

Usporedba protokola kontrole kvalitete mamografskih uređaja u Republici Hrvatskoj s protokolima u drugim državama

Pauk, Antonia

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:176:222411>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-15**



Sveučilišni odjel zdravstvenih studija
SVEUČILIŠTE U SPLITU

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University Department for Health Studies, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
Podružnica
SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
RADIOLOŠKE TEHNOLOGIJE

Antonia Pauk

**USPOREDBA PROTOKOLA KONTROLE KVALITETE
MAMOGRAFSKIH UREĐAJA U REPUBLICI HRVATSKOJ S
PROTOKOLIMA U DRUGIM DRŽAVAMA**

Diplomski rad

Split, 2020.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
Podružnica
SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
RADIOLOŠKE TEHNOLOGIJE

Antonia Pauk

**USPOREDBA PROTOKOLA KONTROLE KVALITETE
MAMOGRAFSKIH UREĐAJA U REPUBLICI HRVATSKOJ S
PROTOKOLIMA U DRUGIM DRŽAVAMA**

**COMPARISON OF QUALITY CONTROL PROTOCOLS OF
MAMMOGRAPHIC DEVICES IN THE REPUBLIC OF
CROATIA WITH PROTOCOLS IN OTHER COUNTRIES**

Diplomski rad/ Master's Thesis

Mentor:

Prof. dr .sc. Tade Tadić, dr. med.

Split, 2020.

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Kvaliteta.....	1
1.2. Uređaji za mamografiju	3
1.2.1. Mamografija.....	3
1.2.2. Povijest mamografija	3
1.2.3. Uređaji za mamografiju i mamografske tehnike.....	4
2. PROTOKOL EUROPSKE KOMISIJE	9
2.1. Nativna mamografija.....	10
2.1.1. Opis mjerenja	11
2.1.1.1. Generiranje zračenja	12
2.1.1.2. Bucky rešetka i receptor slike	22
2.1.1.3. Obrada filma.....	24
2.1.1.4. Uvjeti očitavanja	28
2.1.1.5. Značajke sustava	29
2.1.2. Dnevni i tjedni testovi kontrole kvalitete- praktični savjeti.....	32
2.1.3. Tablice kontrole kvalitete u mamografiji.....	33
2.2. Digitalna mamografija	35
2.2.1. Akvizicija slike	39
2.2.2. Obrada slike	42
2.2.3. Prikaz slike.....	42
2.2.4. Pisači	45
2.2.5. Tablica učestalosti i kontrole kvalitete digitalne mamografije	48
3. KANADSKI PROTOKOL	51
3.1. Prikupljanje podataka.....	53
3.1.1. Postupci i oprema za kontrolu kvalitete.....	54
3.1.2. Dnevno testiranje kontrole kvalitete	55
3.1.3. Tjedna kontrola kvalitete	59
3.1.4. Mjesečno ispitivanje kvalitete.....	63
3.1.5. Tromjesečno/kvartalno testiranje kontrole kvalitete.....	66
3.1.6. Polugodišnje ispitivanje kvalitete	68
3.1.7. Godišnje ispitivanje kontrole kvalitete	70
4. PROTOKOL REPUBLIKE HRVATSKE.....	81
4.1. Preporučena mjerenja za provođenje kontrole kvalitete mamografskih uređaja u RH.....	84
4.1.1. Mjerenje napona na rendgenskoj cijevi.....	84
4.1.2. Mjerenje debljine poluapsorpcije-filtracije (HVL).....	86
4.1.3. Dozimetrija.....	90
4.1.4. Podudarnost rendgenskog snopa s detektorom slike.....	92
4.1.5. Sila pritiska (kompresija).....	94
4.1.6. Referentno zacrnjenje na filmu i dnevna ponovljivost AEC.....	95
4.1.7. Rezolucija visokog kontrasta.....	96
4.1.8. Prag vidljivog kontrasta za mamografske uređaje sa sustavom film/folija.....	98
4.1.9. Automatska kontrola ekspozicije (AEC) za film/folija mamografske sisteme.....	100
4.1.10. Prag vidljivog kontrasta za digitalne mamografske uređaje	103
4.1.11. (AEC) za digitalne mamografske sustave	104
5. RASPRAVA.....	108

6. ZAKLJUČAK.....	124
7. LITERATURA.....	126
SAŽETAK.....	130
SUMMARY.....	131
ŽIVOTOPIS.....	132

POPIS OZNAKA I KRATICA

AAPM	Američka udruga fizičara u medicini (prema engl. American Association of Physicist in Medicine)
AAEC	Napredna automatska kontrola izlaganja (prema engl. Advanced Automatic Exposure Control)
AEC	Automatska kontrola izlaganja (prema engl. Automatic Exposure Control)
AGD	Prosječna žljezdana doza (prema engl. Average Glandular Dose)
CAD	Računalno potpomognuta/navođena detekcija (prema engl. Computer-aided diagnosis)
CNR	Omjer kontrasta i šuma (prema engl. Contrast to Noise Ratio)
CR	Sustav kompjuterske/računalne radiografije (prema engl. Computed radiography)
DICOM	Komunikacijski standard digitalnog oslikavanja i komunikacije podacima (prema engl. Digital Imaging and Communication in Medicine)
DMIST	Probno ispitivanje mamografskog oslikavanja (prema engl. Digital Mammography Imaging Screening Trial)
DR	Sustav digitalne radiografije (prema engl. Digital Radiography)
D_{max}	Najveća optička gustoća (prema engl. Maximum Density)
D_{min}	Najmanja optička gustoća (prema engl. Minimum Density)
EC	Europska komisija (prema engl. European Commission)
EU	Europska unija (prema engl. European Union)
FF	Film – folija sustav
Ghost image	Rezidualna /zaostala slika
GSFD	Standardna funkcija prikaza ljestvice sive boje (prema engl. Grayscale Standard Display Function)
GDF	Funkcija prikaza sive skale (prema engl. Grayscale Display Function)
HVL	Debljina poluapsorpcije (prema engl. Half Value Layer)
MGD	Standardna žljezdana doza (prema engl. Mean Glandular Dose)
MTF	Modulacijska funkcija prijenosa (prema engl. Modulation Transfer Function)

MUP	Ministarstvo unutarnjih poslova
NPS	Spektar snage šuma (prema engl. Noise Power Spectrum)
OD	Optička gustoća (prema engl. Optical density)
PMMA	Akrilno staklo, polimetilmetakrilat (prema engl. Polymethyl methacrilate)
Pravilnik	Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja
Priručnik	Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju
QA	Osiguranje kvalitete (prema engl. Quality Assurance)
QC	Kontrola kvalitete (prema engl. Quality Control)
RH	Republika Hrvatska
ROI	Područje interesa (prema engl. Region of Interest)
SNR	Odnos signala i šuma (prema engl. Signal to Noise Ratio)
TFC	Odabir filter-cilj (prema engl. Target Filter Combination)
TG 18	Radna skupina 18 Američke udruge fizičara u medicini (prema engl. Task Group 18 AAPM)

1. UVOD

1.1. Kvaliteta

Kvaliteta je određeni stupanj izvrsnosti koji označava vrijednost, svojstvo, osobinu, primjerenost određenim normama i prikazuje ukupnost svojstava radnje ili procesa, proizvoda (usluge), organizacije, osoba, sustava (ili svake njihove kombinacije) koja ga čine sposobnim da zadovolji izražene ili pretpostavljene potrebe (1).

Svaki zdravstveni sustav teži unaprjeđenju i poboljšanju kvalitete zdravstvene usluge. Standardi kvalitete detaljno su opisana mjerila za obavljanje zdravstvenih postupaka, za zdravstvene radnike, opremu, materijale i okoliš u kojima se obavljaju zdravstveni postupci, dok su klinički pokazatelji kvalitete sredstva mjerenja u obavljanju zdravstvenih postupaka (2). Klinički pokazatelji kvalitete definiraju kako, kada i gdje prikupljati podatke, čijom će se analizom ustanoviti što treba promijeniti u dosadašnjoj praksi i kako unaprijediti trenutni postupak, koji će tako dati bolje i učinkovitije rezultate (1,2).

Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) definira kontrolu kvalitete kao skup radnji (programiranje, koordiniranje, izvršavanje) kojima je namjera održavati i poboljšavati šest područja, odnosno, razina kvalitete. Te razine kvalitete zahtijevaju da zdravstvena zaštita bude:

- Učinkovita; pružanje zdravstvene zaštite koja je u skladu s bazom dokaza i rezultira poboljšanjem zdravstvene usluge za pojedince ili društva, ovisno potrebi.
- Uspješna; pružanje zdravstvene zaštite na način koji povećava potrošnju resursa pri tome izbjegavajući moguće gubitke.
- Pristupačna; pružanje zdravstvene zaštite koja je pravovremena, geografski razumna, i predviđena za svako okruženje kojem su dodijeljeni odgovarajući resursi i vještine za zdravstvene potrebe.
- Prihvatljiva / usmjerena na pacijenta; pružanje zdravstvene zaštite koja uzima u obzir sklonosti i težnje pojedinih korisnika usluga prema kulturi njihove zajednice.
- Pravedna; pružanje zdravstvene usluge čija se kvalitete ne razlikuje s obzirom na neke osobne karakteristike pojedinca kao što su spol, rasa, etnička pripadnost, geografski položaj ili socioekonomski status.
- Sigurna; pružanje zdravstvene zaštite koja smanjuje rizike i potencijalne štete korisnicima usluge (3).

Zakon o kvaliteti zdravstvene zaštite

Agencija za kvalitetu i akreditaciju u zdravstvu jest pravna osoba, čiju nadležnost na području osiguranja i unaprjeđenja kvalitete zdravstvene zaštite i akreditacije u zdravstvu utvrđuje Zakon – NN 107/07.

Proces kontrole kvalitete znači u svakodnevnim operativnim aktivnostima kontrolirati različite procese s naglaskom na pronađena moguća odstupanja. Važan je i pojam unaprjeđenja kvalitete čiji je cilj otkriti i eliminirati uzroke nedostataka. Osobe koje rade na unaprjeđenju kvalitete moraju imati određene vještine, odgovarajuće znanje i iskustvo, kontinuirano interpretirati rezultate i donositi kritičke ocjene (4).

Standardi kvalitete zdravstvene zaštite jesu precizni kvantificirani opisi mjerila u vezi s obavljanjem zdravstvenih postupaka, zdravstvenim radnicima, opremom, materijalima i okolišem u kojima se obavljaju zdravstveni postupci, a kojima se osigurava kvaliteta zdravstvene zaštite.

Sustav kvalitete zdravstvenih postupaka jest sustav kojim se osigurava koordinacija, promicanje te praćenje svih aktivnosti poboljšanja kvalitete zdravstvene zaštite koja se pruža pacijentima sukladno zahtjevima međunarodno priznatih standarda te znanstveno-tehnološkom razvitku (4).

Procjena zdravstvenih tehnologija jest multidisciplinarnan, stručni, nepristran, objektivan na principima medicine utemeljene na dokazima, transparentan proces procjene kliničke učinkovitosti i sigurnosti, uz ekonomsku analizu novih ili već postojećih zdravstvenih tehnologija (lijekova, medicinskih proizvoda, kirurških procedura, dijagnostičkih postupaka kao i ostalih tehnologija s područja prevencije, dijagnostike, liječenja i rehabilitacije), uzimajući u obzir etička, socijalna, pravna i organizacijska načela. Osnovni cilj procjene zdravstvenih tehnologija jest davanje nepristrane, stručne, objektivne i transparentne preporuke o opravdanosti primjene nove tehnologije ili zamjeni dosadašnje zdravstvene tehnologije u svrhu daljnjeg donošenja konačne objektivne odluke u zdravstvenoj politici (1,4).

1.2. Uređaji za mamografiju

1.2.1. Mamografija

Mamografija je radiološki dijagnostički postupak snimanja dojki kojom se otkrivaju nove promjene na dojka te utvrđuju male promjene na dojci koje se ne mogu napipati prilikom

samopregleda dojki niti se dobro prikazati drugim metodama. U mamografiji se koristi specijalizirani rendgenski uređaj prilagođen za snimanje dojki s obzirom na strukturu tkiva dojke. Danas se mamografija koristi kao dijagnostička metoda i kao screening metoda. Omogućava nam rano otkrivanje i liječenje karcinoma dojke, s čim se pošteđuju pacijenti radikalnih kirurških zahvata, kao što je mastektomija. Isto tako, važno je naglasiti da mamografija, kao najbolja metoda za probir raka dojke koji je danas dostupan, ipak ne otkriva sve karcinome. Uvijek postoji mogućnost lažno pozitivnih i lažno negativnih rezultata (5,6).

1.2.2. Povijest mamografija

Povijest mamografije može se podijeliti u tri razdoblja evolucije. Prvo razdoblje započinje 1913. godine kada je dr. Albert Salomon, njemački kirurg napravio prvu mamografiju i traje do 1940.tih godina kada je urađena prva galaktografija dojki. Drugo razdoblje razvoja mamografije kreće od 1940.tih i traje do 1970.-tih godina. U tom razdoblju sve do 1950.godine za snimanje dojki koristila se klasična rendgenska cijev i dvoslojni film, a potom je Bross u Francuskoj počeo upotrebljavati posebnu cijev s anodom od molibdena, i uveo je kompresiju dojki tijekom snimanja. Treće razdoblje započinje 1970.tih godina i traje i danas. U tom razdoblju počinje upotreba jednoslojnih filmova, dolazi do usavršavanja same metode i uređaja, te uvođenja mamografija kao metoda probira za rano otkrivanje raka dojki (7).

Vrijednost mamografije je u diferencijalno dijagnostičkom potencijalu, odnosno razlikovanju različitih patoloških procesa unutar dojki. Danas, mamografija predstavlja neizostavnu metodu upravo u analizi patoloških promjena, a posebno raka dojke.

Daljnji razvoj mamografije leži u razvoju digitalne mamografije, tzv. tomosinteze, trodimenzionalne (3D) mamografije i sustava računalno potpomognute dijagnoze CAD (eng.*computer-aided diagnosis*) (7,8).

1.2.3. Uređaji za mamografiju i mamografske tehnike

Mamografski uređaji su specijalizirano konstruirani rendgenski aparati za snimanje dojki koji koriste zrake malih energija kojim dobijemo snimku unutarnjih struktura dojki. Krajnji cilj mamografije je prikaz slike velike prostorne razlučivosti i kontrast kako bi se detektirale i male promjene, dok su još klinički nezamjetne.

Mamografske uređaje dijelimo na:

- Klasične mamografske uređaje sa film- folijskim sustavom.

- Uređaj za mamografiju s digitalnom ciljanom mamografijom.
- Računalna mamografija sa sustavom digitalizacije s fosfornim pločama.
- Digitalni mamografski uređaji sa sustavom ravnih detektora.

Na svaki od ovih uređaja postoji mogućnost ugradnje dodatka za stereotaksijsku biopsiju dojke. (5)

Uređaj se sastoji od generatora koji omogućuje rad mamografskog aparata, specijalno konstruirane rendgenske cijevi koja proizvodi zrake malih energija koje iznose od 25-35 keV, te sustava za prijem slike koji se sastoji od kazete, film- folija sustav kod analognih uređaja, a fosforne ploče i ravni detektori kod digitalnih uređaja. Na stubnom nosaču se nalazi zakretni krak mamografskog uređaja unutar kojeg se nalazi rendgenska cijev s katodom i anodom, fokusom, prozorom rendgenske cijevi, filtrima od molibdena i rodija, kolimatorima i sustavom za određivanje udaljenosti (eng.*source to image distance*, SID), te uređaja za kompresiju, nosača receptora slike, unutar kojeg se nalazi ionizacijska komora za automatsko prekidanje ekspozicije. Uređaj je povezan s upravljačkom pločom, na kojoj se određuju uvjeti snimanja (kV, mAs, odabir filtera, odabir veličine fokusa) (9).

Generator

Generator mamomata je uređaj koji daje električnu energiju potrebnu za rad rendgenske cijevi i uređaja. U sklopu generatora nalazi se niskonaponski transformator koji pretvara struju gradske mreže u struju niskog napona i velike jakosti, potrebne za zagrijavanje spiralne niti katode. Kako bi elektroni dobili ubrzanje i došli u interakciju sa materijalom anode, potreban je visoki napon između katode i anode, što se postiže visokonaponskim transformatorom i ispravljačicama. Ispravljačice propuštaju struju gradske mreže samo u jednom smjeru, jer je za rad mamografskog uređaja potrebna jednosmjerna struja. Također, u sklopu generatora nalazi se i uređaj za automatsku regulaciju ekspozicije.

Građa rendgenske cijevi mamografskog uređaja

Kod mamografskih uređaja najvažnija je odgovarajuća konstrukcija rendgenskih cijevi. Danas se koriste uređaji koji mogu upotrebljavati tri vrste rendgenskih cijevi.

Prva vrsta su molibdenske cijevi koje koriste isti materijal filtara kao i materijal građe žarišta na anodi, koji je u ovom slučaju molibden (Mo). Time se iskoristio princip fizike gdje se filtracijom rendgenskih zraka istim materijalom kao što je građena anoda dobivaju karakteristične zrake za taj materijal. Kod ovih cijevi dobivaju se zrake malih energija, pogodne za snimanje dojki manjeg i

srednjeg volumena. Prozor rendgenske cijevi trebao je biti prilagođene građe tako da propušta rendgenske zrake manjih energija, te je građen od radiotransparentnog berilija.

U druge vrste cijevi mamografskog uređaja žarište anode građeno je od wolframa, a filtri od paladija ili rodija. Prozor ove rendgenske cijevi građen je od pireks stakla i pogodna je za snimanje dojki većeg volumena (6,9).

Treća vrsta rendgenske cijevi konstruirana je 1992.godine i predstavlja cijevi najnovije generacije. Ova vrsta rendgenskih cijevi ima dvostruku anodu tj. anodni žarišni prsten od dva različita materijala, te koristi filtre od istog materijala; molibden-molibden (Mo), rodij-rodij (Rh). Ova vrsta cijevi prilagođena je za snimanje dojki bez obzira na veličinu. Osim toga, doza zračenja je smanjena za 40% u odnosu na druge cijevi (9).

Kolimator

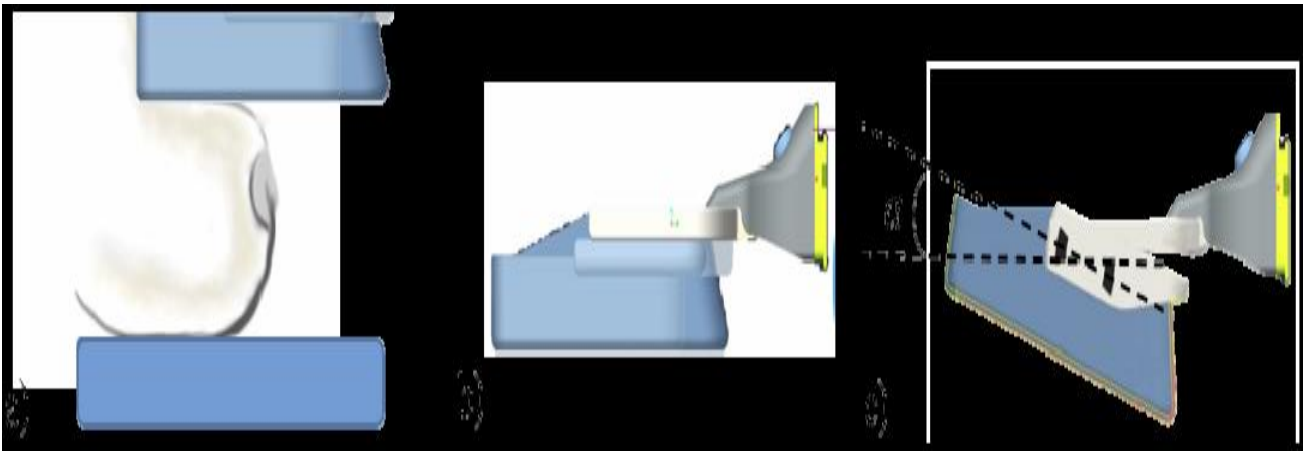
Korištenjem kolimatora snop rendgenskog zračenja se sužava kako bi bio u fokusu, i ograničava snop rendgenskog zračenja da pada na receptor slike, te time štiti pacijenta od nepotrebnog zračenja. Kolimator se sastoji od rotirajućeg diska sa filtrima od molibdena ili rodija, ovisno o vrsti cijevi. Također, dio kolimatora je i vanjska dijafragma ili zaslonska ploča, zrcalo i izvor svjetla te zaštita za lice pacijenta koje sprječava da glava pacijenta uđe u polje zračenja (6).

Sklop receptora slike

Sastoji se od baznih ploča na kojima su postavljeni klizni stolovi u koje se umeće kazeta s filmom, ili drugi receptor slike. Dimenzije kliznih stolova ovise o veličini dojki koje se snimaju, 18x24 cm ili 24x30cm. Na klizne stolove mogu se dodati i stol za makro snimke 18x24 s faktorom povećanja 1.8, te stereotaktički uređaj za biopsiju tkiva dojke. Na klizni stol su postavljene i oznake filma (Lcc, Rcc, Lml, Rml, Lmlo, Rmlo) što je bitno za oznaku strane tijela i smjera rendgenskog snopa (6).

Uređaj za kompresiju

Kompresijska ploča je tanka ploča pravokutnog oblika koja je građena najčešće od polikarbonata ili akrila (PMMA). Može biti fleksibilna ili kruta. Fleksibilna kompresijska ploča radi na principu da se komprimirana debljina grudi smanjuje linearno od stjenke prsnog koša do bradavice (10).



Slika 1. Prikaz kompresije dojke krutom i fleksibilnom kompresijskom pločom.

(Izvor: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1811/1811.09140.pdf>)

Kompresijom dojke postiže se

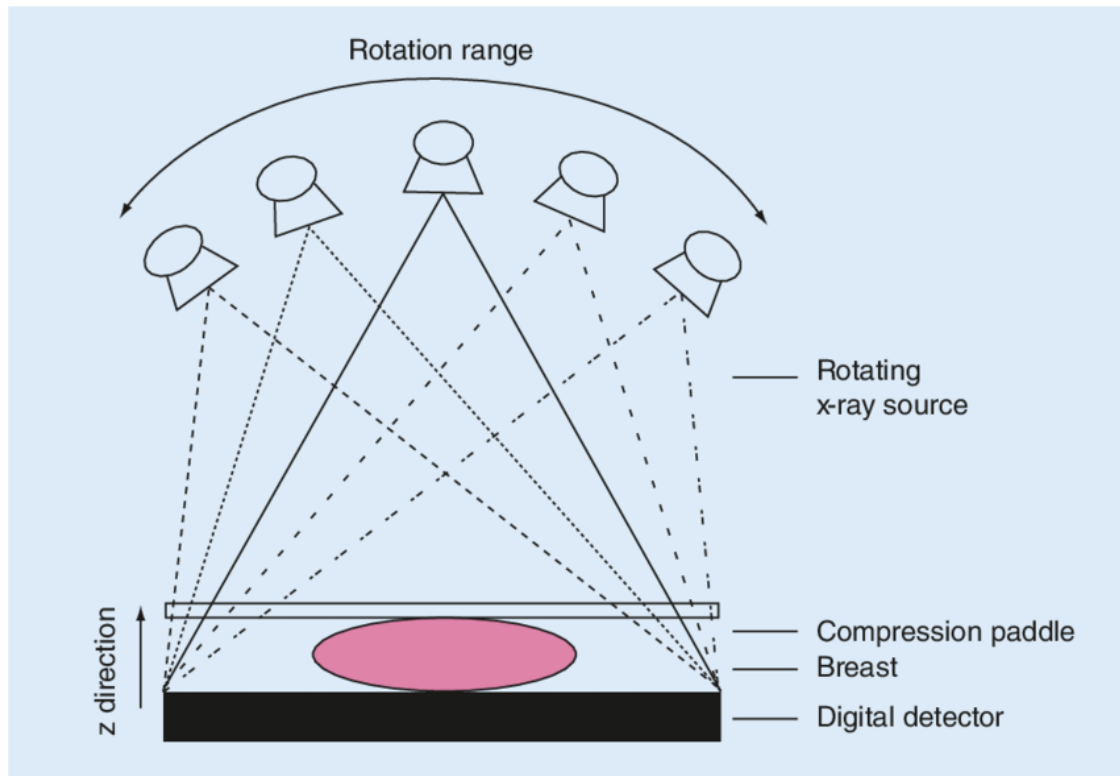
- Imobilizacija,
- Ograničenje nastanka artefakata uzrokovanih pomicanjem,
- Smanjenje debljine dojke čime se smanjuje raspršenje i čini debljinu dojke uniformnijom
- Kalcifikati se bolje uočavaju kad je dojka ravnomjerno komprimirana
- Ravnomjerni kontakt snimanog objekta čime se skraćuje ekspozicija i smanjuje se doza zračenja.

Dojku možemo komprimirati ručno, pomoći tipki ili nožnih sklopki te pomoću sustava automatske optimalne kompresije (OP COMP) koji određuje snagu kompresije za pojedinu dojku (10,11).

