečni gradient filma je zmanjšan, prav tako je zmanjšana hitrost sistema.^{1,6,8}

Sklep

Zagotavljanje kakovosti pri razvijanju mamogramov je pomembno za doseganje dobre in ponovljive kakovosti mamografske slike, to pa je pogoj za kvalitetno mamografsko diagnostiko. Za razvijanje enoslojnih mamografskih filmov moramo imeti primeren ali prirejen razvi-

jalni aparat. Že manjše spremembe v razvijalnem aparatu povzročijo, da je kakovost mamografske slike slaba, čeprav je kakovost radiografske slike dvoslojnih filmov še dobra. Vzrok za nedopustna razlikovanja merjenih parametrov pri zagotavljanju kakovosti pri razvijanju so po navadi napake v razvijalnem sistemu in zajemajo dokaj tipične povezave, ki jih moramo poznati in takoj odpraviti.

Literatura

1. Nassivera E, Nardin L. Daily quality control programme in mammography. *Br J Radiol* 1996; **69**: 148-52.
2. Nassivera E, Nardin L. Quality control programme in mammography: second level quality controls. *Br J Radiol* 1997; **70**: 612-8.
3. Curry TS, Dowdey JE, Murry RC. *Christensen's introduction to the physics of diagnostic radiology*. 3th ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1984.
4. Eklund GW, Cardenosa G, Parsons W. Assessing adequacy of mammographic image quality. *Radiology* 1994; **190**: 297-307.
5. Hill SJ, Faulkner K, Law J, Starritt HC. Film viewing conditions in mammography. *Br J Radiol* 1997; **70**: 409-11.
6. Schueler BA, Gray JE, Gisvold JJ. A comparison of mammography screen-film combinations. *Radiology* 1992; **184**: 629-34.
7. Wojtasek DA, Teixidor HS, Govoni AF, Gareen IF. Diagnostic quality of mammograms obtained with a new low-radiation-dose dual-screen and dual-emulsion film combination. *Am J Roentgenol* 1990; **154**: 265-70.
8. Brink C, de Villiers JF, Lutter MG, van Zyl M. The influence of film processing temperature and time on mammographic image quality. *Br J Radiol* 1993; **66**: 685-90.