

Zagotavljanje kakovosti pri razvijanju mamogramov Quality assurance in mammography processing

Lucijan Miklavčič

Ortopedska bolnišnica Valdoltra, Ankaran, Slovenija

Povzetek: Uporaba senzitometra in denzitometra za spremljanje učinkovitosti pri razvijanju filmov mora biti poznana ekipi, ki se ukvarja z zagotavljanjem kakovosti na področju radiologije, posebno pa v mamografiji. Prispevek uvaja bralca v osnove, ki so potrebne za razumevanje programa zagotavljanja kakovosti in spremljanja parametrov učinkovitosti pri razvijanju mamografskih filmov.

Ključne besede: mamografija; tehnologija radiološka; X-žarki, filmi, zagotavljanje kakovosti

Abstract: The practice of using a sensitometer and densitometer to evaluate the film processing consistency must be well known to those involved with quality control procedures for general radiology and especially for mammography. This paper introduces to the basic knowledge needed for a quality control program and the assessment of the basic performance parameters in monitoring mammographic film processing.

Key words: mammography; technology radiologic; quality assurance

Uvod

Zagotavljanje kakovosti je v radiologiji pomembno, vendar velikokrat zanemarjeno področje. Posebno pomembno 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 kakovosti pri razvijanju mamografskih filmov. To je potrebno za izvajanje programa, s katerim zagotavljamo kakovost pri razvijanju mamogramov oziroma za optimizacijo mamografske tehnike. Teoretična izhodišča kakršnega-

koli merjenja kvalitetnih parametrov so vezana na znanja iz področja matematike, fizike ter radiološke tehnologije. Povzemam postopek in praktične napotke za izvedbo in analizo meritev ter izračun hitrosti in kontrastnosti razvitega filma kot merilo kakovosti pri razvijanju mamografskega filma in njene ponovljivosti. Z definiranjem vzrokov čezmernega neujemanja kvalitetnih parametrov, kot sta dnevna hitrost in kontrastnost filma, s primerjalno meritvijo bom utemeljil nujnost in namen posega v razvijalni aparat.

Materiali in definicija spremenljivk

Zagotavljanje kakovosti mamografskih filmov je najpomembnejši test, s katerim preverimo delovanje avtomatske temnice, vendar ga običajno v naših ustanovah ne izvajajo.^{1,2} Pred

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

desetletjem in več bi lahko takšno neizvajanje pri zagotavljanju kakovosti pripisali slabi opremljenosti ali celo neopremljenosti naših diagnostik, danes pa so vzroki drugačni.

V prispevku predstavljam poenostavljen, vendar popoln pregled teoretičnih izhodišč zagotavljanja kakovosti pri razvijanju mamografskih filmov. To je potrebno za izvajanje programa s katerim zagotavljamo 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 organizacija FDA), tako da se preprečijo neujemanja z dogovorjeni minimalnimi kvalitetskimi standardi. Optimizacija pa je praviloma strokovno zahtevnejša, njen namen je izboljšati kakovost nasploh (na primer: Mamography optimization guide za sistem Kodak Min-R 2000 dostopno na internetu na naslovu: www.kodak.com/go/mammo).^{4,5}

Mamografski film

Sodoben mamografski film je enoslojen, dejansko ima eno emulzijo približno dvojne debeline na eni sami površini filmske baze. V procesu razvijanja (in podobno tudi fiksiranja) moramo zaradi tega zmanjšati hitrost premikanja filma, tako da je film daljši čas izpostavljen razvijalni kopeli. Čas razvijanja mora biti tako dolg, da je omogočena difuzija vseh kemičnih sestavin razvijalne kopeli v najgloblje plasti zelo debele emulzije mamografskega filma. Minimalni potreben čas, da dosežemo razvijanje tudi v najglobljih slojih emulzije mamografskega filma, se pri različnih vrstah filmov lahko zelo razlikuje. 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, upoštevajoč navodila proizvajalca mamografskih filmov.^{6,7}

Že manjša kemična degradacija in manjša temperaturna neujemanja razvijalne kopeli vplivajo na v času spreminjajočo se kakovost razvijanja mamogramov. Te spremembe v kakovosti razvijanja onemogočijo ponovljivost testnih meritev pri razvijalnem procesu. V isti avtomatski temnici so lahko ta manjša neujemanja kemičnih in fizikalnih spremenljivk pri razvijalni kopeli vzrok za slabšo kakovost mamografske slike, čeprav je kvaliteta radioografske slike dvoslojnih filmov še dobra. V skladu s tem moramo s programom s katerim zagotavljamo kakovost razvijanja mamogramov, pri testiranju avtomatske temnice uporabiti zgolj enake mamografske filme.^{1,8}

Značilna krivulja filma: definicija

Značilna 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, največja 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, 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 posebno napravo - optičnim denzitometrom. Postopek umeritve denzitometra in zagotavljanje ponovljivosti denzitometričnih meritev predpiše proizvajalec naprave, le-ta pa mora tudi zagotavljati odčitavne optične gostote vsaj do vrednosti⁴.