Tomosinteza – trodimenzionalna (3D) mamografija ili digitalna homosinteza dojke (DBT, eng. *digital breast tomosynthesis*)

Tomosinteza je poboljšani oblik snimanja dojki gdje se pomoću računalne rekonstrukcije dobiju slike dojki u tri dimenzije, dok je klasični mamogram dvodimenzionalni prikaz dojki. Tomosinteza dojki pomaže u ranom otkrivanju i dijagnosticiranju bolesti dojke U tomosintezi rendgenska cijev se kreće oko komprimirane dojke snimajući ju iz različitih kutova. Upravo pokretni

izvor rendgenskog zračenja koji se koristi kod tomosinteze predstavlja osnovnu razliku od konvencionalne mamografije. Tako nastale slike se računalno rekonstruiraju u skup trodimenzionalnih slika. Time se minimalizira preklapanje tkiva i samim tim daje bolji uvid u strukturu i promjene unutar dojki. Tomosinteza se može izvesti neovisno o mamografiji, ili kao dodatna pretraga (12,13).



Slika 2. Princip rada uređaja za tomosintezu (Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Typical-digital-breast-tomosynthesis-system-The-x-ray-source-rotates-around-the_fig1_269483791)

Kontrasna spektralna mamografija (eng. Contrast-enhanced spectral mammography (CESM))

Kao i kod ostalih kontrastnih metoda, kontrastna spektralna mamografija omogućava bolji uvid u rast i razvoj karcinoma, te stvaranju vlastitih krvnih žila koje omogućuju da aplicirano kontrastno sredstvo dospje do tumora. Time se povećava kontrast tumora u odnosu na okolno tkivo. Ova metoda kombinira jedno kontrastno sredstvo i konvencionalnu mamografiju kako bi se poboljšala dijagnostička točnost, posebno kod žena s gušćim parenhimskim tkivom (14). Nakon aplikacije kontrastnog sredstva pacijent dolazi do mamografskog uređaja i pozicionira se slično kao

i kod klasičnog mamografskog snimanja. Unutar 5 minuta snimaju se standardne karniokaudalne i mediolateralne kose projekcije obje dojke i dobivaju se slike niske i visoke energije. S obzirom da se koriste različite energije pri snimanju dobiva predznak spektralna (13,14).

2. PROTOKOL EUROPSKE KOMISIJE

Europske smjernice za osiguranje kvalitete u mamografiji

Da bi mamografski pregled bio uspješno obavljen, mamografske snimke moraju biti visokokvalitetne odnosno, moraju sadržavati dovoljno informacija koristeći pri tome onoliko male doze zračenja koliko je razumno moguće postići (ALARA). Za kvalitetne snimke potrebna je kvalitetna oprema, educirano osoblje i provođenje kontrole kvalitete na dnevnoj, tjednoj, mjesečnoj i godišnjoj razini. Osiguranje kvalitete (*quality assurance*) obuhvaća organizacijske, medicinske i tehničke čimbenike dok se kontrola kvalitete (*quality control*) bazira na fizikalne i tehničke elemente kako bi osigurala da medicinska oprema neprekidno radi na najvećoj razini kvalitete (1,15).

Dio programa Europske komisije pod nazivom „Europa Protiv raka“ (EAC, *Europe against cancer*) sadrži europski pristup mamografskom probiru da bi se mogli usporediti rezultati u svim centrima koji sudjeluju u programu mamografskog probira. Cilj smjernica je definiranje osnovnih postupaka pri provedbi testa, doze i mjerenja te njihove frekvencije. Smjernice Europske komisije predstavljaju minimalni standard za provedbu u zemljama koje su članice EU. S obzirom da su protokoli kontrole kvalitete specificirani nacionalnim i lokalnim programima osiguranja kvalitete mogući su dodatni postupci u nekim od programa. (15)

Europski protokol se sastoji od uputa za fizička, tehnička i dozna mjerenja kao i njihove frekvencije. Postoji i podjela mjerenja prema izvršiteljima pa tako ona mogu biti standardna mjerenja i komplicirana mjerenja. Standardna mjerenja mogu izvršavati radiološki tehnolozi dok kompliciranija mjerenja provode samo medicinski fizičari koji su iskusni i posebno educirani u kontroli kvalitete.

Najvažniji parametri koji se ispituju tijekom kontrole kvalitete su:

- Generator i sustav kontrole izlaganja,
- Bucky rešetka i receptor slike,
- Obrada filma (kod analogne mamografije),
- Obrada slike (kod digitalne mamografije),
- Značajke sustava i dozimetrija,
- Monitori i pisači (samo za digitalnu mamografiju),
- Uvjeti očitavanja.

Vrijednosti parametara određenog protokola mogu biti prihvatljive i granične. Granične vrijednosti su one vrijednosti koje je moguće doseći i prisutne su samo kad je dogovorena određena metoda

mjerenja i vrijednosti određenih parametara koji se mjere tom metodom. Prihvatljive vrijednosti su donje granice radne uspješnosti (15,16).

2.1. Nativna mamografija

Prema Europskom protokolu za kontrolu fizikalnih i tehničkih značajki mamografskog probira sva mjerenja provode se u standardnim uvjetima rada bez posebne prilagodbe opreme te su podijeljena u dva načina izlaganja; rutinsko i referentno izlaganje.

Referentno izlaganje pruža informacije o sustavu u posebno definiranim uvjetima bez obzira kakvi su klinički uvjeti, dok rutinsko izlaganje daje informacije o sustavu u kliničkim uvjetima. Preporuka je da se sva mjerenja provode na istoj kazeti kako ne bi bilo razlike između snimki i kazeta. Ovo pravilo ne vrijedi u slučaju da se testiraju pojedinačne kazete (15).

Učestalost mjerenja određena je u protokolu posebno za radiološke tehnologe i medicinske fizičare. Ako dobiveni rezultat nije u intervalima prihvatljive vrijednosti, mjerenje se treba ponoviti ili provesti dodatna mjerenja da se otkrije uzrok problema. Ako i tada rezultat ne bi bio prihvatljiv, problem odnosno neispravnost uređaja se prijavljuje nadležnoj osobi za kontrolu kvalitete.

Radiološki tehnolozi provode standardna mjerenja dok medicinski fizičari provode kompliciranija mjerenja. Ovisno o složenosti mjerenja koristi se standardna i dodatna oprema za izvođenje mjerenja.

Potrebna oprema za dnevna i tjedna mjerenja :

- Referentna kazeta
- PMMA ploče
- Standardni testni blok (45 mm PMMA)
- Testni objekt za kontrolu kvalitete
- Senzitometar
- Denzitometar
- Termometar.
- Dodatna oprema koja je potrebna za kompliciranija mjerenja (izvodi samo medicinski fizičar):
- Dozimetar
- kVp-metar
- Mjerač vremena izlaganja
- Svjetlometar
- Aluminijske ploče

- Testni objekt kontrole kvalitete
- Uređaj za testiranje žarišne točke s postoljem
- Štoperica
- Traka za mjerenje
- Uređaj za testiranje kontakta folije i filma
- Uređaj za testiranje sile kompresije
- Gumena pjena
- Aluminijski stepenasti klin
- Olovni lim (15).

2.1.1. Opis mjerenja

Pri provođenju apsolutnih mjerenja doza trebaju se primjenjivati pravilne korekcije temperature i tlaka zraka te koristiti ista kutija novih filmova za sva testiranja koja će se provoditi prema ovom protokolu.

Testovi za kontrolu kvalitete native mamografije po protokolu Europske komisije dijele se s obzirom na :

A) Generiranje zračenja

- Izvor zračenja (izvor, udaljenost izvora i filma, poravnavanje polja zračenja/nosačem kazete, propuštanje zračenja),
- Napon cijevi i kvaliteta zrake,
- AEC sustav (kontrolne postavke optičke gustoće, brojač za pohranjivanje podataka i sigurnosni prekid, kratkoročna reproduktivnost, dugoročna reproduktivnost, kompenzacija za debljinu objekta i napon cijevi, podudarnost AEC senzora),
- Kompresija (sila kompresije, poravnavanje kompresijskih ploča).

B) Bucky rešetka i receptor slike

- Rešetka za sprečavanje raspršivanja zračenja (faktor sustava rešetke, oslikavanje rešetke),
- Film (osjetljivost među kazetama, kontakt folije s filmom).

C) Obrada filma

- Referentne performanse obrade filma (verifikacija temperature i referentne vrijednosti, vrijeme obrade),
- Film i razvijач (senzimetrija, dnevni rad, artefakti),
- Tamna komora (propuštanje svjetlosti).

D) Uvjeti očitavanja

- Negatoskop (intenzitet svjetlosti, homogenost),
- Osvijetljenost okolnog prostora.

E) Značajke sustava

- Dozimetrija,
- Kvaliteta slike (prostorna rezolucija, kontrast slike, prag vidljivosti kontrasta, vrijeme izlaganja).

2.1.1.1. Generiranje zračenja

Kod testova koji se odnose na generiranje zračenja protokol nalaže da se testira izvor zračenja, napon cijevi i kvaliteta zrake, AEC sustav te kompresija.

- **IZVOR ZRAČENJA**

Veličina žarišne točke

Evaluiraju se prostorna rezolucija, odnosno određuju se fizičke dimenzije žarišne točke pri postavljanju ili u slučaju smanjenja rezolucije. Dimenzije žarišne točke dobiju se jednom od četiri metode mjerenja:

1. Metoda zvjezdastog uzorka (*star pattern method*) - za rutinsko testiranje; dimenzije žarišne točke procjenjuju se prema zamućenom promjeru na slici zvjezdastog uzorka.
Oprema: rezolucija zvjezdastog uzorka (kut prečke 1° ili 0.5°), i prihvatljivo testno postolje.
2. Metoda kamere s prorezom (*slit camera method*) - za testiranje prihvatljivosti; ovom metodom dobiju se točne dimenzije.
Oprema: kamera s prorezom $10\ \mu\text{m}$ uz prihvatljivo testno postolje i povećalom (uvećanja 5-10 puta) s ugrađenim retiklom s podjelama od 0.1 mm.
3. Metoda točkastog otvora (*pinhole camera method*) – za testiranje prihvatljivosti; ovom metodom se utvrđuje oblik. Zahtijeva veću ekspoziciju nego što je kod metode zvjezdastog uzorka.
Oprema: otvor promjera $30\ \mu\text{m}$ od legure zlata ili platine uz prihvatljivo testno postolje, povećalo (uvećanje 5 do 10 puta) s ugrađenim retiklom s podjelama od 0.1 mm.
4. Metoda s uzorkom s više točkastih otvora (*multipinhole test tool*) – za rutinsko testiranje te za testiranje prihvatljivosti; jednostavna metoda kojom se utvrđuje veličina žarišne točke u bilo

kojem položaju u polju zračenja, ali nije prikladna za mjerenje veličine fokusa zbog velikih otvora.

Oprema: uređaj s višestrukim otvorima.

Uvećanje rendgenske slike testnog uređaja nastaje korištenjem kazete bez folije za pojačavanje. Protokol preporuča da se postavi crni film OD ≥ 3 između folije i filma. (11)

Prema normi IEC/NEMA nominalna žarišna točka od 0.3 ograničena je na duljinu od 0.65 mm i širinu 0.45 mm, a nominalna žarišna točka od 0.4 ograničena je na duljinu od 0.85 mm i širinu od 0.60 mm. (15)

Granična prihvatljivost: nema, razlog tome je to što je mjerenje oslikavanja žarišne točke uključeno u granične vrijednosti za prostornu rezoluciju pri visokom kontrastu.

Učestalost: kada se promjeni rezolucija i kod testiranja prihvatljivosti.

Postupak

- Odabrati potrebnu veličina žarišne točke,
- Odabrati napon cijevi od 28 kV te naboj žarišne točke (mAs) da se dobije optička gustoća između 0.8 i 1.4 OD isključujući osnovu i zamućenje koje se mjeri u centralnom području slike,
- Uređaj mora biti oslikan u referentnom ROI ravnine slike (60 mm od torakalne stjenke, lateralno centriran),
- Ukloniti kompresijsku ploču,
- Staviti testno postolje kako bi uređaj za testiranje bio poduprt,
- Odabrati otprilike isti naboj žarišne točke (mAs) koji se koristi za dobivanje standardne slike 45 PMMA što treba rezultirati optičkom gustoćom slike zvjezdolikog uzorka raspona od 0.8 do 1.4. (15)

Udaljenost izvora i filma

Postupak A

- Izmjeriti udaljenost između oznake žarišne točke (na kućištu cijevi) i vrha Bucky rešetke,
- Dodati udaljenost između površine Bucky rešetke i vrha receptora filma.

Postupak B

- Za preciznije izračunavanje oslikava se objekt određenih dimenzija ($a \geq 10$ cm) koji je smješten na stolu za potporu dojke na udaljenost ($d \geq 20$ cm) iznad stola za potporu dojke,
- Izmjeriti dimenzije oslikanog objekta na prvoj slici (tada je objekt na stolu za potporu dojke),

- Izmjeriti dimenzije oslikanog objekta na drugoj slici (tada je objekt udaljen iznad stola za potporu dojke),
- Izračunati udaljenost izvora u filma f prema formuli:

$$f = d / a * (1 / p1 - 1 / p2) \text{ gdje je:}$$

f = udaljenost izvora i filma

d = udaljenost između objekta u poziciji 1 i 2

a = dimenzije oslikavanog objekta

p1 = veličina objekta na prvoj slici (objekt se nalazi na stolu za potporu dojke)

p2 = veličina objekta na drugoj slici (objekt se nalazi na udaljenosti iznad stola za potporu dojke).

Granična prihvatljivost: ovisno o specifikaciji proizvođača, između 600 do 650 mm.

Učestalost: prilikom testiranja prihvatljivosti, ako postoji mogućnost podešavanja filma i izvora onda se preporuča svakih šest mjeseci testirati.

Oprema: arbitrarni testni objekt i traka za mjerenje (15,16).

Poravnavanje polja zračenja

Postupak

- Postaviti jednu napunjenu kazetu u Bucky rešetku, a drugu na stol za potporu dojke (položiti drugu kazetu tako da je ona strana s emulzijom na suprotnoj strani folije),
- Druga kazeta mora bit 3 cm udaljena od torakalne stjenke pacijentice,
- Postave se dvije kovanice (apsorbent) na vrh kazete na mjesto gdje dođe torakalna stjenka,
- Postaviti film na negatoskop tako da oslikani apsorbenti predstavljaju referencu,
- Izmjeriti poravnanje polja zračenja i ruba Bucky rešetke gdje se nalazi torakalna stjenka pacijentice (15).



Slika 3. Test poravnavanja polja zračenja

(Izvor: <https://www.euref.org/european-guidelines/physico-technical-protocol>)

Granična prihvatljivost: sve strane zračenja moraju prekriti film za ne više od 5 mm izvan područja filma. Udaljenost između ruba filma (na strani torakalne stjenke) i ruba Bucky rešetke mora biti jednaka ili manja od 5mm.

Učestalost: godišnje.

Oprema: 2 napunjene kazete, apsorbenti zračenja (ravnalo, novčići, željezne kuglice.)

Propuštanje zračenja

Locira se mjesto propuštanja i mjeri se njegov intenzitet.

Postupak

- Postaviti olovnu ploču (kao barijeru za zračenje) preko ruba dijafragme tako da se ne emitira primarno zračenje,
- U kućište cijevi postaviti napunjene kazete i eksponirati maksimalnim naponom cijevi i visokim mAs (u nekoliko eksponiranja),
- Razviti filmove i označiti pretjerano propuštanje,
- Prikladnim detektorom kvantificirati količinu zračenja na „hot spots“ na udaljenosti od 50 mm od cijevi,
- Ispraviti očitavanja stope kerme u zraku mGy/h koja mora biti udaljena 1 m od žarišne točke pri maksimalnom izlaznom zračenju cijevi.

Granična prihvatljivost: ne više od 1 mGy u 1 satu i 1 m od fokusa pri maksimalnoj ocjeni cijevi prosječno u području veličine do 100cm² te prema lokalnim propisima.
Frekvencija: kod testiranja prihvatljivosti, prilikom intervencija na kućištu cijevi.
Oprema: dozimetar, prikladni detektor (15).

Izlaz cijevi

Mjeri se specifični izlaz cijevi ($\mu\text{Gy/mAs}$) i stopa izlaza (mGy/s). Koristi se ciljani filter molibden/molibden zajedno s 28 kVp na liniji koja prolazi kroz žarišnu točku i ROI. Treba se napraviti korekcija za udaljenost od žarišne točke do detektora i izračunati specifični izlaz na 1 metar i stopa izlaza na udaljenosti koja je jednaka udaljenosti žarišna točka-film.

Granična prihvatljivost: prihvatljivo $> 30\mu\text{Gy/mAs}$ na 1 metar, moguće postići $> 40 \mu\text{Gy/mAs}$ na 1 metar. Kod testiranja prihvatljivosti $>70\%$ vrijednosti za sve kombinacije cijevi/filtera.

Učestalost: svakih šest mjeseci i ukoliko se pojave problemi.

Oprema: dozimetar, uređaj za mjerenje vremena izlaganja (15,16).

• ***NAPON CIJEVI I KVALITETA ZRAKE***

Kvaliteta rendgenskog zračenja određuje se naponom cijevi, materijalom anode i filtracijom. U ovom poglavlju opisuje se način provjere napon cijevi te debljine polu-apsorpcije (ocjena kvalitete zrake). Ovaj protokol sastoji se od mjerenja reproduktivnosti i mjerenja preciznosti debljine polu-apsorpcije (HVL).

Mjerenje preciznosti i reproduktivnosti se postiže ponavljanjem izlaganja pri određenom naponu cijevi, a najčešće je to 28 kVp jer se toliki napon obično koristi u kliničkim uvjetima.

Granična prihvatljivost: za preciznost za raspon klinički korištenih napona cijevi $< \pm 1 \text{ kV}$, a za reproduktivnost $< \pm 0.5 \text{ kV}$.

Učestalost: svakih šest mjeseci.

Oprema: kVp-metar.

Mjerenje debljine poluapsorpcije (HVL) izvodi se na način da se doda tanki aluminijski filter zračenju pa se mjeri atenuacija.

Postupak

- Postaviti detektor izlaganja na vrh Bucky rešetke u referentno područje interesa (jer HVL ovisi o položaju),
- Postaviti uređaj za kompresiju na pola duljine između žarišta i detektora,
- Odabrati Mo/Mo kombinaciju meta/filter te napon cijevi 28kV i izložiti detektor kroz svaki filter.
- Za bolju preciznost od 2 % upotrijebiti dijafragmu postavljenu na kompresijsku papučicu koja u tom slučaju ograničava izlaganje na područje detektora (15,16,17).

Granična prihvatljivost: za 28kV Mo/Mo HVL mora iznositi preko 0.30 mm Al ekvivalenta i tipično iznosi <40 mm Al.

Učestalost: jednom godišnje.

Oprema: dozimetar, aluminijske ploče: 0.30, 0.40, 0.50, 0.60 mm.

- ***AEC SUSTAV***

AEC sustav svoju funkciju mjeri testiranjem ponovljivost/reproduktivnosti i preciznosti automatskog sustava kontrole optičke gustoće u promjenjivim uvjetima (promjenjiva debljina objekta i napon cijevi). Testiraju se kontrolne postavke optičke gustoće, brojač za pohranjivanje podataka i sigurnosni prekid, kratkoročna reproduktivnost, dugoročna reproduktivnost, kompenzacija za debljinu objekta i napon cijevi, podudarnost AEC senzora. Najvažnije preduvjet za navedena mjerenja je uporaba referentne kazete i stabilni razvijatelj filma.

Kontrolne postavke optičke gustoće

Varijacije srednje optičke gustoće nastaju zbog varijacija sustava pa se testira postavka središnje optičke gustoće (OD) i razlika prema koraku selektora kontrole OD. Da bi se potvrdila prilagodba kontrole OD trebaju se proizvesti izlaganja koja se koriste u kliničkim uvjetima AEC rada standardnog testnog objekta s promjenjivim postavkama selektora kontrole OD. Ciljana vrijednost srednje OD u referentnom ROI nalazi se u intervalu 1.4-1.9 ovisno o lokalnim postavkama.

Granična prihvatljivost: optička gustoća (zajedno s osnovom i zamućenjem) u kliničkim uvjetima u referentnom ROI treba ostati unutar ± 0.15 OD ciljne vrijednosti. Promjena do koje dolazi sa svakim korakom u kontroli optičke gustoće treba iznositi 0.10 OD. Veličine koraka unutar raspona 0.05 do

0.20 OD su prihvatljive. Prihvatljiva vrijednost za raspon obuhvaćen punom prilagodbom kontrole gustoće je >1.0 OD.

Učestalost: svakih šest mjeseci. Gustoću i mAs vrijednost za klinički korištene AEC postavke testirati dnevno.

Oprema: standardni testni blok i dezintometar (15,16).

Brojač za pohranjivanje podataka i sigurnosni prekid

AEC sustav u svojoj opremi treba sadržavati brojač za pohranu podataka ili sigurnosni prekid koji zaustavlja zračenje ako dođe do kvara AEC sustava. Ispitivač treba zabilježiti dobivenu mAs vrijednost pri kojoj sustav prekine izlaganje. To se najčešće događa kada se koristi veća debljina PMMA ploča.

Ovaj test se izvodi godišnje, a potrebnu opremu sačinjavaju PMMA ploče ili listovi olova koji prekrivaju detektor (15,16).

Kratkoročna reproduktivnost

Test za kratkoročnu reproduktivnost AEC sustava sastoji se od očitavanja mjerenja izlaganja za 10 rutinskih izlaganja 45 mm PMMA.

Postupak

- Postaviti dozimetar u rendgensko zračenje bez prekrivanja AEC detektora,
- Fantom 45 mm PMMA eksponirati 10 puta,
- Ukoliko se primijeti prebacivanje sustava između dva spektra treba osloboditi kompresijsku papučice te ponovno komprimirati ili nadodati još jednu ploču PMMA i ponoviti mjerenje.

Granična prihvatljivost: dopušteno odstupanje od srednje vrijednosti izlaganja $< \pm 5\%$, moguće postići $< \pm 2\%$.

Učestalost: svakih šest mjeseci.

Oprema: standardni testni blok 45 mm PMMA i dozimetar (15,16).

Dugoročna reproduktivnost

Dugoročna reproduktivnost AEC sustava ocjenjuje se mjerenjem optičke gustoće (OD) i punjenja cijevi (mAs) sa svakodnevne kontrole kvalitete. Mogući uzroci odstupanja lako se otkriju na način da se uspoređuju svakodnevni senzimetrijski podaci i punjenje cijevi.

Granična prihvatljivost: odstupanje od ciljne vrijednosti mora biti $< \pm 0.20$ OD (moguće je postići $< \pm 0.15$ OD).

Učestalost: dnevno.

Oprema: standardni testni blok ili testni objekt kontrole kvalitete, denzintometar.

Kompenzacija za debljinu objekta i napon cijevi

Postupak

- PMMA ploče debljina od 20 do 70 mm izložiti kliničkim postavkama AEC, Ako sustav ima samo poluautomatsku kontrolu izlaganja tada spektar treba povećavati ručno prema debljini PMMA- vidjeti tablicu na Slici 4.,
- Zabilježite spektar koji AEC odabere za svaku od debljina PMMA,
- Zabilježiti vrijednost pokazatelja debljine pri svim debljinama PMMA,
- Izmjeriti optičku gustoću u referentnom ROI.

Granična prihvatljivost: sve varijacije optičke gustoće moraju biti unutar ± 0.15 OD s obzirom na odabranu ciljnu optičku gustoću. Moguće je postići ± 0.10 OD. Tipični spektar za svaku PMMA debljinu nalazi se u tablici 2 Vrijednost pokazatelja debljine mora iznositi ± 0.5 cm debljine PMMA ploča.

Učestalost: svakih šest mjeseci izvodi se puni test. Svaki tjedan 20, 45, 65 mm PMMA izložene kao u kliničkim postavkama.

Oprema: PMMA ploče dimenzija 10x180x240 mm³ i dezintometar (15,16).

Debljina PPMA (cm)	Spektar			
	Mo-Mo	Mo-Rh	Rh-Rh	W-Rh
2	25, 26 kV			
3	25-27 kV			
4	26-28 kV	26,27 kV		
5	27-29 kV	26, 27 kV		
6	28-30 kV	27-30 kV	27-30 kV	
7	30, 31 kV	29-31 kV	29-31 kV	27-29 kV

Slika 4. Tablica za tipične spektre prema debljini PPMA

(Izvor: https://www.hzjz.hr/wp-content/uploads/2013/11/Prijevod_eu_smjernica_rak_dojka.pdf)

Podudarnost AEC senzora

Ovaj test izvodi se kod mamografskih sustava koji imaju nekoliko nezavisnih AEC senzora. Pomoću različitih senzora kontrolira se odgovara li optička gustoća odrađenih snimki i odabire li sustav pravi senzor.

Postupak

- Napraviti snimku homogene 45 mm PMMA ploče koristeći svaki senzor,
- Odabrati senzore ručno,
- Izmjeriti optičku gustoću za položaj senzora koji je točno korišten za određenu snimku,
- Za odabir „pravog” senzora postaviti iznad AEC senzora dodatni atenuacijski materijal kao što su npr. dva ili tri lista aluminijski koji se koristi za mjerenje HVL-a,
- Navoditi se oznakama na papučici za kompresiju,
- Pokriti cijeli senzor, a ostali senzori su otkriveni,
- Sustav će automatski odabrati onaj senzor na kojem se nalazi atenuacijski materijal,
- Ukoliko sustav odabere neki drugi senzor treba povećati količinu atenuacijskog materijala,
- Ovaj postupak napraviti za sve položaje senzora.

Granična prihvatljivost: mora biti odabran točan senzor, a varijacija optičke gustoće među AEC senzorima treba biti unutar 0.20 OD.

Učestalost: svakih šest mjeseci.

Oprema: standardni testni blok i dezintometar (15,16).

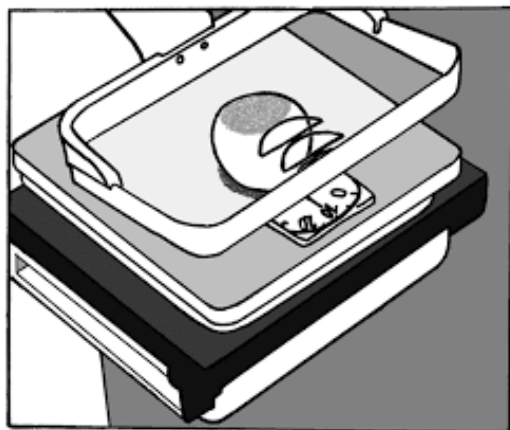
- **KOMPRESIJA**

Sila kompresije

Sila kompresije mjeri se testnim uređajem ili osobnom vagom (s dodatkom loptice za tenis ili materijala kojim se može zaštititi uređaj za kompresiju).

Ovim testom provjerava se:

- Moguća puknuća kompresijske ploče,
- Oštri rubovi,
- Da li brojka prikazana na konzoli odgovara izmjerenoj vrijednosti na vagi,
- Da li je sila kompresije zadržana tijekom 1 minute (gubitak sile tijekom jedne minute moguć je zbog propuštanja pneumatskog sustava).



Slika 5. Princip mjerenja sile kompresije

(Izvor: <https://www.euref.org/european-guidelines/physico-technical-protocol>)

Granična prihvatljivost: Maksimalna primijenjena sila: 130 – 200 N odnosno, otprilike 13 do 20 kg s obaveznom nepromijenjenim održavanjem tijekom jedne minute. Prikazana sila kompresije treba biti unutar ± 20 N mjerene vrijednosti. Uređaj za kompresiju ne smije biti napuknuta ili imati oštre rubove.

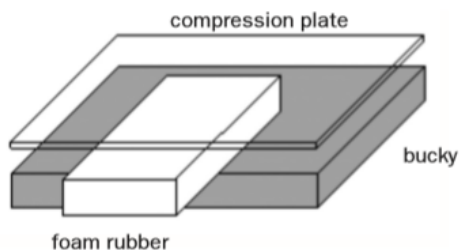
Učestalost: jednom godišnje.

Oprema: uređaj za testiranje sile kompresije ili vaga i loptica za tenis (15,16).

Poravnavanje kompresijskih ploča

Postupak

- Postaviti komad gumene pjene na Bucky rešetku,
- Komprimirati koristeći maksimalnu silu kompresije,
- Izmeriti udaljenost između površine Bucky rešetke i uređaja za kompresiju na svakom kutu.



Slika 6. Princip testa za ispitivanje poravnavanja kompresijske ploče

(Izvor: <https://www.euref.org/european-guidelines/physico-technical-protocol>)

Granična prihvatljivost: minimalno odstupanje je dopušteno, razlika između izmjerenih udaljenosti na lijevoj i desnoj strani kompresijske ploče mora biti ≤ 5 mm za simetrično opterećenje.

Učestalost: jednom godišnje.

Oprema: gumena pjena specifične mase oko 30 mg/cm^3 i traka za mjerenje (10,15,16).

2.1.1.2. Bucky rešetka i receptor slike

Kod testova koji se odnose na Bucky rešetku i receptor slike protokol nalaže da se testira rešetka za sprječavanje raspršivanja zračenja, receptor slike odnosno odnos kazete, filma i folije. Također, protokol naglašava važnost provjere svake Bucky rešetke i svakog receptora slike ukoliko sustav sadrži više od jedne rešetke i više od jednog receptora slike.

- **REŠETKA ZA SPRJEČAVANJE RASPRŠIVANJA ZRAČENJA**

Rešetka se sastoji od olovnih traka i međuprostora od materijala niske gustoće koji je dizajniran za apsorpciju raspršenih fotona. Sustav rešetke čine rešetka, držač kazete, stol za potporu dojke i mehanizam za pomicanje rešetke.

2a.2.2.1.1 Faktor sustava rešetke

	Izloženost [mGy]	Punjenje cijevi [mAs]	Gustoća [OD]
Prisutno:	_____	_____	_____
Odsutno:	_____	_____	_____
Faktor sustava rešetke:	_____		

Prihvaćeno: da/ne

2a.2.2.1.2 Oslikavanje rešetke

Učinjena dodatna oslikavanja rešetke:

#	Dodan PMMA	Opis artefakata
1.	da/ne	_____
2.	da/ne	_____
3.	da/ne	_____

Prihvaćeno: da/ne

Slika 7. Obrazac izvještaja o provedenoj kontroli rešetke za sprječavanje raspršivanja zračenja
(Izvor: https://www.hzjz.hr/wp-content/uploads/2013/11/Prijevod_eu_smjernica_rak_dojka.pdf)

Faktor sustava rešetke

Utvrđuje se mjerenjem doza.

Postupak

- Napraviti 2 snimke – prvu koristeći sustav rešetke, drugu bez rešetke,
- Koristiti AEC za dobivanje slika s otprilike referentnom optičkom gustoćom,
- Prva snimka: postaviti kazetu i Bucky rešetku te PMMA na vrh Bucky rešetke,
- Eksponirati,
- Druga snimka: staviti kazetu na vrh Bucky rešetke te PMMA na vrh kazete,
- Eksponirati,
- Faktor sustava rešetke izračuna se dijeljenjem očitavanja dozimetara s primjenom korekcije za zakon obrnutog kvadrata i optičke razlike.

Granična prihvatljivost: manja od 3.

Frekvencija: kod testiranja prihvatljivosti i kada dođe do naglog povećanja doze ili vremena izlaganja.

Oprema: dozimetar, standardni testni blok i denzintometa (15,16).

Oslikavanje rešetke

Test oslikavanja rešetke koristi se za procjenu homogenosti mreže kada se sumnja na oštećenje rešetke ili kada se traži uzrok određenih artefakata.

Postupak se sastoji od izlaganja Bucky rešetke nanižem stupnju AEC selektora. Ne koristi se PMMA.

Granična prihvatljivost: ne postoji značajna neujednačenost.

Učestalost: jednom godišnje.

Oprema: nepotrebna (15,16).

- **FILM**

Receptor slike analogne mamografije čine kazeta s jednoslojnom fotoosjetljivom folijom koja je u izravnom kontaktu s jednoslojnim filmom.

Osjetljivost između kazeta i varijacija atenuacije i raspon optičke gustoće

Razlika između kazeta ocjenjuje se referentnim izlaganjem.

Postupak

- Odabrati AEC postavke da se dobije snimak čiji će razvijeni film imati otprilike kliničku optičku gustoću te eksponirati,
- Ponoviti iste uvjete ekspozicije za svaku kazetu.

Granična prihvatljivost: Izloženost, u smislu mGy (ili mA*s), mora biti unutar $\pm 5\%$ srednje vrijednosti za sve kazete. Maksimalna razlika optičke gustoće kod svih kazeta: ± 0.10 OD je prihvatljiva, ± 0.08 OD je moguće postići.

Učestalost: godišnje, i nakon postavljanja novih ekrana.

Oprema: standardni testni objekt, dozimetar, dezintometar (15,16).

Kontakt folije s filmom

Postupak

- Očistiti unutrašnjost kazete,
- Pričekati 5 minuta kako bi izašao zrak između folije i filma,
- Postaviti uređaj za testiranje kontakta u mamografiji ne vrh kazete,
- Eksponirati (bez rešetke) kako bi se dobio film prosječne optičke gustoće 2 OD u referentnom ROI.

Granična prihvatljivost: Područja slabijeg kontakta budu zamućena i na slici se prikazu kao tamne točke. Ako se opet pojave točke nakon sljedećeg čišćenja i ponovljenog testiranja tada tu kazetu treba odbaciti.

Učestalost: svakih šest mjeseci i nakon postavljanja novih folija.

Oprema: uređaj za testiranje kontakta folija i filma u mamografiji (oko 40 metalnih žica), dezintometar i negatoskop (15,16).

2.1.1.3. Obrada filma

Kod testova koji se odnose na obradu filma ovaj protokol nalaže da se testiraju referentne performanse obrade filma (verifikacija temperature i vrijeme obrade), film i razvijlač (senzimetrija svjetla, dnevni rad razvijlača, artefakti) i propuštanje svjetlosti tamne komore.

Verifikacija temperature i referentne vrijednosti

Temperatura razvijača i fiksatora mjere se kako bi se postavila referentna vrijednost performansi automatskog procesora. Temperatura se mjeri u fiksnom trenutku prema preporuci proizvođača uređaja. Dobivena vrijednost služi za usporedbu kada sumnjamo da je došlo do kvara.

Granična prihvatljivost: prema preporukama proizvođača.

Učestalost: svakih šest mjeseci.

Oprema: elektronski termometar (15,16).

Vrijeme obrade

Postupak

- Umetnuti film u razvijač i započeti mjerenje štopericom u trenutku kada razvijač daje signal,
- Kada je cijeli film stavljen u obradu zaustaviti mjerenje,
- Ako postoji sumnja na kvar razvijača treba napraviti ovakvo mjerenje pa usporediti s prvim, odnosno, referentnim mjerenjem.

Granična prihvatljivost: prema s preporukama proizvođača.

Učestalost: kod testiranja prihvatljivosti i kada se pojave problemi.

Oprema: štoperica (15,16).

• ***FIM I RAZVIJAČ***

Metoda mjerenja performansi razvijača jest senzimetrija svjetla. Protokol napominje da se na obrađenoj slici ne bi trebali nalaziti artefakti razvijača.

Senzimetrija

Postupak

- Strana filma koja će se izložiti zračenju prvo se umetne u razvijač,
- Koristeći senzimetar izložiti film svjetlosti,
- Napraviti vizualnu usporedbu s referentnom trakom kako bi se isključila pogreška procedure (npr. izlaganje drugom bojom svjetlosti ili izlaganje osnove filma umjesto strane filma s emulzijom),
- Izmjeriti optičke gustoće stepenastog klina,

- Iz karakteristične krivulje (graf mjerene optičke gustoće pri logaritmu izloženosti svjetlu) derivirati vrijednosti osnove i zamućenja te maksimalne gustoće brzine i gradijenda filma, Protokol napominje da nema jasnog dokaza za optimalnu vrijednost gradijenta filma jer su navedeni rasponi zasnovani na trenutnoj tipičnoj praksi i ovise o filmu koji se koristi (15,16).

Granična prihvatljivost: za osnovu i zamućenje iznosi 0.15 - 0.25 OD, a za kontrast iznosi MGrad od 3.0.- 4.0 , a za Grad₁₋₂ od 3.5 – 5.0.

Učestalost: dnevno.

Oprema: senzitometar i denzitometar.

Dnevni rad razvijača

Dnevni rad razvijača ocjenjuje se senzitometrijom.

Postupak

- Nakon jednog sata korištenja razvijača odraditi senzitometriju (postupak opisan u prethodnom podnaslovu),

Tijekom jednog mjeseca može se izračunati varijabilnost parametara.

Ocjena varijabilnosti parametara napravi se korištenjem tablice u kojoj se vrijednosti iskazuju u rasponu (maksimalna – minimalna vrijednost). Prihvatljiva vrijednost i raspon koji je moguće postići naveden je u tablici na Slici 8. Ustanovama koje nemaju uvjete za izračun brzine i gradijenda filma (MGrad i Grad₁₂) dani su indeksi brzine i kontrasta.

Ocjena varijacija	prihvatljivo	moguće postići
osnova i zamućenje	< 0.03	< 0.02 OD
brzina	< 0.05	< 0.03
prosječni gradijent (MGrad)	< 10% referentne vrijednosti	< 5% referentne vrijednosti
srednji gradijent (Grad _{1,2})	< 0.40	< 0.20
indeks brzine	< 0.30	< 0.20 OD
indeks kontrasta	< 0.30	< 0.20 OD

Slika 8. Tablica prihvatljivosti i mogućih postignuća dnevnih performansi razvijača.

(Izvor: https://www.hzjz.hr/wp-content/uploads/2013/11/Prijevod_eu_smjernica_rak_dojka.pdf)

Granična prihvatljivost: tablica.

Učestalost: dnevno ili kod pojave kvara.

Oprema: senzitometar i denzitometar (15,16).

Artefakti

Svakodnevnu snimku standardnog testnog bloka dobivenu rutinskim izlaganjem treba detaljno pregledati. Ova snimka treba bit homogena gustoće bez značajnih oštećenja (moguće ogrebotine), sjena ili drugih znakova da su prisutni artefakti.

Granična prihvatljivost: ne smije biti artefakata.

Učestalost: dnevno.

Oprema: standardni testni blok ili PMMA ploče ukupne debljine 4-6 cm i polje veličine 18 x 24 cm, negatoskop.

- **TAMNA KOMORA**

Europska komisija preporuča provođenje testa koji ocjenjuje nepropusnost svjetla tamne komore. Naime, prema dobivenim prijavama, pola tamnih komora smatraju se neprihvatljivima najčešće zbog dodatnih zamućenja uzrokovanih sigurnosnim svjetlima.

Propuštanje svjetlosti

Postupak

- Ostati u tamnoj komori najmanje 5 minuta pod uvjetom da su sva svjetla ugašena uključujući i sigurnosna svjetla,
- Uvjeriti se da su susjedne prostorije u potpunosti osvijetljene,
- Provjeriti sve površine koje bi mogle propuštati svjetlost,
- Za mjerenje dodatnog zamućenja (koje može nastati zbog bilo kakvog propuštanja svjetlosti ili drugih izvora svjetla) potreban je prethodno izložen film optičke gustoće otprilike 1.2 OD. Ovaj film dobije se referentnim izlaganjem homogenog PMMA bloka,
- Otvoriti kazetu s prethodno eksponiranim filmom i staviti taj film (emulzija prema gore) na radni stol,
- Pokriti polovicu filma i izložiti ju 2 minute,
- Postaviti pokrivalo filma paralelno s osi cijevi da se izbjegne „Heel effect” prilikom mjerenja,
- Izmjeriti razliku optičke gustoće pozadine D_{bg} i područja zamućenja D_{fogged} kako bi se dobila vrijednost dodatnog zamućenja ΔD .

Granična prihvatljivost: ΔD mora biti jednak ili manji od 0.02 OD u dvije minute.

Učestalost: jednom godišnje i prilikom promjene okoliša tamne sobe.

Oprema: pokrivalo za film i denzitometar (15,16).

2.1.1.4 Uvjeti očitavanja

Kod testova koji se odnose na uvjete očitavanja protokol nalaže da se provode testovi za negatoskop (intenzitet svjetlosti, homogenost negatoskopa) te test koji se odnosi na osvjetljenost okolnog prostora.

Optimizacija uvjeta očitavanja važna je za ispravnu interpretaciju mamografskih snimki. Razina okolnog osvjetljenja te snažno osvijetljeni negatoskopi imaju najveću ulogu za kvalitetne uvjete očitavanja. Fotometrijska mjerenja čine mjerenje intenziteta svjetlosti negatoskopa (količina svjetla koju emitira površina – candela/m²) i mjerenje osvjetljenosti (količina svjetla koja pada na površinu – lumen/m²).

- ***NEGATOSKOP***

Intenzitet svjetlosti

Provode se mjerenja intenziteta svjetlosti u centru svakog panoa negatoskopa koristeći mjerač intenziteta svjetlosti (cd/m²).

Granična prihvatljivost: 3000-6000 cd/m², a devijacija intenziteta svjetlosti između centara svih panoa negatoskopa mora biti manja od $\pm 15\%$ prosječne vrijednosti svih panoa.

Učestalost: jednom godišnje.

Oprema: mjerač intenziteta svjetlosti.

Homogenost

Homogenost negatoskopa mjeri se usporedbom višestrukih očitavanja intenziteta svjetlosti nad površinom osvjetljenja s intenzitetom svjetlosti u središtu pano. Protokol naglašava nepodudarnost negatoskopa i uvjeta očitavanja koje koriste radiolozi od onih koje koriste radiološki tehnolozi. Također, preporuča se redovito čišćenje negatoskopa iznutra i izvana kako bi se izbjegla nehomogenost.

Granična prihvatljivost: intenzitet svjetlosti svakog panoa mora obuhvaćati 30 % intenziteta svjetlosti u centru panoa.

Učestalost: jednom godišnje.

Oprema: mjerač intenziteta svjetlosti (15,16).

- **OSVIJETLJENOST OKOLNOG PROSTORA**

Kod mjerenja osvijetljenosti negatoskop treba biti isključen.

Usmjeriti detektor prema području očitavanja pa ga rotirati udaljavajući se od površine očitavanja.

Dobivena vrijednost jest nivo svjetlosti okolnog prostora i izražava se luxima.

Granična prihvatljivost: nivo osvijetljenosti mora biti manji od 50 luxa.

Učestalost: jednom godišnje.

Oprema: mjerač osvijetljenosti (15,16).

2.1.1.5. Značajke sustava

Kod testova koji se odnose na značajke sustava protokol nalaže da se provedu testovi koji se odnose na dozimetriju, kvalitetu slike (prostorna i kontrastna rezolucija, prag vidljivosti kontrasta, vrijeme izlaganja)

- **DOZIMETRIJA**

Postupak

- Oslikati PMMA ploče debljine 20 mm koristeći kliničke uvjete te zabilježiti ulaz površinske kerme u zraku i faktore izlaganja odabrane AEC-om,
- Ponoviti mjerenja za 30, 40, 45, 50, 60 i 70 mm PMMA ploče,
- Izračunati prosječnu glanduralnu dozu za dojku koja je ekvivalentna debljini svake PMMA ploče.

Granična prihvatljivost: Maksimalna prosječna glanduralna doza određuje se debljinom PMMA prema tablici sa Slike 9:

Učestalost: svakih šest mjeseci.

Oprema: dozimetar, standardni testni blok i denzitometar(16)

Thickness of PMMA	Equivalent breast thickness	Maximum average glandular dose to equivalent breasts	
		acceptable level	achievable level
[cm]	[cm]	[mGy]	[mGy]
2.0	2.1	< 1.0	< 0.6
3.0	3.2	< 1.5	< 1.0
4.0	4.5	< 2.0	< 1.6
4.5	5.3	< 2.5	< 2.0
5.0	6.0	< 3.0	< 2.4
6.0	7.5	< 4.5	< 3.6
7.0	9.0	< 6.5	< 5.1

Slika 9. Granična vrijednost za maksimalnu prosječnu glandularnu dozu za dojku ekvivalentne debljine

(Izvor: <https://www.euref.org/european-guidelines/physico-technical-protocol>)

- ***KVALITETA SLIKE***

Kvalitetan informacijski sadržaj slike prikazuje se krivuljom kontrast-detalj. Kvalitetna slika dokazuje se mjerenjem rezolucije, vidljivosti kontrasta, praga kontrasta i vremena izlaganja.

Prostorna rezolucija

Prostorna rezolucija mjeri se oslikavanjem dva stupićasta olovna uzorka koji sadrže do 20 linijskih parova po milimetru.

Postupak

- Olovni uzorak smjestiti na vrh PMMA bloka debljine 45mm,
- Oslikati olovne uzorke u referentnom ROI postavljene okomito i vodoravno na os cijevi,
- Odrediti prostornu rezoluciju.

Granična prihvatljivost: vrijednost mora biti veća od 12 lp/mm.

Učestalost: svaki tjedan.

Oprema: PMMA ploče veličine 18 x 24 cm, predlošci za mjerenje rezolucije do 20 linijskih parova po milimetru i denzitometar.

Kontrast slike

Mjerenjem kontrasta slike može se otkriti niz grešaka sustava .

Postupak

- Napraviti referentno izlaganje aluminijskog ili PMMA stepenastog klina,
- Izmjeriti optičku gustoću za svaku stepenicu klina,
- Nacrtati graf očitavanja svake stepenice prema broju stepenice.

Graf daje približan dojam kontrasta, ali s obzirom da graf sadržava uvjete obrade, krivulju filma treba isključiti da se pronađe kontrast zračenja.

Grafična prihvatljivost: nije navedena.

Oprema: PMMA ili aluminijski stepenasti klin (15,16).

Prag vidljivosti kontrasta

Test praga vidljivosti kontrasta može biti opsežan i jednostavan tjedni test. Opsežni test određuje se za kružne detalje promjera 0.1 do 2 mm.

Postupak (opsežni test)

- Kružne detalje postaviti na visinu od 20 do 25 mm iznad stola za potporu dojke,
- Kružni detalji se snimaju na pozadinskom objektu ekvivalentne debljine do 50 mm PMMA,
- Postaviti kliničke uvjete izlaganja (28 kV, Mo filter),
- Dva filma eksponirati čiji minimalni kontrast određuju tri iskusna promatrača.
- Jednostavni tjedni test daje indicaciju najniže uočljivog kontrasta kod velikih objekata čiji je promjer veći od 5 mm. Rezultat ovisi o šumu i prosječnoj optičkoj gustoći slike.

Grafična prihvatljivost: opsežan test daje referentne rezultate. Tjedni test nalaže da najmanji uočljivi kontrast za detalje veličine 5 do 6 mm mora biti manje 1.5 %.

Učestalost: jednom godišnje provodi se opsežni test, a svaki tjedan jednostavni test.

Oprema: testni objekt detalja niskog kontrasta i PMMA ploče debljine do 45mm te denzitometar.

Vrijeme izlaganja

Vrijeme izlaganja mjeri se kVp -metrom i mjeračem izlaza. Kada postoji dugo vrijeme izlaganja može nastati neoštra slika zbog pomicanja. Mjeri se vrijeme izlaganja u rutinskim uvjetima.

Granična prihvatljivost: prihvaća se vrijeme kraće od 2 sekunde, a moguće je postići manje od 1.5 sekunde.

Učestalost: jednom godišnje ili po potrebi kada se pojave problemi.

Oprema: uređaj za mjerenje vremena izlaganja i standardi testni blok.

2.1.2. Dnevni i tjedni testovi kontrole kvalitete - praktični savjeti Europske komisije

Za dnevne i tjedne testove najpraktičnije je odabrati jedan testni objekt ili set testnih objekata za kontrolu kvalitete kojim bi se mjerile osnovne fizičke veličine odnosno, na tjednoj ili dnevnoj razini bi se svakako trebalo provjeravati AEC reproduktivnost, stabilnost izlaza cijevi, referentna optička gustoća, prostorna rezolucija, prag vidljivog kontrasta, homogenost artefakte i senzimetriju. (15,16)

Protokol Europske komisije daje nekoliko praktičnih savjeta kao bi se izbjegle greške, odnosno velika odstupanja od referentnih vrijednosti testova. Tako, na primjer, europski protokol savjetuje korištenje istih PMMA blokova prilikom testiranja AEC reproduktivnosti. Razlog tome je što varijacije debljine PMMA ploča utječu na očitavanje punjena cijevi, odnosno mijenjanjem ploča dobivat će se veće razlike u vrijednosti mAs. Također, protokol naglašava važnost raspolaganja dovoljnim brojem blokova (10 mm i 20 mm) kako bi se simulirao raspon debljine dojke u kliničkim uvjetima, odnosno da PMMA pločama možemo imitirati debljinu od 20 mm do 70 mm.

Za dobru provjeru homogenosti nije bitan oblik testnog objekta već da testni objekt prekrije oslikano područje na receptoru slike što bi značilo da se koristi receptor dimenzije 180x240 mm. Protokol savjetuje korištenje testnog objekta koji je dizajniran tako da se može postaviti na Bucky rešetku kako bi ga bilo moguće reproducirati. Na ovaj način bi se poboljšala preciznost dnevnih mjerenja.

Za optimalno korigiranje senzimetrijskog stepenastog klina protokol savjetuje postavljanje stepenastog klina s iste strane filma kao što je i slika testnog objekta. Ova praktična napomena odnosi se na korekciju klina s obzirom na uvjete obrade (15).