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

Tabela 1. Lestvica črnitve filma v enotah OD in v odstotkih izražene vrednosti transparence ter frakcija prepuščene svetlobe

Table 1. Step blackening of the film in OD units and the related values of transparency and the fraction transmitted light

OD	T%	T
0	100	1
0,1	80	1/1,25
0,2	64	1/1,6
0,3	50	1/2
0,4	40	1/2,5
0,5	32	1/3,2
0,6	25	1/4
0,7	20	1/5
0,8	16	1/6,4
0,9	12,5	1/8
1,0	10	1/10
1,1	8	1/12,5
itd		
2	1	1/100
2,1	0,8	1/125
itd		
3	0,1	1/1.000
3,1	0,08	1/1.250
itd		
4	0,01	1/10.000
4,1	0,008	1/12.500
itd		

Za količinski prikaz so razlike za 1 med optičnimi gostotami zelo velike; zato moramo preučiti manjše korake 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 navedene 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 obema 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 2, kar je približno 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

Table 2. Sensitometric field with the step numbers and their related values in log RE and in RE

Polje	LOG	Razmerje
1	0,00	1
2	0,15	1,4
3	0,30	2
4	0,45	2,8
5	0,60	4
6	0,75	5,6
7	0,90	8
8	1,05	11,2
9	1,20	16
10	1,35	22,4
11	1,50	32
12	1,65	44,8
13	1,80	64
14	1,95	90
15	2,10	128
16	2,25	180
17	2,40	256
18	2,55	360
19	2,70	512
20	2,85	700
21	3,00	1000

Kako zagotovimo kakovost pri razvijanju mamogramov

Referenčno krivuljo in njene osnovne parametre dobimo po servisnem pregledu razvijalnega aparata ali po čiščenju avtomatske temnice. Pri tem moramo natančno upoštevati navodila proizvajalca. Radiološki inženir, ki je odgovoren za zagotavljanje kakovosti, mora skrbeti za dnevna testiranja glede zagotavljanja kakovosti pri razvijanju mamogramov med servisnim vzdrževanjem razvijalnega aparata. Meritve za program zagotavljanja kakovosti moramo opraviti pred začetkom dela, vendar mora biti razvijalni aparat že pripravljen za delovanje, tako da so kemične kopeli v njem optimalno segrete.^{1,3}

Naprave in materiali, ki jih potrebujemo, so: senzitometer, denzitometer, 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, razmer pri skladiščenju itd. Zato filme, ki jih uporabljamo za meritve, vedno jemljemo iz iste škatle in jih hranimo v ta namen za naslednje meritve.^{1,3}

Testni film eksponiramo v popolni temi v temnici s senzitometrom in ga zatem razvijemo v avtomatski temnici. 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 po-

lje, sestavljeno iz 21 segmentov, ki so označeni s števili od 1 do 21. Polja, označena z najnižjimi števili, ne dosegaajo črnitev ali vsaj neke vidne črtnitve; polja, označena z višjimi števili, 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 in v diagram vnesemo podatke o filmu, všteti vrsto emulzije (na primer Kodak Min-R 2000 Film/4316) ter vrednosti dobljenih meritev optične gostote za vsa senzitometrična polja od 1 do 21. Najbolje je, če za neodvisno spremenljivko uporabimo lestvico z enotami v logaritmih relativne ekspozicije (od 0,00 do 3,00). Tako določene točke nam definirajo približen potek krivulje, ki ima tipično obliko (krivulja črtnitve filma ali krivulja HD).