2.1.3. Tablice učestalosti i graničnih vrijednosti kontrole kvalitete analognih mamografskih sustava propisane od Europske komisije

Tablica 1 Učestalost kontrole kvalitete, mjerenja i granične vrijednosti ispitivanja

2a.2.1 generiranje zračenja i kontrola	učestalost	tipična vrijednost	granična vrijednost		mjerna jedinica
			prihvatljivo	moguće postići	
Izvor zračenja					
- veličina žarišne točke	i	0.3	IEC/NEMA	-	-
- udaljenost izvora i slike	i	≥ 600	-	-	mm
- poravnanje polja zračenja/receptora slike	12	-	< 5	< 5	mm
- rub filma/Bucky rešetke	12	-	≤ 5	≤ 5	mm
- propuštanje zračenja	i	-	< 1	< 1	mGy/hr
* ishod	6	-	> 30%	> 40	mGy/mAs
>70% referentne vrijednosti					
Napon cijevi					
- reproduktivnost	6	-	< ± 0.5	< ± 0.5	kV
- preciznost (25-31 kV)	6	-	< ± 1.0	< ± 1.0	kV
- HVL	12	-	vidi dodatak 5 tablicu A5.3	vidi dodatak 5 tablicu A5.3	
AEC					
* kontrolne postavke centralne opt. gustoće	6	-	< ± 0.5 ciljne vrijednosti	-	OD
- kontrolne postavke ciljne opt. gustoće	6	-	1.4 -1.9		OD
- opt. gustoća kontrolni korak	6	-	0.05 - 0.20	0.05. - 0.10	OD
- prilagodljiv raspon	6	-	> 1.0	> 1.0	OD
* kratkoročna reproduktivnost	6	-	< ± 5%	< ± 2%	mGy
* dugoročna reproduktivnost	d	-	< ± 0.20	< ± 0.15	OD
- kompenzacija za debljinu objekta	w	-	< ± 0.15	< ± 0.10	OD
i napon cijevi	6	-	< ± 0.15	< ± 0.10	OD
- spektri	6	vidi dodatak 4			
- podudarnost AEC senzora	6	-	< 0.20		OD
kompresija					
- sila kompresije	12	-	130 – 200	-	N
- održavanje sile 1 minutu	12	-	1	1	min
- pokazatelj sile kompresije	12	-	< ± 20	< ± 20	N
- poravnanje kompresijskih ploča, simetričnost	12	-	< 5	< 5	min
2a.2.2 Bucky rešetka i receptor slike					
rešetka za sprečavanje raspršivanja zračenja	i	< 3	-	-	-
* faktor sustava rešetke					
Film					
* varijacija osjetljivosti među kazetama (mAs)	12	-	< ± 5%	< ± 5%	mGy
* varijacija osjetljivosti među kazetama (OD raspon)	12	-	< ± 0.10	< ± 0.08	OD
- kontakt folije i filma	12	-	nema značajnih područja lošeg kontakta	-	-

2a.2.3 obrada filma	učestalost	tipična vrijednost	granična vrijednost		mjerna jedinica
			prihvatljivo	moguće postići	
razvijatelj					
- temperatura	i	34-36	-	-	°C
- vrijeme obrade	i	90-120	-	-	s
film					
- senzitometrija: osnova i zamucenje	d	0.15 – 0.25 ¹	-	-	OD
brzina	d	-	-	-	-
kontrast Mgrad:	d	3.0 – 4.0 ²	-	-	-
Grad _{1,2}	d	3.5 – 5.0	-	-	-
- dnevne performanse	d	-	vidi 2a.2.3.2	vidi 2a.2.3.2	-
- artefakti	d	-	bez uznemirujućih artefakata	-	-
tamna komora					
- propuštanje svjetlosti (dodatno zamucenje kroz 2 minute)	12	-	≤ + 0.02	≤ + 0.02	OD
- sigurnosna svjetla (dodatno zamucenje kroz 2 minute)	12	-	≤ + 0.10	≤ + 0.10	OD
2a.2.4 Uvjeti očitavanja					
negatoskop					
- jačina svjetlosti	12	-	3000 – 6000	3000 – 6000	cd/m ²
- homogenost	12	-	< ± 30%	< ± 30%	cd/m ²
- razlika jačine svjetlosti među panoima	12	-	< ± 15%	< ± 15%	cd/m ²
okolina					
- razina osvijetljenja okolnog prostora	12	-	< 50	< 50	lux
2a.2.5 Značajke sustava					
dozimetrija					
* glandularna doza	6				
- PMMA debljina					
2.0			< 1.0	< 0.6	mGy
3.0			< 1.5	< 1.0	mGy
4.0			< 2.0	< 1.6	mGy
4.5			< 2.5	< 2.0	mGy
5.0			< 3.0	< 2.4	mGy
6.0			< 4.5	< 3.6	mGy
7.0			< 6.5	< 5.1	mGy
kvaliteta slike					
* prostorna rezolucija, referentno ROI	w	-	> 12	> 15	lp/mm
* prag vidljivosti kontrasta	w	-	< 1.5%	< 1.5%	-
* vrijeme izlaganja	12	-	< 2	< 1.5	s

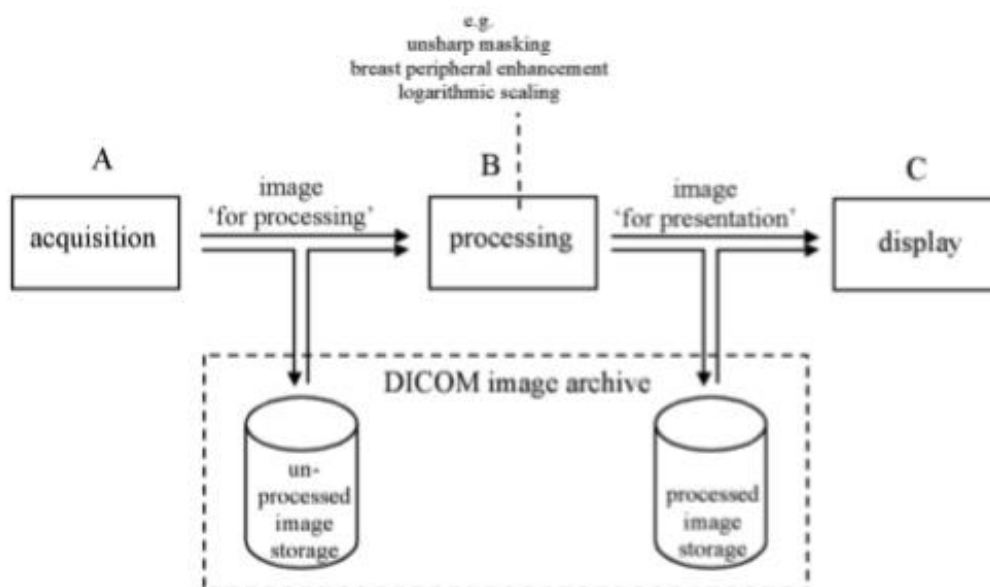
(Izvor: https://www.hzjz.hr/wp-content/uploads/2016/02/EU_Smjernice_rd.pdf)

2.2. Digitalna mamografija

Kako bi se proizvele kvalitetne snimke koje bi dovele do veće stope detekcije mikrokalcifikata treba funkcionirati svaki sustav u lancu oslikavanja. Testiraju se tri nezavisna dijela:

1. Sustav za akviziciju slike,
2. Sustav za obradu,
3. Sustav za prikaz.

Protokol Europske komisije za kontrolu kvalitete u digitalnoj mamografiji temelji se na preporukama DICOM standarda pa prema tome oprema mora slati i primati mamografske snimke IOD (Definicije informacijskog objekta) u modalitetu MG (mamografija) ili CR (kompjutorizirana radiografija) (15,16).



Slika 10. Opći principi za testiranje tri glavna dijela lanca oslikavanja

(Izvor: <https://www.euref.org/european-guidelines/physico-technical-protocol>)

Sustav akvizicije

Sustav akvizicije uključujući receptor slike mjeri se na 4 načina:

1. Pregledavanjem posljednje karte neispravnih piksela (karta u obliku tablice ili slika kojom se definira položaj svih piksela čija vrijednost nije zasnovana na očitavanju vlastitih elemenata detektora),

2. Ocjenjivanjem odnosa parametara između izlaganja zračenja , doze na receptor slike i vrijednost piksela. Neobrađena slika (koja sadrži linearne ili druge matematičke veze između doze elemenata detektora i vrijednosti piksela) mora biti dostupna CAD (računalno potpomognuta detekcija) programu ili nekom drugom programu za obradu,
3. Indikacijom postavki za osjetljivost sustava svake slike. Indikacija treba biti navedena za digitalne sustave kako bi specijalist radiolog imao informacije o prosječnim dozama. Prema preporukama ovog protokola, svaki proizvođač u dokumentima mora dati sve potrebne informacije za izračun prosječne glandularne/žljezdane doze,
4. Evaluacija sustava akvizicije se provodi prema nacrtima postupaka AAPM (Američka udruga fizičara u medicini) - Izvještaj radne skupine 10 iz 2001. godine i preliminarnih rezultata ispitivanja digitalnog mamografskog oslikavanja (DMIST) Mreže za oslikavanje Američkog sveučilišta radiologije (ARIN DMIST) (15).

Sustav obrade

Sustav obrade evaluira se zasad na jedan način, ali ima u planu u sljedećoj verziji nadopuniti se s nova dva načina:

1. Protokol opisuje evaluaciju sustava obrade u budućnosti na način da se pregleda i boduje set testnih slika, ali da se obrađuju sukladno dostupnom algoritmu obrade. Testni set slika mogu činiti ili mamogrami ili snimke fantoma,
2. Evaluacijom algoritama za obradu koji bi poboljšali uočljivost određenih detalja na snimci. Zasad algoritmi nisu dio ovog protokola jer trenutno ne postoji dovoljno literature i iskustva o takvim učincima algoritama,
3. Protokol naglašava evaluaciju algoritama obrade i CAD (računalno potpomognuta detekcija) kao dio budućeg nadopunjenog protokola.

Sustav za prikaz

Sustav za prikaz evaluira se na 2 načina:

1. Prvi mogući način evaluacije sustava za prikaz je pregledom monitora ili pisača testnih snimki u DICOM formatu bez obzira na snimke fantoma koje je proizvođač uređaja priložio,
2. Protokol Europske komisije koristi postupke AAPM (Američka udruga fizičara u medicini) - Izvještaj radne skupine 18 iz 2004. godine i preliminarne rezultate ispitivanja digitalnog mamografskog oslikavanja (DMIST) (15,18)

Usporedba s protokolom analogne mamografije

Dio mjerenja u protokolu za digitalnu mamografiju sličan je testovima kao kod protokola za analognu mamografiju te su navedeni kao referenca. Posebno su opisani postupci testiranja za CR i DR. Neka mjerenja izvršena su izlaganjem testnog objekta, a sva mjerenja odrađena su u normalnim radnim uvjetima bez posebne prilagodbe opreme.

U ovom protokolu izračuni doze za usporedbu sustava temelje se na prosječnoj glandularnoj dozi dojke (AGD) za razliku od protokola za analognu mamografiju gdje se doza izračunavala prema površinskoj kermi u zraku.

Vrijednost piksela i njihova standardna devijacija evaluiraju se u standardnom ROI veličine 4 cm² na udaljenosti 6 cm od torakalne stjenke pacijenta i centrirano lateralno.

Protokol naglašava razliku kada nije navedena granična vrijednost već tipična vrijednost, odnosno, vrijednost koju je moguće očekivati. Također, kod određenih testova granične vrijednosti su okvirne jer će se vjerojatno u budućnosti ta vrijednost promijeniti stoga je veoma važno pratiti i provjeravati ažurirane podatke na stranici EUREF-a.

Da bi se sve informacije optimalno prenijele uvjet je da je svaki piksel matrice projiciran kao barem jedan piksel na sustavu prikaza te kada je veličina piksela na sustavu prikaza toliko malena, a pokazuje detalje koji s najvećom osjetljivošću odgovaraju oku radiologa (1-3 lp/mm pri udaljenosti očitavanja 30 cm).

Protokol preporuča da radna mjesta u kojima radiolog očitava snimke imaju dva velika monitora 45-50 cm dijagonale kojima je rezolucija 5 megapiksela. Kod uvjeta očitavanja treba voditi računa da je maksimalni intenzitet na monitoru manji nego na negatoskopu zbog refleksije na monitoru pa okolno osvijetljenje mora biti nisko, odnosno manje od 10 luxa.

Djelatnici i oprema

Kao i kod analogne mamografije, dio testova provode radiološki tehnolozi, a dio testova medicinski fizičari. Postoje razlike u opremi koja se koristi pri evaluiranju CR i DR sustava.

Za dnevnu i tjednu kontrolu kvalitete koristi se prema protokolu:

- Standardni testni blok (45 mm PMMA),
- Digitalne testne slike za QC,
- Referenta kazeta (CR sustavi),
- PMMA ploče.

Kompliciraniji testovi koje provode medicinski fizičari zahtijevaju sljedeću opremu :

- Dozimetar,
- Aluminijske ploče,

- kVp-metar,
- Uređaj za testiranje žarišne točke s postoljem,
- Uređaj za mjerenje vremena izlaganja,
- Uređaj za testiranje kontakta ekrana i filma,
- Teleskopski mjerač intenziteta svjetlosti,
- Metar,
- Uređaj za mjerenje osvijetljenosti,
- Uređaj za testiranje sile kompresije,
- Testni objekt kontrole kvalitete,
- Gumena pjena,
- Digitalne testne slike za kontrolu kvalitete,
- Olovni lim,
- Testni objekt za testiranje detalja kontrasta,
- Proširena distanca od polimera,
- Denzitometar.

Protokol ističe kako veličina piksela pisaa mora biti manja od 100 mikrona, odnosno mora biti iste veličine kao što je veličina piksela slike (15,16).

Kod sustava s direktnim radiografskim detektorom (DR) ovaj protokol spominje problem stvaranja rezidualnih slika (*ghost images*). Obično „*ghost images*“ nastaju kod izvođenja testova za koja nije potrebna slika (HVL test ili test za napon cijevi) pa protokol savjetuje da se detektor u cijelosti pokrije pri izvođenju takvih testova.

Redosljed testova

Preporuka je da se prvo mjeri homogenost, NPS (spektar snage šuma), MTF (modulacijska funkcija prijenosa), linearnost pa „*ghost images*“ efekt. Na samom kraju preporučljivo je napraviti još nekoliko snimki koristeći homogeni PMMA blok pod uvjetom da se prekrije cijeli detektor olovnim limom . Svrha zadnjeg mjerenja jest da budemo sigurni kao se na kliničkim slikama neće prikazati zaostali tragovi „*ghost images*“.

2.2.1. Akvizicija slike

Oprema koja je dostupna za na tržištu za provedbu digitalne mamografije još uvijek se razvija, a uređaj za automatsku kontrolu izlaganja još uvijek nije uključen u neke sustave što rezultira pogreškama postavki izlaganja i dovodi do premalog ili prevelikog izlaganja što naposljetku označava nedovoljno ili preveliko izlaganje pacijenta. Osim toga sustav ima poteškoće sa visokom propusnošću koja je nužna kod mamografskog probira. Isto tako uslijed nepoznatog sadržaja koji je prisutan u dojci, čimbenici izlaganja su podešeni na guste dojke kako bi omogućili dostupnu sliku visoke kvalitete, no takav postupak šteti drugim ženama koje izlaže izrazito visokom, ponekad bespotrebnom izlaganju. Ovaj dio odnosi se na evaluaciju generiranja zračenja, receptor slike, korekciju receptora slike i dozimetriju (19)

2.2.1.1. Generiranje zračenja

Protokol koji se odnosi na generiranje zračenja isti je kao u protokolu analogne mamografije.

- **AEC SUSTAV**

Protokol preporučuje da svi mamografski sustavi imaju AEC uređaj kojemu se testira reproduktivnost i preciznost s obzirom na različite debljine objekta i kvalitete zrake. Kod mjerenja doze dozimetar treba pozicionirati izvan regije u kojoj se određuju postavke izlaganja (19).

Test za kontrolne korake izlaganja

Postupak

- Olikati standardni testni blok pri različitim kontrolnim koracima izlaganja (ili relevantnom pod-setu),
- Zabilježiti ulaznu dozu ili punjenje cijevi,
- Izračunati korake izlaganja u ulaznoj dozi ili punjenju cijevi,
- Kvalitetu slike odrediti mjerenjem praga vidljivosti kontrasta.

Granična prihvatljivost: povećanje izlaganja po koraku od 5-15%.

Učestalost: svakih 6 mjeseci.

Oprema: koristi se dozimetar i standardni testni blok (15,16).

Testiranje brojača za pohranjivanje podataka i sigurnosni prekid

Granična prihvatljivost: brojač za pohranu podataka i sigurnosni prekid moraju pravilno funkcionirati.

Učestalost: godišnje.

Oprema: detektor, dozimetar, cijevi

Upozorenje: ako dođe do neispravnog funkcioniranja brojača za pohranu podataka, može se oštetiti cijev. Kako bi se takvo što izbjeglo treba proučiti priručnik o maksimalno dopuštenom vremenu izlaganja (15,16).

Test kratkoročne reproduktivnosti

Postavlja se dozimetar u rendgensko zračenje, bez prekrivanja AEC detektora.

Ukoliko dođe do toga da sustav prebacuje između dva spektra, oslobađa se kompresijska papučica te se upotrijebi druga debljina PMMA te ponovno mjeriti.

Granična prihvatljivost: pojava devijacije od srednje vrijednosti izlaganja $< \pm 5\%$, ali je moguće i postići $< \pm 2\%$.

Učestalost: svakih 6 mjeseci.

Oprema: standardni testni blok i dozimetar (15,16,19).

Test dugoročne reproduktivnosti

Ocjenjuje se mjerenjem optičke gustoće i punjenja cijevi što daje izlaganje PMMA bloka.

Razlozi devijacija pronalaze se usporedbom zabilježenih senzimetrijskih podataka i punjenja cijevi.

Granična prihvatljivost: varijacija od ciljne vrijednosti treba biti unutar $< \pm 0.20$ OD; moguće je postići $< \pm 0.15$ OD.

Učestalost: dnevno.

Oprema: standardni testni blok ili testni objekt QC, dezintometar (15,16,20).

Testiranje kompenzacije za debljinu objekta i napon cijevi

Izlaganjem PMMA ploče debljine od 20 do 70 milimetara mjere se kompenzacije za debljinu objekta i napona cijevi.

Prilikom testiranja prihvatljivosti provjeravaju se sve AEC postavke.

Optička gustoća se mjeri u referentnom ROI.

Granična prihvatljivost: sve varijacije optičke gustoće od odabrane ciljne optičke gustoće moraju biti u granicama ± 0.15 OD. Moguće je postići ± 0.10 OD.

Vrijednost pokazatelja debljine mora biti u granicama ± 0.5 cm debljine PMMA ploča.

Učestalost: puni test, svakih 6 mjeseci

Oprema: PMMA ploče 10x180x240 mm³, dezintometar (15,16,20).

Testiranje kompresije

Koriste se isti postupci i iste granične vrijednosti kao i kod analognih mamografskih sustava.

- **BUCKY REŠETKA**

Testiranje faktora sustava rešetke

Oslika se standardni testni blok u kliničkim uvjetima s rešetkom. Zabilježi se ulazna doza i izmjeri se srednja vrijednost piksela u referentnom ROI. Nakon toga se oslikaju 2 slike bez rešetke sa srednjom vrijednosti piksela ispod i iznad one vrijednosti koja je zabilježena kod prve slike. Faktor sustava rešetke se izračuna kao količnik ulazne doze s rešetkom podijeljene ulaznom dozom bez rešetke.

Granična prihvatljivost: specifikacije proizvođača, tipična vrijednost manja od 3.

Učestalost: kod testiranja prihvatljivosti.

Oprema: standardni testni blok, dozimetar (15,16,).

Testiranje kvara detektorskih elemenata za DR sustave

„Karta neispravnih piksela“ definira položaj svih piksela kojima se vrijednost nije zasnovala na očitavanju vlastitih detektorskih elemenata. Može biti u obliku slike ili tablice. Za ovaj test treba pregledati zadnju kartu proizvođača. Treba prvo ažurirati informacije proizvođača o neispravnim kolonama i neispravnim elementima. Nakon toga treba evaluirati ažuriranu kartu i usporediti s prethodnim kartama. Nakupine neispravnih elemenata i susjednih elemenata oko njih mogu se vidjeti na slici alata za kontakt ekrana i filma.

Granična prihvatljivost: zasad nije definirana ovim Protokolom. Pogledati granične vrijednosti proizvođača.

Učestalost: polugodišnje.

Oprema: karta neispravnih piksela (15,16,).

- ***DOZIMETRIJA***

Koriste se metode i granične vrijednosti kao i u Protokolu za nativnu mamografiju.

- ***KVALITETA SLIKE***

-

Opcionalno testiranje modulacijske funkcije prijenosa (MTF) i spektra snage šuma (NPS)

Oslika se alat za testiranje MTF-a. Odredi se MTF detektora korištenjem programa.

Oslika se NPS fantom ili standardni testni blok pa se odredi NPS detektora korištenjem programa. Rezultati MTF i NPS uzimaju se kao referentna vrijednost i mogu se ponoviti ako se pojavi sumnja u kvalitetu detektora.

Granična prihvatljivost: ovo su referentne vrijednosti.

Učestalost: kod testiranja prihvatljivosti i kod sumnje da se pogoršala kvaliteta detektora.

Oprema: MTF testni alat, programska podrška za izračun MTF, NPS fantom ili standardni testni blok te programska podrška za izračun NPS-a (15,16).

2.2.2. Obrada slike

Obrada slike se ne uzima u obzir u ovoj verziji protokola. Proizvođači su ti koji određuju opće uvjete o tom koja se točno obrada primjenjuje. Posebnu pažnju usmjerava se na vizualizaciju mikrokalcifikata i suptilnih struktura.

2.2.3. Prikaz slike

Ovo testiranje zasnovano je na radu Radne skupine 18 AAPM. Testni uzorci moraju se prikazati pri punoj rezoluciji. Uporaba monitora nerijetko označava granične vrijednosti. Pri evaluaciji ispisanih slika može se koristiti povećalo.

Treba testirati monitore na onaj način na koji se koriste u kliničkim uvjetima (15,18,).

Test osvijetljenosti prostora

Visoka osjetljivost na osvijetljenost okolnog prostora, važna provedba u kliničkim uvjetima.

Granična prihvatljivost: primarni uređaji prikaza moraju imati razinu osvjetljenja manju od 10 luxa.

Učestalost: svakih 6 mjeseci.

Oprema: uređaj za mjerenje osvjetljenosti (15,16).

Test geometrijske distorzije

Granična prihvatljivost: granice moraju biti skroz vidljive, linije trebaju biti ravne, a aktivni dio centriran

Učestalost: dnevno.

Oprema: TG18-QC testni uzorak (15,18).

Test vidljivosti kontrasta

TG18-QC testni uzorak ima nekoliko objekata za provedbu evaluacije vidljivosti kontrasta monitora. Sastoji se od 16 dijelova mozaika intenziteta svjetlosti koji su međusobno udaljeni jednako od središta slike. Na dnu prikaza nalaze se dva dijela koja označuju minimalne (5%) i maksimalne (95%) vrijednosti piksela, okružujući pritom testni uzorak.

Slova „KONTROLA KVALITETE“ raspoređena su u tri pravokutnika koja se nalaze ispod tih dijelova, a prikazuju se sa kontrastom koji se smanjuje naprema pozadini. Dio slova koji je vidljiv treba se zapisati i provjeriti kako bi se pratilo smanjenje kontrasta. Ako vidljivost kontrasta nije dovoljna tu može pomoći smanjenje svjetla u prostoriji. No ukoliko se svjetlo priguši, isto valja ponoviti i tokom provedbe kliničke uporabe sustava prikaza. Izgled TG18-QC testnog uzorka osim navedenog ovisi i o mapiranju vrijednosti piksela naspram intenziteta osvjetljenosti.

Granična prihvatljivost: dijelovi u svakom uglu moraju biti vidljivi, a kvadrati sa vrijednošću piksela od 5% i 95% jasno vidljivi.

Učestalost: dnevno.

Oprema: TG18-QC testni uzorak (15,18).

Test rezolucije

Evaluiraju se horizontalne i vertikalne linije uzorka radi provjere rezolucije monitora. Radna skupina 18 AAPM na raspolaganje daje 6 linijskih uzoraka pri različitim razinama intenziteta svjetlosti pozadine.

Granična prihvatljivost: razvodni linijski uzorci.

Učestalost: svakih 6 mjeseci.

Oprema: Testni uzorci 2kx2k TG18-LPH10, TG18-LPH50, TG18-LPH89, TG18-LPV10, TG18-LPV50 i TG18-LPV89. (15,18).

Test za artefakte prikaza

Slika se provjeri za neispravne piksele, neispravne korake u stupićima crno u bijelo i bijelo u crno. Provjerava se temporalna nestabilnost i prostorna nestabilnost.

Granična prihvatljivost: ne trebaju biti vidljivi uznemirujući artefakti.

Učestalost: dnevno.

Oprema: testni uzorak 2kx2k TG18-QC. (15,18)

Test raspona intenziteta svjetlosti

Mjeri se maksimalan i minimalan intenzitet svjetlosti uređaja za prikaz.

Odnos maksimalnog i minimalnog intenziteta svjetlosti koji je prisutan u okolnom osvjetljenju pokazuje sposobnosti odziva kontrasta svjetlosti monitora.

Oba intenziteta moraju biti mjerena korištenjem teleskopskog uređaja za mjerenje intenziteta svjetlosti kako bi se uključilo i utjecaj svjetla okolnog prostora.

Granična prihvatljivost: odnos maksimalnog i minimalnog intenziteta svjetlosti treba biti 250 za primarne uređaje prikaza, ili 100 za sekundarne uređaje prikaza. Razlika maksimalnih intenziteta svjetlosti koja se javlja među monitorima koji pripadaju istoj radnoj stanici ne smije prelaziti 5% najnižeg.

Učestalost: svakih 6 mjeseci.

Oprema: teleskopski uređaj za mjerenje intenziteta svjetlosti, testni uzorci TG18-LN12-01 i TG18-LN12-18 (15,18).

Test funkcije prikaza ljestvice sive boje

Mapiranje vrijednosti sive skale nasuprot intenzitetu svjetlosti monitora treba biti dosljedno.

Funkciju ljestvice sive boje može se odrediti mjerenjem intenziteta svjetlosti 18 AAPM testnih uzoraka za testiranje intenziteta svjetlosti od TG18-LN12-01 do TG18-LN12-18.

Testni uzorci moraju biti prikazani na cijeloj površini monitora, a intenzitet svjetlosti mora biti mjeran u centru monitora.

O okolnom osvjetljenju prostorije ovisi oblik GDF. Osvjetljenje prostorije kao i negatoskopi te ostali uređaji za prikaz, trebaju biti na razinama intenziteta svjetlosti na kojima se nalaze kada se sustav koristi klinički.

Granična prihvatljivost: izračunati odziv kontrasta koji se treba nalaziti unutar $\pm 10\%$ GSDF odziva kontrasta za primarnu klasu uređaja za prikaz ($\pm 20\%$ za sekundarnu klasu uređaja za prikaz)

Učestalost: svakih 6 mjeseci ili pri svakoj promjeni vidljivosti kontrasta.

Oprema: teleskopski uređaj za mjerenje intenziteta svjetlosti, testni uzorci od TG18-LN12-01 do TG18-LN12-18 (15,18)

Test ravnomjernosti osvjetljenja

Treba se izmjeriti intenzitet svjetlosti prikaza na pet lokacija na svakom monitoru. Mogu se koristiti testni uzorci TG18-UNL10 i TG18-UNL80.

Granična prihvatljivost: maksimalna devijacija intenziteta svjetlosti uređaja za prikaz trebala bi biti ispod 30% za CRT uređaje za prikaz i LCD uređaje ($(L_{\max}-L_{\min})/L_{\text{centar}} < 0.3$).

Učestalost: svakih 6 mjeseci ili promjenom u vidljivosti kontrasta.

Oprema: uređaj za mjerenje intenziteta svjetlosti, testni uzorci TG18-UNL10 i TG18- UNL80 (15,18).

2.2.4. Pisači

Test geometrijske distorzije

Ispisati testni uzorak TG18-QC i vizualno provjeriti da li je slika ispisana bez geometrijskih distorzija. Koristiti isključivo linije i granice testnog uzorka.

Granična prihvatljivost: granice potpuno vidljive, linije ravne.

Učestalost: dnevno.

Oprema: testni uzorak TG18-Q (15,18).

Test vidljivosti kontrasta

Ispisati testni uzorak TG18-QC. Provjeriti vidljivost nekoliko oblika za evaluaciju vidljivosti kontrasta te provjeriti da negatoskop na kojem se provjerava uzorak ima dovoljan intenzitet svjetlosti. Ukoliko vidljivost kontrasta nije dostatna, može pomoći uporaba dijafragmi.

Graničnat prihvatljivost: svaki oblik u kutovima treba biti vidljiv, kvadrati s 5% i 95% vrijednošću piksela trebaju biti jasno vidljivi.

Učestalost: dnevno.

Oprema: testni uzorak TG18-QC (15,18).

Test razlučivosti

Evaluirati horizontalne i vertikalne linije uzorka kako bi se provjerila rezolucija ispisa.

Granična prihvatljivost: linijski uzorci moraju biti razvidni.

Učestalost: kada se testira prihvatljivost i kada postoji sumnja na smanjenu rezoluciju.

Oprema: testni uzorak TG18-PQC (15,16,18).

Test artefakti ispisa

Ispisati testne uzorke TG18-QC, -PQC, -UN80 i -UN10. Provjeriti slike za artefakte ispisa, preslike trake ili curenja tinte i artefakte pisača.

Granična prihvatljivost: ne smiju biti vidljivi zabrinjavajući artefakti.

Učestalost: dnevno.

Oprema: testni uzorci TG18-QC, TG18-PQC, TG18-UN10 i TG18- UN80 (15,18).

Test optičkog raspona gustoće

Ispisati testni uzorak TG18-QC. Izmjeriti D_{min} i D_{max} na toj slici.

Granična prihvatljivost: $D_{min} < 0.25 OD$, $D_{max} > 3.40 OD_{21}$

Učestalost: svakih 6 mjeseci.

Oprema: dezintometar, testni uzorak TG18-QC (15,18).

Test funkcije prikaza ljestvice sive boje

Funkcija prikaza sive skale (GDF) može se utvrditi ispisom testnog uzorka TG18-PQC i mjerenjem optičke gustoće označenih regija od 18 stupića. On se određuje intenzitetom svjetlosti koji odgovara optičkoj gustoći.

Povezanost intenziteta svjetlosti (L) i optičke gustoće (D) ispisanih stupića je: $L = L_a + L_0 * 10^{-D}$
Pri čemu: L_a predstavlja doprinos intenziteta svjetla prilikom osvjetljenja okolnog prostora reflektiranog od filma, a L_0 je intenzitet svjetlosti negatospica bez prisutnog filma.

Granična prihvatljivost: izračunati odziv kontrasta trebao bi biti unutar $\pm 10\%$ GSDF odziva kontrasta.

Učestalost: svakih 6 mjeseci ili kada se pojavi promjena u vidljivosti kontrasta.

Oprema: denzitometar, testni uzorak TG18-PQC (15,18).

Test ravnomjernosti gustoće

Ispisati testne uzorke TG18-UNL10 i TG18-UNL80. Izmjeriti optičku gustoću na pet označenih lokacija.

Granična prihvatljivost: maksimalna devijacija optičke gustoće trebala bi biti manja od 10% $((D_{max}-D_{min})/D_{centar} < 0.1)$.

Učestalost: svakih 6 mjeseci ili pri promjeni vidljivosti.

Oprema: denzitometar, testni uzorci TG18-UNL10 i TG18-UNL80 (15,18)

2.2.5. Tablica učestalosti i kontrole kvalitete digitalnih mamografskih sustava

Tablica 2 Granične vrijednosti kod kontrole kvalitete digitalnih mamografskih sustava

2b.2. akvizicija slike	tipična vrijednost	granična vrijednost		mjerna jedinica
		prihvatljivo	moguće postići	
2b.2.1 Generiranje zračenja				
Izvor zračenja vidi Europske smjernice, dio A, tablicu 4.1				
Napon cijevi vidi Europske smjernice, dio A, tablicu 4.1				
AEC				
- koraci kontrole izlaganja	5-15%			mGy ili mAs
- brojač za pohranjivanje podataka i sigurnosni prekid	-	funkcionira ispravno		
- kratkoročna reproduktivnost	-	< ± 5%	< ± 2%	mGy
- dugoročna reproduktivnost				
varijacija SNR	-	< ± 10%		mGy
varijacija doze	-	< ± 10%		mGy
- kompenzacija za debljinu objekta i napon cijevi				
CNR prema debljini PMMA				
2.0 cm	-	> 115%		
3.0 cm	-	> 110%		
4.0 cm	-	> 105%		
4.5 cm	-	> 103%		
5.0 cm	-	> 100%		
6.0 cm	-	> 95%		
7.0 cm	-	> 90%		
Kompresija vidi Europske smjernice, dio A, tablicu 4.1				
Rešetka za sprečavanje raspršivanja zračenja vidi Europske smjernice, dio A, tablicu 4.1				
2b.2.2 Receptor slike	tipična vrijednost	granična vrijednost		jedinica
		prihvatljivo	moguće postići	
Funkcija odziva				
- linearnost	-	$R^2 > 0.99$	-	-
- evaluacija šuma	-	-	-	-
Neoslikano tkivo uz torakalnu stijenku pacijentice				
Homogenost detektora	-	≤ 5	-	mm
- varijacija srednje vrijednosti piksela (na slici)	-	< ± 15%	-	-
- varijacija SNR-a (na slici)	-	< ± 15%	-	-
- varijacija srednje vrijednosti SNR (na slici)	-	< ± 15%	-	-
- varijacija doze (između slika)	-	< ± 10%	-	mGy
Neispravan detektorski element				
- broj neispravnih elemenata	-	još nije ustanovljeno	još nije ustanovljeno	

- položaj neispravnih elemenata	-	još nije ustanovljeno	još nije ustanovljeno	
=> Tablica se nastavlja na sljedećoj stranici Nastavak tablice 2b.2.1				
2b.2.2 Receptor slike	tipična vrijednost	granična vrijednost		jedinica
		prihvatljivo	moguće postići	
Nekorigirani elementi				
- broj nekorigiranih neispravnih elemenata	-	još nije ustanovljeno	još nije ustanovljeno	-
- položaj nekorigiranih neispravnih elemenata	-	još nije ustanovljeno	još nije ustanovljeno	-
Varijacije osjetljivosti među pločama				
- varijacija SNR-a	-	< ± 15%	-	-
- varijacija doze	-	< ± 10%	-	-
Utjecaj drugih izvora zračenja	-	novčić nije vidljiv	-	-
Nestajanje latentnog prikaza	-	-	-	-
2b.2.3 Dozimetrija				
	tipična vrijednost	granična vrijednost		jedinica
		prihvatljivo	moguće postići	
-glandularna doza prema debljini PMMA				
2.0 cm	-	< 1.0	< 0.6	mGy
3.0 cm	-	< 1.5	< 1.0	mGy
4.0 cm	-	< 2.0	< 1.6	mGy
4.5 cm	-	< 2.5	< 2.0	mGy
5.0 cm	-	< 3.0	< 2.4	mGy
6.0 cm	-	< 4.5	< 3.6	mGy
7.0 cm	-	< 6.5	< 5.1	mGy
2b.2.4 Kvaliteta slike	tipična vrijednost	granična vrijednost		jedinica
		prihvatljivo	moguće postići	
- detalj				
5.0 mm (opcionalno)	-	< 0.85 %	< 0.45 %	-
2.0 mm	-	< 1.05 %	< 0.55 %	-
1.0 mm	-	< 1.40 %	< 0.85 %	-
0.5 mm	-	< 2.35 %	< 1.60 %	-
0.25 mm	-	< 5.45 %	< 3.80 %	-
0.10 mm	-	< 23.0 %	< 15.8 %	-
MTF i NPS				
- MTF (opcionalno)	-	-	-	-
- NPS (opcionalno)	-	-	-	-
Vrijeme izlaganja	-	< 2.0	< 1.5	s
Vrijeme skeniranja	5 do 8			s
Geometrijska distorzija i evaluacija artefakata				
- gemoetrijska distorzija	-	bez distorzija		
- evaluacija artefakata	-	bez uznemirujućih artefakata		-
Faktor rezidualne slike (ghost image)	-	0.3	-	-

2b.4 Obrada slike	tipična vrijednost	granična vrijednost		jedinica
		prihvatljivo	moguće postići	
2b.4.1 Monitori				
- osvjetljenost okolnog prostora	-	< 10	-	lux
- geometrijska distorzija	-	ravne linije	-	
- vidljivost kontrasta	-	vidljiv dio uzorka u kutevima	-	-
- rezolucija	-	linijski uzorci razvidni	-	
- artefakti prikaza	-	bez uznemirujućih artefakata	-	
- raspon intenziteta svjetlosti				
* odnos minimalni/maksimalni intenzitet	-	250	-	
* razlika intenziteta svjetlosti lijevog i desnog monitora	-	5%	-	Cd/m ²
- DICOM standard funkcije prikaza sivom skalom	-	± 10% GSDF-a	-	
- ravnomjernost intenziteta svjetlosti				
* devijacija intenziteta svjetlosti (CRT monitor)	-	30%	-	Cd/m ²
2b.4.2 Pisači				
- geometrijska distorzija	-	ravne linije	-	
- vidljivost kontrasta	-	vidljiv dio uzorka u kutevima	-	
		kvadrati vidljivi		
- rezolucija	-	linijski uzorci razvidni	-	
- artefakti ispisa	-	bez uznemirujućih artefakata	-	
- raspon optičke gustoće (opcionarno)	-	$D_{min} < 0.25^1$, $D_{max} > 3.4^1$	-	OD
- DICOM standard funkcije prikaza sivom skalom	-	± 10% GSDF-a	-	
- ravnomjernost gustoće				
* devijacija optičke gustoće	-	< 10%	-	OD
2b.4.3 Negatoskopi				
vidi Europske smjernice, dio A, tablicu 4.1				
¹ okvirne granične vrijednosti				

(Izvor: https://www.hzjz.hr/wp-content/uploads/2013/11/Prijevod_eu_smjernica_rak_dojka.pdf)

3. KANADSKI PROTOKOL

Kanadski protokol nalaže da sve ustanove u kojima se provode mamografski pregledi moraju razvijati i održavati učinkovit program osiguranja kvalitete. Program osiguranja kvalitete mora uključivati postupke kontrole kvalitete za nadzor i ispitivanje mamografske opreme te za administrativne postupke za osiguranje da su nadzor, evaluacija i korektivne radnje ispravno izvedena (21,22).

Kanadski program osiguranja kvalitete posebno obrađuje smjernice za ispitivanje kontrole kvalitete opreme koji se sastoji od nekoliko podgrupa smjernica:

- Smjernice koje navode svu mamografsku opremu i sustav komponenti koje se testiraju,
- Smjernice za sve parametre opreme koje treba mjeriti te učestalost praćenja (raspored) za svaki rendgenski sustav i sustav ostalih dijelova lanca mamografskog oslikavanja,
- Smjernice za standarde izvođenja za svu testiranu opremu i specifične granične vrijednosti za svaku test kontrole kvalitete,
- Smjernice za mjerenje svakog parametra i snimanje podataka,
- Smjernice za procjenu podataka ispitivanja i za poduzimanje korektivnih radnji koje su potrebne za održavanje optimalnih izvođenja opremom,
- Smjernice za mjerenje doze pacijenta (srednja glandularnu doza),
- Smjernice za kalibraciju i održavanje opreme za mjerenje zračenja i druge testne opreme (21).

Prema kanadskom protokolu četiri koraka moraju biti uključena u uspostavu postupaka kontrole kvalitete:

1. Rad opreme

Važno je da oprema za mamografiju, oprema za obradu slike i prikazivanje ispravno funkcioniraju prije provedbe programa osiguranja kvalitete. Proizvođači i dobavljači trebaju osigurati ispravne radne karakteristike za svoju opremu. Za film-folija sustave, film i obrada moraju zadovoljiti vrijednosti brzine i kontrasta koje je propisao proizvođač. Za CR sustave, sustav za obradu slike mora

biti pravilno kalibriran sa sustavom zračenja. Tu se podrazumijeva zamjena, popravak, nadogradnja ili kalibracija opreme.

2. Osnovne performanse

Osnovne vrijednosti performansi mamografske opreme i sustava za obradu slika moraju se utvrditi nakon provjere da oprema ispravno funkcionira. Slike korištene za određivanje početne razine performansi trebaju se dobiti uporabom rutinske tehnike za standardnu komprimiranu dojku (npr. srednja debljina od 4,2 cm do 4,5 cm). Ove osnovne performanse se koriste za dijagnosticiranje bilo kakvih promjena u učinkovitosti opreme. Važno je voditi evidenciju podataka o radu opreme i mjerenja osnovnih performansi. Ovi zapisi su potrebni za dijagnosticiranje bilo kakvih promjena u kvaliteti slike. Bazne vrijednosti moraju se utvrditi kada se nova oprema uvede u pogon, ako postoje promjene u komponentama koje utječu na kvalitetu slike i dozu pacijenta, kao i kad se mijenja oprema za testiranje.

3. Referentna testna slika

Za ocjenu kvalitete slike potrebna je referentna testna slika. Referentna testna slika izrađena je korištenjem opreme za mamografiju, sustava za obradu slike i fantoma kontrole kvalitete, a koristi se za usporedbu slika ispitivanja kvalitete kontrole.

4. Evaluacija rezultata i razine aktivnosti

Učinkoviti program praćenja kontrole kvalitete uključuje, ne samo raspored ispitivanja kvalitete i prikupljanje podataka i vođenje evidencije, već i ocjenu rezultata ispitivanja, poput određivanja prihvatljivih ili neprihvatljivih ograničenja rada opreme, zajedno s popisom korektivnih radnje koje mogu biti potrebne. Treba uspostaviti skup ograničenja koja upućuju na razinu rada izvan koje se sustav ili funkcija trebaju pažljivo nadzirati, ali gdje nije potrebno trenutno djelovanje. Također bi trebalo uspostaviti drugi set ograničenja u kojima se moraju poduzeti hitne korektivne mjere. (21)

Za rješavanje značajnih problema moraju biti uspostavljeni postupci popravljivanja i umjeravanja. Treba razviti sustav odluka koji će pružiti smjernice za suočavanje s događajima kao što su kvarovi opreme i rješavanje okolnosti kada radne značajke odstupaju iznad postavljenih granica. Treba uspostaviti popis osoba koje imaju ovlast zaustaviti rad rendgenske jedinice. Sustav odluke treba sadržavati sljedeće korake:

- Ponoviti test za potvrdu,

- Što učiniti ako ponovljeni test potvrdi neuspjeh u performansama,
- Što učiniti ako test ne uspije samo djelomično,
- Što učiniti ako test pokazuje neuspjeh u povijesti,
- Što učiniti ako test znatno ne uspije.

3.1. Prikupljanje podataka

Kanadski program zahtjeva da mjerenja i podaci prikupljeni za program osiguranja kvalitete budu jasno dokumentirani i lako dostupni za ocjenu. Tako, na primjer, izvještaj medicinskog fizičara mora se dostaviti svim djelatnicima mamografije i zadržati u ustanovi. Ukoliko je to izvedivo, snimljeni podaci moraju biti navedeni kao podatkovne točke na kontrolnoj tablici pri mjerenju. Mora se koristiti dnevnik ili druga lako prepoznatljiva metoda snimanja, a evidencija se mora čuvati najmanje 3 godine.

Grafovi i tablice kontrole kvalitete procesora moraju se čuvati u evidencijama o kontroli kvalitete 1 godinu.

Moraju se zadržati senzometrijski filmovi za zadnjih 30 dana obrade mamografskih filmova.

Film ili digitalna snimka fantoma koja se provodi jednom mjesečno moraju se čuvati najmanje 3 godine.

Test prihvatljivosti

Ispitivanje prihvatljivosti mora se provesti prije bilo kakve kliničke uporabe opreme. Ispitivanje prihvatljivosti mora obaviti medicinski fizičar ili radiološki tehnolog pod nadzorom medicinskog fizičara, uz poznavanje pojedine vrste mamografske opreme i odgovarajuće propise prije bilo kakve kliničke uporabe opreme. Zdravstvena ustanova mora imati testiranje prihvatljivosti koje obavlja pojedinac ili organizacija neovisno o proizvođaču uređaja.

Ispitivanje prihvatljivosti sustava uključuje nekoliko glavnih koraka:

- Verifikacija da su isporučeni dijelovi ili sustavi odgovarali onome što je naručeno,
- Provjera mehaničke cjelovitosti i stabilnosti sustava, uključujući sigurnosne mehanizme, automatsko puštanje, pogonske sklopove, blokade,

- Potvrdu da su provedene odgovarajuće inspekcije električnih instalacija, uključujući električnu sigurnost i fluktuiranje struje,
- Provjera performansi rendgenskih zraka,
- Provjera slikovnih ili dijagnostičkih performansi.

Rezultati ispitivanja prihvatljivosti trebaju se koristiti za postavljanje početnih vrijednosti i ograničenja prihvaćanja operativnih performansi mamografske opreme. Ove osnovne vrijednosti i ograničenja su ključna za program osiguranja kvalitete. (21,22,23,24)

3.1.1. Postupci i oprema za kontrolu kvalitete

Ispitivanje kontrole kvalitete mora se provesti tijekom rutinskog rada sustava mamografiju. U ovom su odjeljku izloženi potrebni i preporučeni testovi kontrole kvalitete, pridružena ispitna oprema i frekvencije ispitivanja. Ispitivanje kvalitete mamografskog sustava uključuje nekoliko glavnih koraka. Oni su:

1. Provjera mehaničke cjelovitosti i stabilnosti sustava, uključujući sigurnosne mehanizme, automatsko otpuštanje, pogonske sklopove i blokade;
2. Provjeru performansi pomoćne opreme kao što su procesori za obradu slike i jedinice za prikaz;
3. Provjeru izvedbe rendgenskih zraka;
4. Provjeru učinka snimanja ili dijagnostike, uključujući procjenu doze.

Testove kontrole kvalitete koji se obavljaju svakodnevno do polugodišnje obavljaju radiološki tehnolozi. Ispitna oprema potrebna za ove testove mora biti lako dostupna osobama odgovornim za provođenje tih ispitivanja. Sva ispitna oprema mora biti kalibrirana i provjerena da radi ispravno. Pojedinci koji provode ispitivanja kvalitete moraju biti osposobljeni za pravilan rad ispitne opreme i za provođenje ispitivanja. Godišnje testove kontrole kvalitete mora obaviti kvalificirani medicinski fizičar (21).

Opisi svakog testa ukazuju na to je li izvedba testa potrebna ili preporučena. Osim toga, neće sva oprema biti podvrgnuta čitavom nizu ispitivanja navedenih u sljedećim odjeljcima. Identificira se vrsta sustava za obradu slike, bilo da se temelji na filmu, CR ili DR, na koji se primjenjuju testovi kontrole kvalitete. Testovi kontrole kvalitete i postupci ispitivanja navedeni u ovom odjeljku temelje se na postojećim mamografskim standardima za film/zaslon i digitalnu mamografsku opremu koju su uspostavile međunarodne, nacionalne i pokrajinske organizacije (IAEA 2009) (IAEA 2011) (CAR MAP 2011) (MSSS 2001) (MSSS 2006). Za neke testove, postupci i kriteriji prihvaćanja preporučeni od strane proizvođača su priznati. Međutim, ekvivalentni postupci ispitivanja, poput onih koje

preporučuje priznata ustanova za postavljanje mamografije, mogu biti prihvatljivi. Poželjni su usklađeni protokoli ispitivanja jer to omogućuje usporedbu performansi i standardiziranog ispitivanja. (21,25-28)

3.2. Dnevna kontrola kvalitete mamografskih uređaja

*D (*eng. Daily*) - dnevno. U ovom poglavlju opisuje se deset testova koji se provode za dnevnu kontrolu kvalitete mamografskih uređaja (D1 – D10)

Svakodnevna kontrolna ispitivanja moraju se obavljati na početku svakog dana prije početka pregleda pacijenta i obrade bilo kakvih slika pacijenta.

D1. Zagrijavanje opreme – Treba se pridržavati preporučenih postupka zagrijavanja izdanih od strane proizvođača. Postupak zagrijavanja mora se ponoviti ako oprema dulje vrijeme ostaje u praznom hodu. Važno je napomenuti da se sve komponente sustava za obradu slika koje se redovito koriste moraju biti zagrijane, uključujući računalne uređaje za prikaz i pisaače.

D2. Rad brojila - Mjerači, vizualni i zvučni indikatori trebaju se provjeriti radi ispravnosti.

D3. Stanje mamografske opreme - Uvjete rendgenske opreme vizualno treba pregledati da ne bude labavih ili slomljenih dijelova i zbog čistoće. Izvor zračenja treba provjeriti na pokret ili vibracije tijekom rada. Vizualni pregled treba obaviti i na svim ostalim komponentama sustava za oslikavanje.

D4. Čistoća tamne komore - Da bi se održala čistoća tamne sobe, sve radne površine, površine šaltera i pod treba svakodnevno čistiti. Prašina i ostaci lakše se mogu vidjeti pomoću UV-B lampe.

D5. Čistoća elektroničkih uređaja sa zaslonom i procjena uvjeta za promatranje i očitavanje snimki
Za sve elektroničke prikazivačke uređaje koji se koriste za tumačenje treba napraviti vizualni pregled čistoće. Uređaji se moraju očistiti po potrebi. Mora se procijeniti okolni prostor u kojem se čitaju mamogrami. Razina ambijentalne svjetlosti mora biti niska i konzistentna, posebno kada su svjetiljke i elektronički prikazi prisutni u istoj prostoriji. Također bi trebalo napraviti procjenu temperature, buke i ergonomije prostorije kako bi se osigurala konzistentnost uvjeta očitavanja.

D6. Funkcija komore za razvijanje filma - Funkcija tamne komore mora se ocjenjivati svako jutro prije obavljanja kliničkih ispitivanja, nakon što je komora uključena i dostigla željenu temperaturu razvijaača, te u drugo vrijeme ukoliko je potrebno, npr. nakon nadopunjavanja ili mijenjanja kemikalija.

Ako se tijekom svakodnevne senzimetrije otkriju problemi s obradom filma, možda će biti potrebno provjeriti pH vrijednost kemikalija za razvijanje, vrijeme razvijanja, specifičnu težinu i brzinu punjenja. Senzimetrijski uvjeti moraju zadovoljavati iduće vrijednosti:

- Zacrtnjenje mora biti unutar $+0,03$ od utvrđene radne razine,
- Srednja gustoća mora biti unutar $\pm 0,15$ od utvrđene radne razine,
- Razlika gustoće mora biti unutar $\pm 0,15$ od utvrđene radne razine.

D7. Procjena kvalitete slike - film-folija sustavi

Za film-folija sustave potrebno je provesti ocjenu kvalitete slike. Jedinstveni fantom koji predstavlja prosječnu debljinu dojke trebao bi se rutinski koristiti za nadgledanje i održavanje gustoće slike kako bi se osigurala ispravna optička gustoća te odsutnost artefakata. Optička gustoća filma u središtu slike fantoma mora biti najmanje 1,40 kada je izložena u tipičnim kliničkim uvjetima. Strogo se preporučuje da optička gustoća bude veća od 1,60. Optička gustoća filma u središtu fantomske slike ne smije se mijenjati za više od $\pm 0,20$ od utvrđenih radnih razina.

D8. Procjena kvalitete slike - digitalni sustavi

Procjena kvalitete slike izvodi se pomoću jednoličnog fantoma koji predstavlja prosječnu debljinu dojke. Slike moraju imati jednolik izgled bez značajnih artefakata. Za CR slike važno pratiti kliničke slike stečene tijekom dana kako bi se osiguralo da se artefakti ne razvijaju zbog nakupljanja prašine.