Prvi segment krivulje pri nizkih vrednostih logaritma relativne ekspozicije (kadar je črnitev filma za naše oko neopazna) poteka horizontalno 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 horizontalno 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 največja črnitev filma ne dosega teh viso-

kih vrednosti, je to zelo verjetno 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 črnitve 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 rast črnitve filma v odvisnosti od svetlobne ekspozicije. Mamografski filmi imajo povprečne gradiente blizu vrednosti 3, praviloma pa to vrednost presegajo. Izmerjena vrednost je tipična za enak film.³

Hitrostno točko sistema določa logaritmična vrednost relativne ekspozicije, s katero dosežemo črnitev filma 1,00 nad vrednostjo osena. Uporabljamo jo le za relativne meritve; razlike v primerjavi s komparativnim sistemom izrazimo v log RE.³

Osrednji segment krivulje črnitve ima skoraj linearno potekajočo rast optične gostote, s prvim in zadnjim segmentom ga povezuje spodnje in gornje koleno krivulje. Poteka teh dveh prehodnih segmentov krivulje črnitve ne določamo posebej s specialnimi 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 z linearno interpolacijo dveh bližnjih vrednosti optične gostote (ODL, ODH) k vrednosti optične gostote ena nad osenom (ODS), ki jih odčitamo na filmu, ki je bil eksponiran s senzitometrom.

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

Neujemanja dnevno določenih parametrov

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

Razlikovanje dnevne hitrosti za 12% glede na referenčno hitrost je enako razlikovanje log RE za vrednost 0,05, medtem ko je razlikovanje dnevne hitrosti za 25% enako razlikovanju za 0,1 log RE. Pretvorbe v logaritmične vrednosti so pomembne, saj je na mamografih elektronika kontrolnega sistema za avtomatsko ekspozicijo sorazmerna logaritmičnim vrednostim, tako da je ena enota na mamografu enaka logaritmičnemu razlikovanju za 0,1. Drugače rečeno, če je neujemanje pri dnevni hitrosti še v dopustnih okvirih, recimo za vrednost log RE 0,05, moramo uskladiti elektroniko za avtomatsko ekspozicijo mamografa, tako da jo spremenimo za vrednosti 0,5. Pri rentgenskih aparatih, ki nimajo kontrolnega sistema za avtomatsko ekspozicijo, pa si pomagamo s spremembo ekspozicije v mAs za en preskok stikala (kadar je lestvica

vrednosti v razmerju 0,1 log) pri spremembi hitrosti za 0,1 log RE.

Dopustno razlikovanje dnevnega povprečnega gradienta črnitve filma od referenčne meritve lahko znaša največ do 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 istega standarda kakovosti povprečnega gradienta črnitve filma pa je pomembno pri diagnosticiranju, saj vpliva na napake pri interpretiranju mamogramov.

Dopustno razlikovanje osena in maksimalne črnitve filma od referenčnih meritev lahko znaša največ do +10%. Če dosežajo razlikovanja vrednosti preko 10% je običajno vsaj eden od preostalih kontrolnih parametrov zunaj dopustnih vrednosti.

Nedopustna razlikovanja merjenih parametrov so ponavadi povezana z napakami v razvijalnem sistemu in zajemajo dokaj tipične povezave. To nam bo v pomoč pri odstranitvi napak. Tako je na primer pri oksidirani razvijalni kopeli osen povišan, največja črnitev znižana, povprečni gradient filma je zmanjšana, hitrost sistema je zmanjšana. Pri povečani temperaturi razvijalne kopeli pa je osen povišan, največja črnitev ni spremenjena, povprečni gradient filma je zmanjšana, hitrost sistema je povečana. Pri razredčeni razvijalni kopeli je osen nespremenjen, največja črnitev je znižana, povprečni gradient filma je zmanjšana, hitrost sistema je zmanjšana.^{1,6,8}

Zaključek

Zagotavljanje kakovosti pri razvijanju mamogramov je pomembno za doseganje dobre in ponovljive kakovosti mamografske slike, kar je pogoj za kakovostno mamografsko diagnostiko. Za razvijanje enoslojnih mamografskih filmov moramo imeti primerno ali prirejeno razvijalno napravo. Že manjše spremembe v razvijalni napravi povzročijo, da je kakovost

mamografske slike slaba, čeprav je kakovost radiografske slike dvoslojnih filmov še dobra. Nedopustna neujemanja merjenih parametrov pri zagotavljanju kakovosti razvijanja so običajno posledica napak 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. *AJR Am J Roentgenol* 1990; **154**: 265-70.
8. Brink C, de Villiers JF, Lütter MG, van Zyl M. The influence of film processing temperature and time on mammographic image quality. *Br J Radiol* 1993; **66**: 685-90.