D9. Ukupna vizualna procjena elektronskih uređaja za prikaz - Mora se procijeniti učinkovitost elektronskih uređaja za prikaz koji se koriste za interpretaciju mamograma. Treba koristiti svakodnevne testove kontrole kvalitete koje preporučuje Američko udruženje fizičara u medicini (AAPM, 2005), uključujući TG18 uzorke ispitivanja, postupke ispitivanja i kriterije prihvaćanja. Prije testiranja sustav za prikazivanje mora biti zagrijan. Potrebno je obratiti pozornost na to da se osigura da su razine osvjetljenja okoline odgovarajuće (manje od 40 luxa). Preporučuje se udaljenost od gledanja od 30 cm. Prikazivanje slike testnog uzorka mora se procijeniti za opću kvalitetu slike i za

prisutnost artefakata. TG18-QC uzorci ispitivanja mogu se koristiti za ovaj test i trebali bi biti prikazani pomoću softvera koji se rutinski koristi za prikaz kliničkih slika.

- Geometrijska distorzija - Granice ispitnog uzorka moraju biti vidljive, linije moraju biti ravne, a aktivno područje prikaza mora biti centrirano na zaslonu,
- Vidljivost kontrasta – svi uglovi moraju biti vidljivi i ravni, a 5% i 95% vrijednosti piksela moraju biti jasno vidljivi,
- Artefakti zaslona - Artefakti ne smiju biti vidljivi.

D10. Opća vizualna procjena pisača - Djelovanje pisača mora biti provjereno kad god se oni koriste. Svi pisači koji se koriste za ispis kliničkih slika, bilo na licu mjesta ili u udaljenom pogonu, moraju obaviti ovaj test. Ispišite i pregledajte testni uzorak TG18-QC i provjerite sljedeće:

- Geometrijska izobličenja - Granice ispitnog uzorka moraju biti vidljive i ravne,
- Vidljivost kontrasta - Svi uglovi moraju biti vidljivi i 5% i 95% vrijednosti piksela moraju biti jasno vidljivi,
- Artefakti pisača - Ne smiju biti vidljivi bilo kakvi smetnji (21).

Quality Control Procedures Under Evaluation	FS	CR	DR
Daily Quality Control Tests			
Equipment Warm-up	D1	D1	D1
Meters Operation	D2	D2	D2
Equipment Conditions	D3	D3	D3
Darkroom Cleanliness	D4		
Cleanliness of Electronic Display Devices and Assessment of Viewing Conditions	D5	D5	D5
Film Processor Function	D6		
Image Quality Evaluation-Film/Screen Systems	D7		
Imaging Quality Evaluation – Digital Systems		D8	D8
Overall Visual Assessment of Electronic Display Devices		D9	D9
Overall Visual Assessment of Printers			D10

Slika 11. Tablica testova za provođenje dnevne kontrole kvalitete
(Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>))

Item	Equipment	Systems	Reference
1	Uniform phantom representing average breast thickness (ex. PMMA test object thickness 45 ± 0.5 mm) (if needed for manufacturer's recommended warm up procedure)	FS, DR, CR	D1, D7, D8
2	Ultraviolet Light	SF	D4
3	Sensitometer (21 steps optical attenuator with densities ranging from approximately 0.00 to 4.80 in steps of 0.15) Accuracy: ± 0.02 log exposure units Reproducibility: ± 0.02 log exposure units	FS	D6
4	Thermometer (non-mercury)	FS	D6
5	Densitometer Accuracy: ± 0.02 O.D. at 1.0 O.D. Reproducibility: ± 0.01 O.D. at 1.0 O.D.	FS	D6, D7
6	Test Pattern Image (TG18-QC)	DR, CR	D9, D10
7	Viewing box	FS	D10

Slika 12. Tablica opreme koja se koristi za dnevnu kontrolu kvalitete mamografskih uređaja u
Kanadi

(Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

3.3. Tjedna kontrola kvalitete mamografskih uređaja

*W (*eng. Weekly*) – tjedno. U ovom poglavlju opisuje se deset testova koji se provode za tjednu kontrolu kvalitete mamografskih uređaja (W1 – W10).

W1. Čistoća i stanje zaslona - Zaslone treba provjeriti zbog čistoće i oštećenja. Treba koristiti sredstvo za čišćenje zaslona koje preporučuje proizvođač. Pregled čestica prašine treba obaviti ultraljubičastim svjetlom.

W2. Čistoća i uvjeti kazeta - Kazete treba provjeriti zbog čistoće, izdržljivosti, namotavanja, , mehanizma za zatvaranje i propuštanja svjetlosti. Učestalost i način čišćenja trebaju biti u skladu s preporukama proizvođača.

W3. Vizualni pregled čistoće sustava za obradu slike – Sustavi za obradu slike moraju se pregledati zbog prašine i prljavštine na ili u blizini mjesta za prijem slike, gdje mogu negativno utjecati na kvalitetu slike. Kod CR sustava moraju se pregledati ploče za obradu slike. Mehanizam koji povlači i vraća ploče (digitalizator) mora se očistiti i podmazati ako je potrebno. Receptori slike za DR sustave moraju se čistiti od prašine, prljavštine i drugih predmeta koji mogu doći u dodir s njima. Digitalizatori za lasersko skeniranje također se moraju provjeriti zbog čistoće.

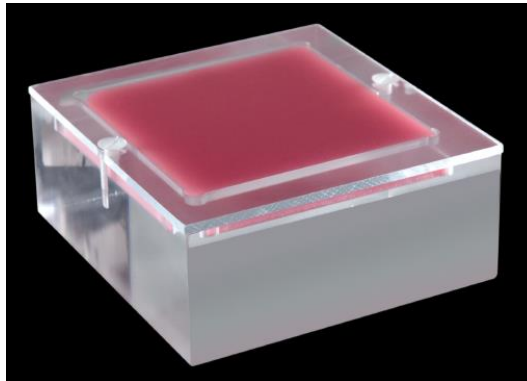
W4. Uvjeti osvjetljenja u tamnoj sobi - U tamnoj sobi mora se izvršiti vizualni test kako bi se osiguralo da prostorija nije prekrivena svjetlom i da drugi izvori svjetlosti, poput osvijetljenih prekidača za svjetlo i računalnog napajanja, ne uzrokuju zacrnenje filma. Posebna pažnja mora se obratiti na brtvu vrata i ugradnju komore za razvijanje ako se umetanje filma u komoru vrši kroz zid. Procjena uvjeta osvjetljenja u tamnoj prostoriji trebala bi se provesti nakon 10 do 15 minuta prilagođavanja tamnim uvjetima uz isključeno sigurnosno svjetlo.

W5. Temperatura tamne sobe i vlažnost zraka - Provjeriti temperaturu i vlažnost u tamnoj sobi. Temperatura bi trebala biti između 15 ° C i 23 ° C, a vlaga zraka između 40% i 60%

W6. Uvjeti za prikaz – Negatoskop se treba vizualno pregledati radi čistoće, promjene boje i nepravilnog osvjetljenja.

W7. Slika fantoma za sustave film-folija - Fantom, s objektima za ocjenu kvalitete slike, mora se koristiti za testiranje performansi snimki mamografskog sustava. Za mamografsku fantomu RMI-

156 moraju biti vidljiva najmanje četiri najveće vlaknaste strukture koje predstavljaju fibrozne strukture, tri najveće točkaste nakupine koje predstavljaju mikrokalcifikate i tri najveće mase koje predstavljaju tumor (21,29).



Slika 13. Mamografski fantom RMI-156 koji se koristi u kanadskom programu kontrole kvalitete mamografskih uređaja

(Izvor: <https://www.imagingsol.com.au/products/phantoms/mammo-156-phantom>)

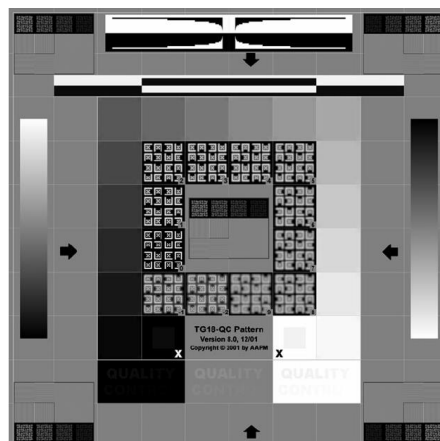
- Broj ispitnih objekata svake skupine (vlakna, mrljaste nakupine i mase) vidljivi na fantomskoj slici ne smije se smanjiti za više od polovice,
- Pozadinska optička gustoća fantomske slike trebala bi biti između 1,5 OD i 1,9 OD i ne smije se mijenjati za više od $\pm 0,20$ od radne razine,
- Razlika gustoće zbog akrilnog diska od 4,0 mm mora biti najmanje 0,40 i mora biti ne variraju za više od $\pm 0,05$ od utvrđene radne razine (21,29).

W8. Procjena kvalitete digitalne slike - Za CR i DR sustave mora se izvršiti procjena kvalitete digitalne slike. Treba napraviti sliku ujednačenog fantoma koji predstavlja prosječnu debljinu grudi i kontrastni objekt (obično akrilna ploča promjera 2,5 cm i debljine 1 mm). Sljedeći kriteriji moraju biti ispunjeni:

- Vrijednost mAs ne smije odstupati od utvrđene osnovne vrijednosti za više od $\pm 10\%$,

- Omjer razlike signala i šuma (SDNR). SDNR je mjera razlike između signala i njegove pozadine podijeljene s bukom. Varijacija SDNR-a od utvrđene osnovne vrijednosti mora biti manja od $\pm 10\%$,
- Za CR sustave: Ako je indeks izloženosti S #, vrijednost S # mora biti unutar $\pm 10\%$ od utvrđene osnovne vrijednosti; ako je indeks izloženosti SAL, SAL_{log} ili PVI_{log} broj, vrijednost mora biti unutar $\pm 5\%$, ± 430 , ± 580 od utvrđene osnovne vrijednosti; ako je indeks izloženosti vrijednost EI, vrijednost mora biti unutar 40 jedinica utvrđene osnovne vrijednosti (21),
- Slike moraju biti jednolike,
- Nema vidljivih neispravnih elemenata detektora,
- Nema artefakata koji mogu ometati kliničku interpretaciju.

W9. Učinkovitost elektroničkog zaslona - Mora se provjeriti učinkovitost svih elektroničkih uređaja za prikaz koji se koriste za gledanje slika iz digitalnih sustava, kao i onih dobivenih skeniranjem radiografskih filmova. Za ovaj test preporučuje se korištenje modificiranog uzorka TG18-QC koji oponaša slike proizvedene u svakom modelu digitalne mamografske opreme ili koje se mogu interpretirati na tom radnom mjestu (ima iste xy dimenzije, broj bit-ova i DICOM standard) (21).



Slika 14. TG18-QC testni uzorak kojim se ispituje ispravnost zaslona
(Izvor: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1118/1.1861159>)

- Na zaslonima koji se koriste za tumačenje, slova “QUALITY CONT”; moraju biti vidljiva u svakoj od tri regije TG18-QC slike,

- Slike bi se trebale stalno pojavljivati na svim radnim stanicama za tumačenje (21,30).

W10. Artefakti laserskog pisača - za mamografske uređaje koji ispisuju digitalne slike, kvalitetu slika dobivenih s pisačem laserskog filma mora se provjeriti na artefakte. Treba isprintati sliku ujednačenog uzorka testa (tj. testni uzorak TG18-UNL80). Sljedeći kriteriji moraju biti ispunjeni:

- Optička gustoća mora biti ujednačena,
- Artefakti koji bi mogli ometati kliničku interpretaciju ne smiju biti prisutni (21,30).

Quality Control Procedures Under Evaluation	FS	CR	DR
Weekly Quality Control Tests			
Screen Cleanliness and Condition	W1		
Cassette Cleanliness and Conditions	W2	W2	
Visual Inspection of Cleanliness of Imaging Systems	W3	W3	W3
Darkroom Light Conditions	W4		
Darkroom Temperature and Humidity Conditions	W5		
Viewbox Conditions	W6	W6	W6
Phantom Image for Film-screen Systems	W7		
Digital Image Quality Evaluation		W8	W8
Electronic Display Device Performance	W9	W9	W9
Laser Film Printer Artefacts	W10	W10	

Slika 15. Testovi za provođenje tjedne kontrole kvalitete u Kanadi

(Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

Item	Equipment	Systems	Reference
1	Ultraviolet Light	FS	W1
2	Screen Cleaner (as recommended by manufacturer)	FS	W1
3	Hygrometer Thermometer (non-mercury) Accuracy: ± 0.3 °C Reproducibility: ± 0.1 °C	FS	W5
4	RMI 156 Phantom, with image quality evaluation objects	FS	W7
5	Viewing box	FS	W7
6	Densitometer Accuracy: ± 0.02 O.D. at 1.0 O.D. Reproducibility: ± 0.01 O.D. at 1.0 O.D.	FS, CR, DR	W7, W10
7	Acrylic disk (4 mm thick)	FS	W7
8	Acrylic disk (ex. 2.5 cm in diameter and 1mm thick)	CR, DR	W8
9	Uniform phantom representing average breast thickness (ex. PMMA of thickness 45 ± 0.5 mm)	CR, DR	W8
10	Test Pattern(s) for evaluation of electronic display device performance and laser film printer (ex. TG18-QC, TG-18 UNL80)	CR, DR	W9, W10
11	Magnifying lens (4x to 5x magnification)	CR, DR	W9, W10

Slika 16. Popis opreme koja je potrebna za tjednu kontrolu mamografskih uređaja

(Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

3.4. Mjesečna ispitivanja kvalitete mamografskih uređaja

*M (*eng. Monthly*) – mjesečno. U ovom poglavlju opisuje se šest testova koji se provode za mjesečnu kontrolu kvalitete mamografskih uređaja (M1 – M6).

M1: Mehanička, električna i ukupna sigurnosna inspekcija - Sigurnosni pregled mora biti proveden na sljedećim predmetima:

- Sobna temperatura,
- Komponente strukturnog integriteta mamografskog sustava uključujući zaštitnu opremu operatora,
- Pravilno kretanje sustava,
- Rad pokazatelja, prekidača i brojila,

- Pravilno funkcioniranje blokada,
- Ispravne bilješke slike na prikazanoj i ispisanoj slici,
- Druge stavke, prema potrebi za određeni sustav i postrojenja.

M2: Čišćenje kasete, ekrana i slikovnih ploča - kasete, zasloni i slikovne ploče moraju se očistiti i pregledati u slučaju štete. Potrebno je koristiti sredstva za čišćenje i postupke čišćenja preporučena od strane proizvođača.

M3: Točnost temperature procesora - Redovito treba provjeravati točnost prikaza temperature procesora redovito uz termometar bez žive. Temperatura razvijaa procesora treba biti točna u 0,5°C.

M4: Razina nadopune razvijaa – Razina nadopunjavanja mora se usporediti s preporučenom osnovnom razinom proizvođača za pojedini tip komore i filma, za određeni broj filmova koji se dnevno obrađuju i za postupak obrade.

M5: Procjena artefakata polja - Provjera kvalitete slike ravnog polja mora se provesti pomoću svih primjenjivih žarišnih točaka, filtera i načina uvećanja. Snimi se ujednačeni fantom i procijeni prisustvo značajnih artefakata koji mogu ometati kliničku interpretaciju. Pogledajte sliku "za obradu" u odgovarajućim postavkama širine i razine prozora odnosno odgovarajućeg kontrasta i svjetline. Slike moraju imati jednolik izgled bez značajnih artefakata.

M6: Senzometrija laserskog pisaa - mora se procijeniti postojanost performansi laserskog pisaa. Za ispis slike senzometrijske trake moraju se ispuniti sljedeći kriteriji:

- Najveća gustoća Dmax - Dmax je najtamnija razina. Dmax mora biti veći ili jednak utvrđenoj osnovnoj vrijednosti minus 0,15 OD ili 3,50 OD, ovisno o tome koja je manja,
- Srednja gustoća, MD - MD je razina najbliža optičkoj gustoći od 1,20 ili radnoj optičkoj gustoći, ali ne ispod nje. MD mora biti unutar $\pm 0,15$ OD utvrđene osnovne vrijednosti,

- Bazno (osnovno) zacrnjenje (B + F) - B + F mora biti manje ili jednako vrijednosti utvrđene osnovne vrijednosti plus 0,03 OD.

Treba imati na umu da se ovaj test mora provoditi mjesečno za laserske pisaae suhe obrade. Međutim, za laserske pisaae mokre obrade ovaj se test mora obaviti svaki dan prije snimanja kliničkih slika (21).

Quality Control Procedures Under Evaluation	FS	CR	DR
Monthly Quality Control Tests			
Mechanical, Electrical and Overall Safety Inspection	M1	M1	M1
Cassette, Screen and Imaging Plate Cleaning	M2	M2	
Accuracy of Processor Temperature	M3		
Replenishment rate	M4		
Extended Full Field Artefacts Evaluation		M5	M5
Laser Printer Sensitivity		M6	M6

Slika 17. Testovi za mjesečnu kontrolu kvalitete mamografskih uređaja u Kanadi

(Izvor <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.html>)

Item	Equipment	Systems	Reference
1	Thermometer (non-mercury) Accuracy: ± 0.3 °C Reproducibility: ± 0.1 °C	FS	M1, M3
2	Screen Cleaner (as recommended by manufacturer)	FS	M2
3	Ultraviolet Light	FS	M2
4	Uniform phantom representing average breast thickness (ex. PMMA test object thickness 45 ± 0.5 mm)	CR, DR	M5
5	Densitometer	CR, DR	M6
6	Printer sensitometry strip produced by printer or sent from acquisition workstation.	CR, DR	M6

Slika 18. Oprema kojom se provode mjesečna testiranja mamografskih uređaja

(Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

3.5. Tromjesečno/ kvartalno testiranje kontrole kvalitete

*Q (eng. *Quartely*) – tromjesečno. U ovom poglavlju opisuje se 5 testova koji se provode za tromjesečnu kontrolu kvalitete mamografskih uređaja (Q1 – Q5).

Q1: Analiza zadržavanja fiksira - Ispitivanja zadržavanja fiksira moraju se izvesti kako bi se osiguralo da se fiksir na odgovarajući način ukloni iz obrađenih filmova prema utvrđenim osnovnim vrijednostima. Razina zaostalog fiksira ne smije prelaziti $0,05 \text{ g / m}^2$.

Q2: Analiza ponovljenih snimki - I za film-folija i za digitalni mamografski sustav treba napraviti analizu ponovljenih zapisa kako bi se identificirala i ispravila bilo kakva ponavljanja ili pogreške. Slike koje se ponavljaju definirane su kao slike snimljene zbog loše kvalitete. To ne uključuje slike snimljene za potrebe kontrole kvalitete, slike snimljene radi dobivanja dodatnih prikaza ili dodatne slike snimljene jer prethodno nije obuhvaćena cijela dojka pacijentice koje se zbog veličine dojki nije moglo snimiti. Ponovljeni zapisi moraju se voditi i analizirati pojedinačno za svaki mamografski sustav. Ustanove moraju voditi evidenciju za svako ponavljanje, razlog ponavljanja zajedno s bilo kojim korektivnim radnjama, odmah nakon snimanja ponovljene slike. Ako slike sadrže neke dijagnostičke podatke o pacijentu, treba ih zadržati u dosjeu pacijenta. Stopa ponavljanja mora biti manja od 5 % i trebala bi biti manja od 2 %.

Q3: Evaluacija CR opreme: prostorna rezolucija / modulacijska funkcija prijenosa (MTF) - Mora se obaviti procjena prostorne rezolucije CR-ovih mamografskih sustava. Prostorna razlučivost je sposobnost razlučivanja objekata u rezultirajućoj slici kada je razlika u prigušenju između objekata i pozadine velika u odnosu na buku/šum. Prostorna razlučivost može se procijeniti slikanjem MTF testnog uređaja i korištenjem odgovarajućeg softvera, slijedeći postupke testiranja proizvođača ili korištenjem alternativne metode koju kvalificirani fizičar smatra prihvatljivom. MTF mora biti unutar proizvodnih specifikacija i utvrđenih osnovnih vrijednosti. Ovaj se test također može izvesti na DR sustavima, međutim, mala je vjerojatnost da će se prostorna rezolucija značajno mijenjati na tromjesečnoj osnovi za ove sustave.

Q4: Kvaliteta laserskog pisara - mora se procijeniti kvaliteta ispisanih slika. Za ovaj test preporučuje se korištenje modificiranog uzorka TG18-QC koji oponaša slike proizvedene u svakom modelu digitalne mamografije u objektu ili koje se mogu interpretirati na ovom radnom mjestu (tj. da ima iste x-y dimenzije, broj bita i zaglavlje DICOM koja sadrži odgovarajuće vrijednosti svih relevantnih oznaka).

Q5: Učinkovitost digitalizatora filma - Mora se procijeniti učinkovitost digitalizatora filma kako bi se osiguralo da je kvaliteta digitaliziranih slika usporediva s filmom. Rezolucija digitaliziranih slika trebala bi odgovarati rezoluciji digitalizatora (21).

Quality Control Procedures Under Evaluation	FS	CR	DR
Quarterly Quality Control Tests			
Fixer Retention Analysis	Q1		
Repeat Analysis	Q2	Q2	Q2
Spatial Resolution/Modulation Transfer Function (MTF) Evaluation of CR Equipment		Q3	
Laser Printer Quality	Q4	Q4	Q4
Film Digitizer Performance	Q5		

Slika 19. Testovi koji se provode prilikom tromjesečne kontrole kvalitete mamografskih uređaja (Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

Item	Equipment	Systems	Reference
1	Fixer Retention Test Kit	FS	Q1
2	MTF test device and software to calculate MTF	CR	Q3
3	Test Pattern(s) for evaluation of electronic display device performance and laser film printer (ex. TG18)	CR, DR	Q4, Q5
4	Magnifying lens (4X to 5X magnification)	FS,CR, DR	Q4
5	Ruler	FS,CR,CR	Q4

Slika 20. Oprema za provođenje tromjesečnih testova za kontrolu mamografskih uređaja (Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

3.6. Polugodišnje ispitivanje kvalitete

*SA (*eng. Semi-Annual*) - polugodišnje. U ovom poglavlju opisuju se četiri testa koja se provode za polugodišnju kontrolu kvalitete mamografskih uređaja (SA1 – SA4).

SA1. Uređaj za kompresiju dojki - uređaj za kompresiju mora se evaluirati kako bi se provjerila sila kompresije, poravnavanje kompresijskih ploča i točnost naznačene debljine grudi.

- Varijacija izmjerene i prikazane kompresijske sile mora biti unutar $\pm 2,0\text{kg}$ ($\pm 4,5\text{ lbs}$, $\pm 20\text{ N}$),
- Najveća ručna sila kompresije mora biti manja od 300 N. Maksimalna sila kompresije za početni pogon snage mora biti između 11,4 kg (25 lbs, 111 N) i 20,5 kg (45 lbs, 200N). Mamografska oprema mora biti sposobna održavati silu kompresije unutar $\pm 1\text{ kg}$ (2,2 lbs, 9,8N) najmanje 1 minutu,
- Kompresijska ploča mora biti ravna i paralelna s površinom receptora slike i ne smije se odvajati od paralele za više od 1 cm u bilo kojoj točki na površini ploče za kompresiju kada se primijeni sila. Oprema koja je dizajnirana tako da nije ravna i paralelna mora zadovoljiti specifikacije proizvođača i zahtjeve za održavanje,

SA2. Ispitivanje sigurnosnog svjetla u tamnoj komori za testiranje zacrnjenja - Slika mamografskog fantoma izložena minimalnoj optičkoj gustoći od 1,4 jedinice ne smije pokazati povećanje optičke gustoće veće od 0,05 jedinica tijekom dvije minute izloženosti svjetlu u tamnoj sobi.

SA3. Film-folija kontakt - Sve kazete koje se koriste u mamografiji moraju se ispitati pomoću bakrene mrežice od 16 metalnih žica / cm (40 metalnih žica / inč). Kazete s velikim površinama promjera većeg od 5 mm s lošim kontaktom koje se ne uklanjaju čišćenjem zaslona i ostaju na istom mjestu tijekom sljedećih ispitivanja moraju se zamijeniti. Područja s lošim kontaktom većim od 2 mm na rubu torakalne stjenke nisu prihvatljiva.

SA4. Varijacija osjetljivosti unutar ploče fosfornih ploča - Za CR opremu mora se procijeniti varijacija osjetljivosti unutar ploče.

- Odstupanje odnosa signala i šuma u referentnom području ne smije prelaziti $\pm 15\%$ između svih klinički korištenih slikovnih ploča,

- Odstupanja u zabilježenoj ulaznoj kermi na ili u punjenju cijevi (mAs) ne smiju prelaziti $\pm 10\%$.),
- Na slikama ne smije biti većih nemogenosti (21).

Quality Control Procedures Under Evaluation	FS	CR	DR
Semi-Annual Quality Control Tests			
Breast Compression Device	SA1	SA1	SA1
Safelight Test for Darkroom Fog	SA2		
Screen/Film Contact	SA3		
Interplate Sensitivity Variation of Imaging Plates		SA4	

Slika 21. Polugodišnji testovi za kontrolu kvalitete mamografskih uređaja u Kanadi (Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

Item	Equipment	Systems	Reference
1	Compression force test device (conventional analog scale)	FS, CR, DR	SA1
2	Bath towels or blocks of foam rubber (specific mass: about 30 mg/cm ³)	FS, CR, DR	SA1
3	Tape measure	FS, CR, DR	SA1, SA3
4	PMMA slabs of uniform thickness	FS, CR, DR	SA1, SA4
5	Densitometer Accuracy: ± 0.02 O.D. at 1.0 O.D. Reproducibility: ± 0.01 O.D. at 1.0 O.D.	FS	SA2
6	Stopwatch	FS	SA2
7	Film/Screen contact test tool for mammography (40 mesh)	FS	SA3

Slika 22. Oprema koja se koristi za provođenje polugodišnjih testova kontrole kvalitete mamografskih uređaja

(Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

3.7. Godišnje ispitivanje kontrole kvalitete

*A (eng. *Annual*) -godišnje. U ovom poglavlju opisuje se 16 testova koji se provode za godišnju kontrolu kvalitete mamografskih uređaja (A1 – A16).

A1. Točnost napona u cijevi - Na naponu cijevi koji se obično koristi klinički, napon rendgenske cijevi ne smije odstupiti od odabrane vrijednosti za više od 5%.

A2. Ponovljivost napona cijevi - Kod napona cijevi koji se obično koristi u kliničkim uvjetima, koeficijent varijacije kVp mora biti jednak ili manji od 0,02, na temelju 5 mjerenja pri svakom podešavanju napona u cijevi. Treba paziti da, ako postotak razlike između prvih dva mjerenja nije veći od 5%, prihvatljiva su samo dva mjerenja na svakoj postavci napona u cijevi (21).

A3. Reproductivnost/ponovljivost i linearnost izlaza zračenja (zračna kerma) – Reproductivnost i linearnost kerme zraka moraju se procijeniti ručnim načinom, kombinacijom Mo / Mo ciljanog filtera i naponom rendgenske cijevi od 28 kVp. Prvo treba odabrati 3 najčešće korištene postavke mAs. Ako postotak razlike između prvih dva mjerenja nije veći od 5%, prihvatljiva su samo dva mjerenja na svakoj mAs postavci. Pri svakoj postavci mAs treba izračunati prosječnu vrijednost kerme u zraku i izlaz (Y) tako da se svaka prosječna vrijednost kerme u zraku podijeli s odgovarajućom vrijednosti mAs. Za uzastopne parove postavki mAs linearnost se računa kao $L = 100 (Y1-Y2) / (Y1 + Y2)$. Linearnost mora biti manja od $\pm 10\%$ (21).

A4. Normalizirani izlaz zračenja - Pomoću vrijednosti izlaza (Y) dobivenih na prethodnom ispitivanju A3 normalizirani izlaz se računa primjenom prava obrnutog kvadrata za dobivanje izlaza na 1,0 m. Normalizirani izlaz pri 28 kVp s kombinacijom Mo / Mo ciljanog filtera mora biti veći od 30 $\mu\text{Gy} / \text{mAs}$ (21).

A5. Filtracija snopa zraka – Debljina poluapsorpcije mora se odrediti za sve uobičajene kliničke postavke napona rendgenske cijevi i kombinacije cilj/ filter (TFC). Debljina poluapsorpcije (HVL) aluminija, s namještenom kompresijskom pločom, mora biti unutar raspona koji se definira prema formuli na Slici 23.

$$\frac{X \text{ ray Tube Voltage (kV)}}{100} + 0.03 \leq HVL \text{ (mm of Al)} \leq \frac{X \text{ ray Tube Voltage (kV)}}{100} + C$$

Slika 23. Formula za izračun debljine poluapsorpcije pri korištenju različitih kombinacija cilj/filter.
(TFC)

(Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

Gdje je vrijednost C:

- 0.12 za Mo/Mo
- 0.19 za Mo/Rh
- 0.22 za Rh/Rh
- 0.30 za W/Rh
- 0.32 za W/Ag
- 0.25 za W/Al (21).

A6. Kolimacija – Mora se procijeniti kolimacija kako bi se osigurala potpuna izloženost receptora slike i poravnavanje kompresijske ploče s rubom receptora koji se nalazi uz torakalnu stjenku.

Rendgensko polje:

- Mora u potpunosti pokrivati cijelo područje prijema slike,
- Mora se protezati do ruba nosača za pacijenta koji je oblikovan tako da bude blizu torakalne stjenke pacijenta i ne smije se protezati preko tog ruba više od 5 mm,
- Ne smije se širiti za više od 2 posto žarišta do udaljenosti receptora slike izvan svih ostalih rubova područja prijema slike.

Poravnavanje kompresijske ploče mora biti takvo da rub ploče za kompresiju:

- Ne smije biti vidljiv na slici,

- Ne smije prelaziti preko ruba receptora slike koji je uz torakalnu stjenku za više od 5 mm.

A7. Usklađivanje svjetlosnog polja i polja zračenja - Treba napraviti procjenu usklađenosti svjetlosnog polja i polja zračenja.

A8. Automatska kontrola izlaganja/ekspozicije (AEC) - Učinkovitost AEC-a mora se procijeniti

- (a) AEC - Reproductivnost/ponovljivost AEC-a i maksimalno vrijeme ekspozicije za film-folija sustave. Upotrebom PMMA debljine 4,5 cm i odgovarajućeg materijala za razmak-odstojnika (debljine 8 mm, radiolucentni ekspanzirani polistiren u obliku slova U) trebaju se napraviti četiri izlaganja. Zabilježiti mAs za svako izlaganje. Koeficijent varijacije mAs ne smije biti veći od 0,05. Vrijeme ekspozicije mora biti kraće ili jednako 2 sekunde u načinu kontakta i manje ili jednako 3 sekunde u načinu uvećanja.

- (b) AEC - Konstantnost optičke gustoće za FF sustave

Optička gustoća mamografskih filmova mora se na odgovarajući način utvrditi i ostati konstantna. Optička gustoća mora biti najmanje 1,4 OD i trebala bi biti u rasponu od 1,6 OD do 1,9 OD. Pomoću debljine 4,5 cm PMMA i odgovarajućeg odstojnika (debljine 8 mm, radiolucentni ekspanzirani polistiren u obliku slova U) treba snimiti sliku s kontrolom gustoće u položaju "0" ili "normalno". Treba obraditi film i izmjeriti optičku gustoću u točki 40 mm od ruba stjenke prsnog koša, centrirano lateralno. Izmjerene vrijednosti optičke gustoće moraju biti unutar $\pm 0,15$ OD od utvrđene osnovne vrijednosti.

- (c) AEC -kompenzacija za debljinu objekta za film-folija sustave

AEC uređaj mora raditi na način da varijacija optičke gustoće na rezultatima slike ne prelazi $\pm 0,15$ srednje optičke gustoće kada ravnomjerno prigušivanje ekvivalentnog materijala tkiva dojke varira u rasponu od 2 do 7 cm i napona u cijevi, a kombinacije anodnih filtera se mijenjaju na odgovarajući način u rasponu koji se koristi u ustanovi.

- (d) AEC – Kontrolne postavka optičke gustoće za film-folija sustave

Varijacije optičke gustoće slika nastalih promjenom selektora za kontrolu optičke gustoće moraju biti u rasponu od 0,05 OD do 0,25 OD.

(e) AEC – Reproductivnost /ponovljivost za digitalne sustave

Za sustave CR i DR primjenjuju se zahtjevi utvrđeni u testu A8 (a) za FF sustave.

(f) AEC - Kompenzacija za debljinu objekta i maksimalno vrijeme ekspozicije za digitalne sustave

Učinkovitost AEC-a mora se procijeniti zajedničkom procjenom kvalitete slike, izmjerenim omjerom razlike signala i šuma u određenim uvjetima i dozi za pacijenta, kako je karakterizirano srednjom žljezdanom dozom i uspoređujući ih s utvrđenim osnovnim vrijednostima. Omjer razlike signala i šuma određuje se pomoću jednoličnih PMMA ploča debljine u rasponu od 2 do 7 cm, odgovarajućih razmaknica i kontrastnog predmeta (npr. PMMA disk debljine 1 mm, promjera 25 mm). U kontaktnom načinu, vrijeme ekspozicije mora biti ≤ 2 sekunde za 45 mm PMMA odnosno, ≤ 4 sekunde za 70 mm PMMA.

(g) AEC - Koraci za kontrolu izlaganja u digitalnim sustavima

Varijacija u opterećenju cijevi (mAs) proizvedena promjenom koraka kontrole izloženosti trebala bi osigurati otprilike $\pm 10\%$ do $\pm 25\%$ odstupanja u mAs po koraku.

(h) AEC - Podudarnost između AEC senzora

Za mamografske sustave koji imaju više neovisnih AEC senzora, treba procijeniti izvedbu pojedinih senzora. Sposobnost ispravnog odabira svakog senzora treba biti potvrđena. Odstupanje optičke gustoće između svih AEC senzora trebalo bi biti unutar 0,20 OD. Kod CR sustava, varijacija u mAs između svih AEC senzora trebala bi biti unutar $\pm 15\%$

(i) AEC – pomoćni brojač

Za mamografsku opremu proizvod trenutnog vremena ne smije prelaziti 800 mAs (21).

A9. Učinkovitost/performance receptora slike

Učinkovitost receptora slike mora se provjeriti u skladu s proizvođačkim specifikacijama i utvrđenim osnovnim vrijednostima.

(a) Ujednačenost brzine/uniformnost za FF sustave

Mora se procijeniti ujednačenost radiografske brzine svih rutinski korištenih receptora slike. Razlika između minimalne i maksimalne optičke gustoće filma ne smije prelaziti 0,25 jedinica OD.

(b) Fantomska slika za FF sustave

Za mamografski fantom RMI-156 moraju biti vidljiva najmanje četiri najveća vlakna, tri najveće skupine mrlja i tri najveće mase.

- Broj ispitnih objekata svake skupine (vlakna, mrlje i mase) vidljivi na fantomskoj slici ne smije se smanjiti za više od polovice,
- Optička gustoća pozadinske slike fantoma trebala bi biti između 1,5 OD i 1,9 OD i ne smije se mijenjati za više od $\pm 0,20$ od radne razine,
- Razlika gustoće zbog akrilnog diska od 4,0 mm mora biti najmanje 0,40 i ne smije se mijenjati za više od $\pm 0,05$ od utvrđene radne razine.

(c) Prostorna linearnost i geometrijska distorzija

Za sustave s pokretnim dijelovima, kao što je CR, mora se provesti procjena prostorne linearnosti i geometrijske distorzije. Pomoću geometrijskog alata za ispitivanje izobličenja postavljenog izravno na površinu nosača ploče treba eksponirati koristeći AEC. Nakon toga se postavi testni alat na stol za povećanje i dobije se druga slika. Procjenom slika se osigura:

- Veličina slike mora biti unutar 10% od navedene proizvođačke nazivne veličine,
- Dimenzije prostorne širine i duljine (x i y) moraju biti unutar 5% jedna od druge,
- Udaljenosti izmjerene pomoću alata za bilježenje na radnoj stanici moraju biti unutar 5% stvarne veličine,
- Trebalo bi biti manje od 2% odstupanje od ravne linije preko duljine 100 mm, u sredini polja.

(d) Funkcija odaziva i evaluacija šuma

Mora se procijeniti reakcija karakteristika detektora i buke/šuma s različitim opterećenjem cijevi (proizvod trenutnog vremena). Korištenjem ručnog načina, jednolični ispitni blok s kontrastnim objektom mora se slikati za najmanje 4 različita punjenja cijevi (mAs) koji pokrivaju raspon koji se obično koristi klinički. Za CR sustave koji nemaju sposobnost za analizu područja interesa (ROI), indeks izloženosti mora se zabilježiti.

Pomoću neobrađenih slika treba se izmjeriti srednja vrijednost piksela u području koje nas zanima (od približno 80 mm²) koje se nalazi u potpunosti unutar kontrastnog objekta (A), a u referentnom području od interesa koje se nalazi neposredno uz kontrastni objekt izmjeri se srednju vrijednost piksela (B) i standardno odstupanje (C). Izračuna se omjer razlika signala i šuma kao $SDNR = |A-B| / C$.

Za linearne sustave treba crtati srednju vrijednost piksela unutar kontrastnog objekta, varijancu (tj. standardno odstupanje u kvadratu) i omjer razlike između signala i šuma prema mAs.

(e) Homogenost slike i procjena artefakta

Korištenjem jednoličnog ispitnog bloka debljine 45 mm, koji pokriva cijeli detektor, dobivaju se slike u kliničkim uvjetima za dojke jednake debljine, za sve upotrijebljene kombinacije filtera. Pomoću povećala i 25 mm PMMA ispitnog bloka eksponirati slike u kliničkim postavkama i odgovarajućim kombinacijama ciljnih filtera. Ispitati sve neobrađene slike pomoću postavki prozora i razine prikladnih za vizualizaciju predmeta.

- Ne smiju postojati artefakti dovoljno značajni koji bi mogli ometati interpretaciju slike (vidljivi „mrtvi pikseli“, crte koje nedostaju, stupovi koji nedostaju),
- Ne smiju postojati vizualno ometajući strukturirani uzorci buke,
- Ne smiju postojati regije vidljivo različite gustoće,
- Ne smije postojati područje neočekivanih promjena u veličini buke. Treba napomenuti da se za CR sustave nejednolikost zbog „heel efekta“ ne može ukloniti.

(f) Neispravni detektorski elementi

Za sustave direktne radiografije mora se izvršiti pregled neispravnih detektorskih elemenata (mapa loših piksela) digitalnog receptora rendgenske slike. Broj neispravnih elemenata detektora mora biti unutar proizvodnih specifikacija.

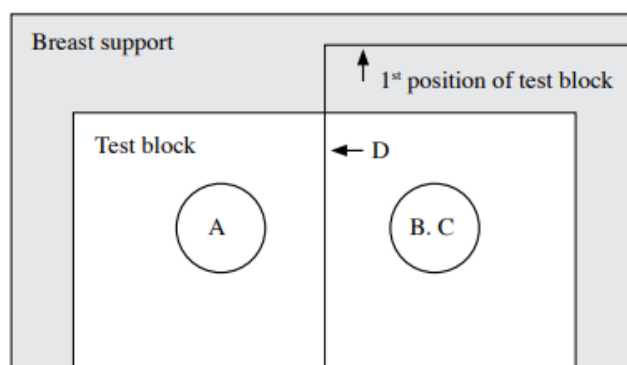
(g) Rezidual digitalnog detektora / „Ghost image“

Procjenjuje se razine „ghost image“ koja je posljedica prethodne slike.

Postupak

- Postavi se jednolični testni blok koji pokriva desnu polovicu receptora slike,

- Ručnim odabirom napraviti sliku u tipičnim kliničkim uvjetima za prosječnu dojku,
- Postaviti ispitni blok tako da je poravnat i centriran duž ruba torakalne stjenke,
- Čim je sustav spreman, treba napraviti drugu sliku,
- Važno je da proteklo vrijeme između slika bude kratko (1 minuta ili kraće) kako bi bilo u skladu s tipičnim vremenima između slika u kliničkoj uporabi,
- Pomoću alata za analizu područja interesa odrediti srednje vrijednosti piksela A i B i standardno odstupanje, C,
- Izračunati omjer signal-razlika-šum kao $SNDR = | (A-B) | / C$. Vrijednost SNDR mora biti manja ili jednaka 2,0,
- Gledajući drugu sliku (inačica „za obradu“) u klinički korištenim postavkama prozora, slika ispitnog bloka u prvom položaju ne smije biti vidljiva (21).



Slika 24. Shema za test rezidualne slike tzv. „ghost image”

(Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

A10. Kvaliteta slike

Kvaliteta mamografskih slika mora se provjeriti u skladu s proizvođačkim specifikacijama i utvrđenom osnovnom razinom.

- (a) Prostorna razlučivost FF sustava - Korištenjem alata za ispitivanje uzorka trake razlučivosti, minimalno izmjerena prostorna razlučivost mamografskog sustava mora biti:
- 11 linijskih parova / mm kada je ispitni uzorak visoke kontrastne razlučivosti orijentiran s trakama okomitim na osi anoda-katoda,

- 13 linijskih parova / mm kada su trake paralelne s osi.

Kada se koristi više od jednog ciljanog materijala, mjerenje se mora izvršiti korištenjem svih mogućih kombinacija žarišta i ciljnog materijala. Kada je osigurano više od jednog SID-a, ispitivanje se mora provesti na SID-u koji se najčešće koristi klinički. Napon rendgenske cijevi mora se postaviti na vrijednosti koju klinički koristi ustanova za prosječnu dojku i mora se izvesti u AEC načinu rada, ako je dostupan.

(b) Funkcija prijenosa modulacije (MTF) - Digitalni sustavi

Mora se napraviti kvantitativna procjena prostorne rezolucije digitalnih mamografskih sustava. MTF se mjeri slikanjem MTF testnog uređaja, postavljenog na 45 mm PMMA koristeći kliničke uvjete za prosječnu dojku. Da bi se izračunao MTF koristi se slika "za obradu" i softver MTF.

- Prostorne frekvencije na kojima MTF pada na 50% i 20% ne smiju biti manje od utvrđenih razina. Vrijednosti prihvatljivih frekvencija na kojima MTF pada na 50% i 20% dostupne su iz IAEA (21,28),
- MTF pri 2,5, 5 i 7,5 ciklusa / mm ne smije se mijenjati više od 10% od utvrđenih početnih vrijednosti (21,28).

Preporučuje se procjena prostorne rezolucije sustava procjenom MTF-a, međutim, ako to nije moguće, ograničavajuća prostorna rezolucija, određena korištenjem zvjezdastog uzorka ili u obliku šipke, može biti alternativa.

A11. Dozimetrija

Mora se procijeniti ulazna kerma zraka i srednja žljezdana doza.

(a) Ulazna površinska kerma u zraku -

Za film-folija sustave, ulazna kerma zraka (bez raspršenog zračenja) mora se mjeriti korištenjem utvrđenih faktora izloženosti odabranih za izlaganje fantomskog ekvivalenta standardnoj dojci ($45 \pm 0,5$ mm). Ulazna površinska kerma u zraku mora se odnositi na optičku gustoću od 1,6 do 2,0.

Za digitalnu mamografsku opremu, ulazna kerma zraka (bez raspršenog zračenja) mora se mjeriti korištenjem utvrđenih faktora izloženosti koji stvaraju prihvatljive razine signala (SDNR) za izlaganje PMMA debljina od 20 mm, 45 mm i 70 mm. Izmjerene vrijednosti ulazne kerme moraju biti unutar utvrđenih početnih razina.

(b) Izračun standardne žljezdane doze za dojku (MGD)

MGD u standardnoj dojci ne smije prelaziti 3,0 mGy i ne smije biti veći od 2,5 mGy. Za digitalne mamografske sustave MGD se mora procijeniti na dojkama s 20 mm, 45 mm i 70 mm PMMA

Alternativno, fantomi za dojku poput RMI-156 ili NA # 18- 220 koji predstavljaju dojku sastavljenu od 50 % masnog i 50 % žljezdanog tkiva i komprimirane do 42 mm debljine mogu se koristiti za određivanje reprezentativne srednje žljezdane doze za dojku sličanog sastava. Srednja žljezdana doza ne smije biti veća od 2,5 mGy i mora biti unutar utvrđene početne razine (21).

A12. Negatoskopi - Svi negatoskopi koji se koriste za interpretaciju mamograma moraju biti testirani u skladu sa sljedećim zahtjevima. Treba provjeriti jesu li svi negatoskopi uključeni najmanje 30 minuta prije dobivanja mjerenja.

(a) Osvjetljenje - Osvjetljenje prikazanog polja treba biti najmanje $3.500 \text{ cd} / \text{m}^2$.

(b) Uniformnost izlaza svjetlosti - Izlaz svjetlosti iz okvira za pregled trebao bi biti ujednačen do 10 %.

(c) Homogenost izlazne svjetlosti - Homogenost izlazne svjetlosti između svih okvira za pregled koji se koriste za mamograme trebala bi biti ujednačena na razinu od 15%.

(d) Kontrola ambijentalne svjetlosti - Osvjetljenje okoline u čitaonici mora biti manje od 40 luxa (21).

A13. Učinkovitost elektroničkog prikaza zaslona

Mora se provjeriti učinkovitost svih elektroničkih uređaja za prikaz, bilo da su dio radne stanice za interpretaciju / pregled ili radne stanice za nabavu. Treba koristiti godišnje testove kontrole kvalitete koje preporučuje Američko udruženje fizičara u medicini (AAPM, 2005.), uključujući TG18 uzorke ispitivanja, postupke ispitivanja i kriterije prihvatanja (18,21). Za ovaj test preporučuje se korištenje modificiranih testnih uzoraka koji oponašaju slike proizvedene u svakom modelu digitalne mamografije u objektu ili koje se mogu interpretirati na ovom radnom mjestu (tj. imaju iste xy dimenzije, broj bitova i zaglavlje DICOM koja sadrži odgovarajuće vrijednosti svih relevantnih oznaka). Prije testiranja sustav za prikazivanje mora biti zagrijan. Treba osigurati da razine osvjetljenja okoline budu odgovarajuće (20 - 40 luxa) i da su reprezentativni za uvjete pod kojima se pregledavaju kliničke slike. Preporučuje se udaljenost od gledanja od 30 cm.

a) Najveća razlika u osvjetljenju između monitora istog radnog mjesta zaslona mora biti unutar $\pm 10\%$.

- b) Raspon osvjtljenja - Omjer najveće osvjtljenosti i minimalne osvjtljenosti mora biti ≥ 250 za primarne uređaje za prikaz i ≥ 100 za pomoćne uređaje za prikaz.
- c) Funkcija prikaza sive boje (GSDF) - Digitalni mamogrami moraju se dosljedno pojavljivati na različitim uređajima za elektronički prikaz. Prikažite i izmjerite osvjtljenje na sredini ekrana ispitnih uzoraka TG18 svjetlosti (TG18-LN12-01 do TG18-LN12-18). Imajte na umu da se ovaj test ne odnosi na uređaje za prikaz radne stanice. Koristite softver za određivanje sukladnosti s DICOM Grayscale Standardnom funkcijom prikaza (GSDF). Izračunana kontrastna funkcija mora biti unutar $\pm 10\%$ GSDF kontrastnog odgovora za prikaze primarne klase i unutar $\pm 20\%$ GSDF kontrastnog odgovora za prikaze sekundarne klase
- d) Uniformnost osvjtljenja - kontrastna vidljivost mora biti ujednačena u svim regijama uređaja za prikaz. Prikazujući TG18 testne uzorke TG18-UNL10 i TG18-UNL80, izmjerite svjetlinu zaslona na pet lokacija za svaki monitor. Najveće odstupanje osvjtljenja, izračunato prema $(L_{\max} - L_{\min}) / L_{\text{centre}}$, mora biti manje od 0,3 (30%) (21).

A14. Pisači

Djelovanje pisaa mora se procijeniti kako bi se osiguralo da je kvaliteta ispisa dosljedna i da je kvaliteta ispisanih slika usporediva s kvalitetom slika na monitoru zaslona. Za ovaj test preporučuje se korištenje modificiranih testnih uzoraka koji oponašaju slike proizvedene u svakom modelu digitalnog mamografskog sustava u postrojenju ili koje se mogu interpretirati na tom radnom mjestu (tj. ima iste xy dimenzije, broj bitova, i zaglavlje DICOM koja sadrži odgovarajuće vrijednosti svih relevantnih oznaka).

- Geometrijska distorzija - pravci moraju biti ravni, a maksimalno prostorno odstupanje ne smije prelaziti 2%,
- Funkcija prikaza sivih tonova - mora se utvrditi odgovara li pisaa DICOM GSDF. Printajući testni uzorak TG18-PQC, izmjeri se optička gustoća označenih 18 područja. GSDF se određuje osvjtljenjem koja odgovara optičkoj gustoći. Koristi se softver za određivanje sukladnosti s DICOM GSDF. Izračunata kontrastna funkcija mora biti unutar $\pm 10\%$ GSDF kontrasta.

(c) Ravnoteža gustoće - Optička gustoća mora biti ujednačena u svim područjima ispisane slike. Maksimalno odstupanje optičke gustoće, izračunato $(L_{\max} - L_{\min}) / L_{\text{centre}}$, mora biti manje od 0,1 (10%) (21).

A15. Općenito preventivno održavanje

Preventivno održavanje rendgenske opreme i pribora potrebno je za produljenje životnog vijeka opreme. Godišnji pregled mora se provoditi za strukturnu cjelovitost, čistoću, lakoću kretanja svih komponenata i na sve druge postupke koje preporučuju proizvođači.

Item	Equipment	Systems	Reference
1	Non-invasive x-ray tube voltage meter Accuracy: ± 1.5 kV Reproducibility: ± 0.5 kV	FS, CR, DR	A1, A2
2	Dosimeter Accuracy: ± 5 % Reproducibility: ± 1 %	FS, CR, DR	A3, A4, A5, A11
3	Aluminum filter (> 99.9 % purity) Accuracy: 1 % thickness	FS, CR, DR	A5
4	Metal plate to shield the detector from x-rays (ex.: 1 mm steel, 5 mm Aluminium, > 0.1 mm lead)	FS, CR, DR	A5
5	Ruler(s) or measuring tape	FS, CR, DR	A5, A6, A7
6	Two Radiographic Rules	CR, DR	A6
7	Phosphorescent screen material (approx. 20 mm x 50 mm)	CR, DR	A6
8	Contrast Objects (ex. metallic foil or markers, coins, PMMA disk)	FS, CR, DR	A6, A7, A8
9	Multiple sheets of uniform, tissue equivalent attenuator (ex. a set of 10 mm thick PMMA plates covering the complete detector area capable of providing thicknesses of 20, 45 and 70 mm) or uniform phantom representing average breast thickness (ex. PMMA of thickness 45 ± 0.5 mm)	FS, CR, DR	A6, A8, A9, A10, A11
10	Appropriate spacers (ex: radioluscent U shaped rigid expanded polystyrene)	FS, CR, DR	A8, A11
11	Stopwatch	FS, CR, DR	A8, A10
12	Densitometer Accuracy: ± 0.02 O.D. at 1.0 O.D. Reproducibility: ± 0.01 O.D. at 1.0 O.D	FS	A8, A9, A10, A14
13	Phantom, with image quality evaluation objects (ex. RMI-156)	FS	A9, A11
14	Magnifying lens (4x to 5x magnification)	FS, CR, DR	A9, A10, A14
15	ROI capability or QC software for image analysis	CR, DR	A9
16	Geometric Distortion Test Tool	CR	A9
17	Spatial Resolution test tool (ex. resolution test pattern up to 20 lp/mm)	FS, CR, DR	A10
18	MTF test device and software to calculate MTF	CR, DR	A10
19	Light meter (for measurement of luminance and Illuminance) Accuracy: ± 10 % Reproducibility: ± 5 %	FS, CR, DR	A12, A13
20	Test Pattern(s) for evaluation of electronic display device performance and laser film printer (ex. TG18 or SMPTE)	CR, DR	A13, A14
21	Transparent Ruler	CR, DR	A14

Slika 25. Testovi i oprema koja se koristi za godišnju kontrolu kvalitete mamografskih uređaja u Kanadi

(Izvor: <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.htm>)

4. PROTOKOL REPUBLIKE HRVATSKE

U Republici Hrvatskoj zakonski je propisano provoditi kontrolu kvalitete mamografskih uređaja na dnevnoj, tjednoj, mjesečnoj te godišnjoj bazi.

Program osiguranja i kontrole kvalitete izrađen prema nacionalnoj legislativi propisanom u Prilogu 15 Pravilnika o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18) (31,32,33).

Prema Pravilniku redovito godišnje ispitivanje izvora ionizirajućeg zračenja, uređaja i opreme provode ovlaštene stručni tehnički servisi, ali mogu i isključivo unutar ustanove u kojoj su zaposleni, samostalno provoditi:

- a) stručnjak za medicinsku fiziku
- b) medicinski fizičar uz nadzor stručnjaka za medicinsku fiziku
- c) osoba koja je završila preddiplomski i diplomski sveučilišni studij ili integrirani preddiplomski i diplomski sveučilišni studij i na dan stupanja na snagu ovoga Pravilnika ima najmanje četiri godine iskustva na poslovima ispitivanja izvora ionizirajućeg zračenja, uređaja i opreme, o čemu postoji pisani dokaz (31).

Također, isključivo unutar ustanove u kojoj su zaposleni, i prihvatno ispitivanje i redovito ispitivanje mogu provoditi gore navedeno osobe.

Redovito ispitivanje mogu provoditi još i osobe koje rukuju izvorima ionizirajućeg zračenja, uređajima i opremom ukoliko su osposobljene za takvu vrstu ispitivanja, o čemu postoji pisani dokaz (31).

PARAMETAR	GRANICE DOPUŠTENIH ODSUPANJA	Učestalost ispitivanja			Napomene
		Godišnje	Mjesečno	Dnevno	
Visoki napon na rendgenskoj cijevi					
Odstupanje visokog napona	< 2 kV	X			
Sloj poluapsorpcije pri 28 kV (tipične vrijednosti)					
Mo + 30 µm Mo	0,36 ± 0,02 mm Al	X			
Mo + 25 µm Rh	0,42 ± 0,02 mm Al	X			
Rh + 25 µm Rh	0,43 ± 0,02 mm Al	X			
W + 50 µm Rh	0,54 ± 0,03 mm Al	X			
W + 45 µm Al	0,37 ± 0,03 mm Al	X			
Dozimetrijske značajke					
Dozni izlaz rendgenske cijevi	Dosljednost s kV bolja od 20 %	X			
Ki za referentnu snimku	< 10 mGy	X			28 kV, 4,5 cm PMMA
Geometrija polja zračenja					
Poravnanje polja zračenja i detektora slike	< 5 mm	X	X		
Kompresija					
Sila kompresije	< 300 N; Uređaji s automatskim podešavanjem kompresije: između 150 N i 200 N	X	X		
Dosljednost	< 20 N	X	X		
Rešetka					
Artefakti	Neprihvatljivi	X	X	X	
Pokretljivost	Ne smije biti vidljiva	X	X	X	
Zahtjevi na kombinaciju film – kazeta					
Razlučivanje	> 12 lp/mm	X			
Referentna snimka	1,3 < OD < 2,1	X	X	X	pri 28 kV uz 45 mm PMMA fantom
Kontakt film-folija	< 1 cm ² lošeg kontakta	X			
Prag vidljivog kontrasta	< 1,5% za objekt 5-6 mm	X			
Automatska kontrola ekspozicije (AEC): film – kazeta					
Dosljednost – referentna snimka	< 5 % varijacije u mAs	X	X	X	
Kompensacija debljine pri 2, 4 i 6 cm PMMA	≤ 0,15 OD u odnosu na 4 cm PMMA fantom (AEC) ili ≤ 0,35 OD za cijeli raspon (AAEC)	X	X		
Kompensacija visokog napona na rendgenskoj cijevi uz 4 cm PMMA fantom	< 0,35 OD za cijeli raspon (AEC)	X	X		
Zahtjevi na uređaje za digitalnu mamografiju					
Prag vidljivog kontrasta	< 0,85% za objekt 5-6 mm < 2,35 % za objekt 0,5 mm < 5,45 % za objekt 0,25 mm < 23 % za objekt 0,1 mm	X			Kliničke ekspozicije koristeći ekvivalent 5 cm PMMA (moralo bi biti dostižno MGD<3mGy)
Automatska kontrola ekspozicije (AEC) – digitalna mamografija					
Dosljednost – referentna snimka	< 5 % varijacije u mAs	X	X	X	
Kompensacija debljine	Odnos kontrast/šum > 115 % za 2 cm PMMA > 110 % za 3 cm PMMA > 105 % za 4 cm PMMA > 103 % za 4,5 cm PMMA > 100 % za 5 cm PMMA > 95 % za 6 cm PMMA > 90 % za 7 cm PMMA	X			CNR izračunat iz 5 cm PMMA i 0.2 mmAl pri ekspoziciji na kojoj dobivena CNR vrijednost prolazi kao kriterij postavljen kao referentni

Slika 26. Tablica iz Pravilnika za parametre koji se ispituju, minimalni zahtjevi na parametre, granice dopuštenih odstupanja te rokovi ispitivanja za mamografske uređaje. Parametri su zasnovani na EC RP162 i način mjerenja mora biti prilagođen referencama danim u istom dokumentu. (31,34)

Na stranicama Ravnateljstva civilne zaštite MUP-a RH izdane su Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju. U Priručniku su navedene metode prilagođene opremi koja se nabavljala za vrijeme IPA2008 projekta „*Health Protection in Relation to Medical Exposure*“ (33,35).

Hrvatski protokoli za kontrolu mamografskih uređaja kombinacija je Uputa za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju te preporuka iz programa Hrvatske smjernice za osiguranje kvalitete probira i dijagnostike raka dojke. Svaka ustanova za sebe priprema dokument odnosno Protokole za kontrolu kvalitete prilagođene stanju u ustanovi. Stoga, protokoli u Hrvatskoj se razlikuju u nekim manjim detaljima ovisno kakve uređaje i opremu za testiranje posjeduje pojedina zdravstvena ustanova.

Ono što je zajedničko i obavezno svim hrvatskim protokolima za kontrolu mamografskih uređaja jest da se kod svih ustanova ispituje svaki od slijedećih parametara: napon na rendgenskoj cijevi, debljina poluapsorpcije (HVL), ulazna kerma, podudarnost rendgenskog snopa s detektorom slike, sila pritiska (kompresija), referentno zacrtnjenje filma, rezolucija visokog kontrasta, najmanji kontrast koji je vidljiv na snimci, kontrola AEC, ponovljivost referentne snimke (mAs, OD za sustav film/folija, a za digitalne sustave samo mAs), kompenzacija debljine objekta i kompenzacija napona na cijevi.

U ovom odlomku navest ćemo osnovna mjerenja objašnjena u Uputama za izradu priručnika Ravnateljstva civilne zaštite RH s osvrtom smjernica koje je propisao Nacionalni program ranog otkrivanja raka dojke (32,35).

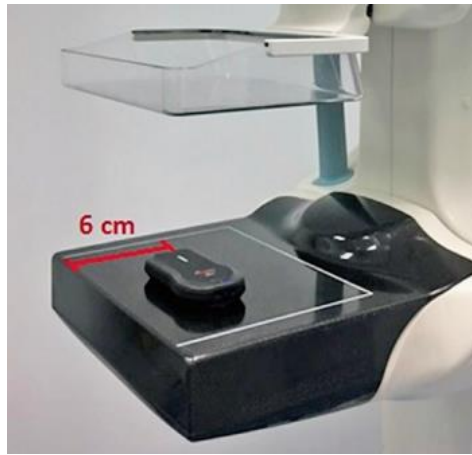
ISPITIVANI PARAMETAR	UČESTALOST	ZADUŽENE OSOBE
Napon na rendgenskoj cijevi	godišnje	medicinski fizičar
Debljina <u>poluapsorpcije</u>	godišnje	medicinski fizičar
Ulazna <u>kerma</u>	godišnje	medicinski fizičar
Podudarnost rendgenskog snopa s detektorom slike	mjesečno, godišnje	medicinski fizičar radiološki tehnolog
Sila pritiska (kompresije)	mjesečno, godišnje	medicinski fizičar radiološki tehnolog
Referentno <u>zacrnujenje filma</u>	dnevno, mjesečno, godišnje	medicinski fizičar radiološki tehnolog
Rezolucija visokog kontrasta	godišnje	medicinski fizičar
Najmanji kontrast koji je vidljiv na snimci <u>mamografskog uređaja koji koristi film/foliju</u>	godišnje	medicinski fizičar
Kontrola automatske kontrole ekspozicije (AEC) za sustave film/folija		
Ponovljivost <u>referentnog snimka (mAs, OD)</u>	dnevno, mjesečno, godišnje	medicinski fizičar radiološki tehnolog
Kompenzacija debljine objekta	mjesečno, godišnje	medicinski fizičar radiološki tehnolog
Kompenzacija napona na cijevi	mjesečno, godišnje	medicinski fizičar radiološki tehnolog
Najmanji kontrast vidljiv na snimci <u>digitalnim mamografskim uređajem</u>	godišnje	medicinski fizičar
Kontrola automatske kontrole ekspozicije (AEC) za digitalne sustave		
Ponovljivost <u>referentnog snimka (mAs)</u>	dnevno, mjesečno, godišnje	medicinski fizičar radiološki tehnolog
Kompenzacija debljine objekta	mjesečno, godišnje	medicinski fizičar radiološki tehnolog

Slika 27. Tablica parametara koji se ispituju, zadužene osobe te učestalost ispitivanja parametara u Republici Hrvatskoj prema preporuci Ravnateljstva civilne zaštite
(Izvor: <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

4.1. Preporučena mjerenja za provođenje kontrole kvalitete mamografskih uređaja u RH

4.1.1. Mjerenje napona na rendgenskoj cijevi

Ovim mjerenjem dokazuje se postoje li ikakva odstupanja vrijednosti kV koje odaberemo na upravljačkoj ploči uređaja naspram vrijednosti kV na cijevi.



Slika 28. Postavljanje uređaja za mjerenje napona na rendgenskoj cijevi

(Izvor: https://www.hzjz.hr/wp-content/uploads/2017/10/HR-smjernice_Rak-dojke.pdf)

Postupak

- Postaviti multimetar u referentnu točku na stalku za dojku. Referentna točka je lateralno centrirana, 6 cm od ruba stalka koji je uz torakalnu stjenku,
- Postaviti mjerni uređaj prema uputama proizvođača,
- Odabrati ručni način rada i odabrati najnižu vrijednost napona na cijevi za kliničke uvjete,

Zbog učestalog eksponiranja za ovo mjerenje, hrvatski protokol preporuča korištenje nižih vrijednosti mAs približno 20mAs) kako bi se izbjeglo zagrijavanje cijevi .

- Eksponirati i zabilježiti vrijednost napona,
- Vrijednost napona mijenjati po 1 kV za klinički namješteno područje i eksponirati. Vrijednost mAs treba biti konstantno za vrijeme mjerenja,
- Izračunati odstupanje mjerene vrijednosti od tražene vrijednosti napona tako da se oduzme vrijednost napona postavljene na uređaju od mjerene vrijednosti,
- Zabilježiti mjerene vrijednosti i odstupanje u tablicu koju je ovaj protokol pripremio (32,35).

NAPON NA CIJEVI		
Uvjeti mjerenja i napomene:		
Naboj:	_____	mAs
TFC:	_____	
Udaljenost fokus-detektor	_____	cm
Rezultati mjerenja:		
Prikazana vrijednost, kV	Mjerena vrijednost, kV	Odstupanje, kV
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		

Slika 29. Tablica za rezultate mjerenja napona na cijevi

(Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: $\leq \pm 1$ kV odstupanje od vrijednosti koja je odabrana na uređaju.

Učestalost: jednom godišnje. Mjerenje izvodi medicinski fizičar.

Oprema: multimeter (35).

4.1.2. Mjerenje debljine poluapsorpcije-filtracije (HVL)

Postupak

Ako multimeter **ima** mogućnost direktnog određivanja debljine poluapsorpcije (HVL):

- Postaviti i namjestiti multimeter kao i kod prethodnog testa,
- Komprimirati,
- Namjestiti napon na cijevi na 28 kV,
- Namjestiti umnožak struje i vremena otprilike na 25 mAs,

- Odabrati kombinacije anode i filtera (TFC) na mamografskom sustavu. Mjerenja je potrebno napraviti za sve TFC koje uređaj podržava,
- Ekspozirati pa očitati HVL,
- Usporediti HVL s dozvoljenim vrijednostima za određenu TFC,
- Zabilježiti mjerenu vrijednost u tablicu koju je ovaj protokol pripremio.

DEBLJINA POLUAPSORPCIJE (HVL)					
Uvjeti mjerenja i napomene:					
Napon na cijevi					kV
Naboj					mAs
Udaljenost fokus-detektor					cm
Rezultati mjerenja:					
TFC	Mo + 30 <u>μm Mo</u>	Mo + 25 <u>μm Rh</u>	Rh + 25 <u>μm Rh</u>	W + 50 <u>μm Rh</u>	W + 45 <u>μm Al</u>
HVL, mm Al					

Slika 30. Tablica za unos izmjerenih vrijednosti HVL

(Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Mjerenja ako multimeter nema mogućnost direktnog očitavanja HVL:

- Multimeter i mamografski uređaj postaviti u iste uvjete kao u prethodnom slučaju. Namjestiti multimeter da mjeri dozu u mGy,
- Ekspozirati i očitati mjerenu vrijednost i zapisati u zadanu tablicu koja je na Slici 31.

Anoda/filter kombinacija (TFC)	Pločice aluminija Al (mm)	Mjerena doza (mGy)
Mo + 30 μ m Mo	0	
	0.1	
	0.2	
	0.3	
	0.4	
	
Mo + 25 μ m Rh	0	
	0.1	
	0.2	
	0.3	
	0.4	
	
Rh + 25 μ m Rh	0	
	0.1	
	0.2	
	0.3	
	0.4	
	
W + 50 μ m Rh	0	
	0.3	
	0.4	
	0.5	
	0.6	
	
W + 45 μ m Al	0	
	0.1	
	0.2	
	0.3	
	0.4	
	

Slika 31. Tablica za unos izmjerene doze prema kojoj se izračunava HVL u određenoj formuli (Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilnazastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

- Postaviti aluminijske pločice debljine 0,1 mm na kompresijsku ploču iznad multimetra,
- Aluminijske pločice moraju se postaviti tako da pokrivaju cijelu aktivnu površinu detektora,
- Ekspozirati, očitati vrijednost i upisati ju u gornju tablicu,
- Dodati dodatnu aluminijsku pločicu debljine 0,1 mm,
- Ekspozirati, očitati vrijednost i upisati ju u gore navedenu tablicu,
- Postupak ponoviti s dodatnim aluminijskim pločicama sve dok doza se ne smanji ispod 50% početne doze (bez pločice),

- Izračunati HVL prema sljedećoj formuli (vidi slika 32):

$$HVL = \frac{X_1 \ln\left(\frac{2Y_2}{Y_0}\right) - X_2 \ln\left(\frac{2Y_1}{Y_0}\right)}{\ln\left(\frac{Y_2}{Y_1}\right)}$$

Slika 32. Formula za HVL

(Izvor: <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Y_0 – doza mjerena bez aluminijskih pločica;

Y_1 – doza mjerena s 0,3 mm Al;

Y_2 – mjerena doza manja od 50% od početne doze (bez aluminijskih pločica);

X_1 – debljina aluminija – 0,3 mm Al

X_2 – debljina aluminija koji uzrokuje smanjenje doze za više od 50%. Uobičajeno je to 0,4 mm Al.

- Usporediti rezultate s dozvoljenim vrijednostima,
- Zabilježiti izračunate vrijednosti u tablicu za konačne rezultate mjerenja.

Granična prihvatljivost:

Za Mo + 30 μ m Mo anoda/filter kombinacija HVL = 0.36 \pm 0.02 mm Al

Za Mo + 25 μ m Rh anoda/filter kombinacija HVL = 0.42 \pm 0.02 mm Al

Za Rh + 25 μ m Rh anoda/filter kombinacija HVL = 0.43 \pm 0.02 mm Al

Za W + 50 μ m Rh anoda/filter kombinacija HVL = 0.54 \pm 0.03 mm Al

Za W + 45 μ m Al anoda/filter kombinacija HVL = 0.37 \pm 0.03 mm Al

Učestalost: jednom godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar.

Oprema: multimetar, ukoliko se koristi multimetar koji ne može direktno mjeriti HVL tada su potrebni stativ za mjerenje sloja poluapsorpcije, aluminijski filtri za mjerenje sloja poluapsorpcije visoke čistoće (99%) i točno poznate debljine (1%), kolimator od olovnog lima debljine 1 mm (35).

4.1.3. Dozimetrija

Mjeri se ulazna KERMA K_i . Ovim mjerenjem se utvrđuje da se ulazna KERMA nalazi u vrijednostima koje su preporučene.

Postupak

- Postaviti 45 mm PMMA fantom na stalak za dojku prema referentnim uvjetima,
- Udaljenost fokus rendgenskog snopa - stalak za dojku postaviti na najčešće klinički korištenu,
- Komprimirati na način da se lagano pritisne fantom pazeći da se ne oštetiti fantom ili kompresijska ploča,
- Prvo napraviti referentnu ekspoziciju na način:
 - Postaviti napon na cijevi na 28 kV u AEC načinu rada i zacrnjenjem koje se koristi u kliničkim uvjetima. Iako neki mamografski sustavi imaju AAEC (eng. advanced automatic exposure control) koristiti način rada u kojem se kV postavlja ručno (AEC),
 - Postaviti filtraciju koja se koristi u kliničkim uvjetima,
 - Ekspozirati,
 - Izmjeriti zacrnjenje na filmu (u OD jedinicama).
- Zabilježiti kV, mAs, filtraciju i zacrnjenje te sve ostale parametre koji utječu na ekspoziciju,
- Postaviti multimeter na istu udaljenost na kojoj je bio vrh fantoma tako da se izvuče jedna ploča fantoma i na ostatak ploča postavi detektor. Orijehtacija detektora je okomito na os anoda/katoda rendgenske cijevi. Dok se pozicionira detektora preporučljivo je koristiti i svjetlosno polje,
- Spustiti kompresijsku ploču do detektora, ali bez pritiska da ne bi oštetio detektor.
- U ručnom načinu rada postaviti napon na cijevi, filter i zacrnjenje koje je zabilježeno pri referentnoj ekspoziciji. Referentna ekspozicija je dobivena u postupcima na početku ovog mjerenja,
- Postaviti mAs vrijednost što sličniju mAs vrijednosti koja se koristila pri referentnoj ekspoziciji,
- Postaviti multimeter za mjerenje doze mamografskog snimka prema uputama u priručniku za korištenje multimetra,

- Eksponorirati i zapisati ulaznu KERMA, K_i . To je mjerena K_{im} ,
- Normalizirati izmjerenu vrijednost (to je normalizirana K_{in}), K_i na mAs referentne ekspozicije koristeći sljedeću jednadžbu:

$$K_{in} = \frac{K_{im} \cdot mAs_r}{mAs_m}$$

K_{in} – normalizirana K_i ,

K_{im} – mjerena K_i ,

mAs_m – mAs postavljen pri mjerenju K_{im} ,

mAs_r – mAs očitani pri referentnoj ekspoziciji.

- Ponoviti korake 10) i 11) još dva puta,
- Izračunati srednju vrijednost K_i normalizirane na mAs,
- Usporediti s dopuštenom tolerancijom,
- Zabilježiti sve potrebne parametre u zadanu tablicu te pratiti kako se podaci mijenjaju kroz određeni vremenski period.

ULAZNA KERMA K_i			
Uvjeti mjerenja i napomene:			
Debljina PMMA fantoma			_____ cm
Napon na cijevi			_____ kV
TFC			_____
Zacrnljenje			_____
Udaljenost fokus-površina fantoma			_____ cm
Rezultati mjerenja:			
Prikazani mAs	Postavljeni mAs	Mjerena K_i , mGy	Normalizirana K_i , mGy
Srednja vrijednost			

Slika 33. Tablica za unos podataka o izmjerenoj ulaznoj KERMI

(Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilnazastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: Ki mora biti <10 mGy

Učestalost: jednom godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar.

Oprema: multimetar Piranha, QUART AEC M Test Set (35).

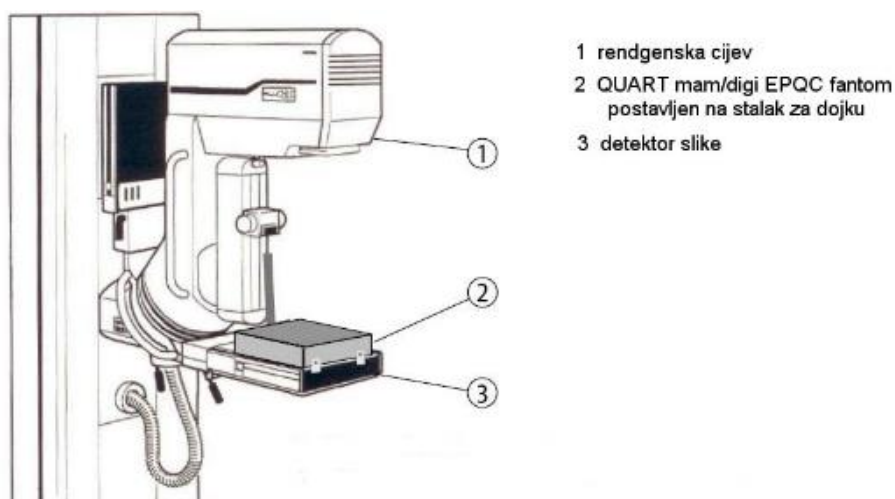
4.1.4. Podudarnost rendgenskog snopa s detektorom slike

Parametar: podudarnost rendgenskog snopa s detektorom slike.

Određivanje nepodudarnosti na prednju, lijevu i desnu stranu stala za dojku mamografskog uređaja.

Postupak

- Postaviti fantom na sredinu stala za dojku tako da se graničnici fantoma naslanjaju na rub stala za dojku najbliži torakalnom zidu.



Slika 34. Postavljanje QUART fantoma za provođenje testa podudarnosti rendgenskog snopa i detektora slike

(Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilnazastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

- Spustiti kompresijsku ploču. Time se fantom učvrsti i osigurava ponovljivost mjerenja.
- Postaviti parametre ekspozicije kako je navedeno u priručniku QUART fantoma. Parametri moraju osigurati dovoljno zacrnenje na filmu kako bi bilo moguće procijeniti podudarnost rendgenskog snopa s detektorom slike (najbolje je koristiti AEC),
- Ekspozirati i razviti film. Zabilježiti parametre ekspozicije kV, mAs, TFC u zadanu tablicu,

- Na rubu prema torakalnoj strani polja podudarnost se provjerava koristeći sliku niza čeličnih kuglica u fantomu (pogledati opis proizvođača),
- Izmjeriti dio fantoma koji nije na slici i usporediti s prihvatljivim graničnim vrijednostima,
- Na rubu prema torakalnoj stjenci u svakom od 4 retka najmanje 3 od 5 čeličnih kuglica moraju biti vidljive u potpunosti,
- Vizualno pregledati pokriva li rendgenski snop film u potpunosti,
- Zabilježiti nepodudarnost u zadanu tablicu .

Ako ustanova ne posjeduje QUART fantom provjeru je moguće napraviti na sljedeći način:

- Jednu kazetu staviti u mjesto za kazetu u stalku za dojku,
- Drugu kazetu napuniti na način da je emulzija okrenuta na drugu stranu od folije,
- Drugu kazetu staviti na stalak za dojku tako da viri 3 cm preko ruba stalka ,
- Obilježiti s dva novčića svjetlosno polje prema torakalnoj stjenci,
- Namjestiti AEC da se postigne dovoljno zacrnjenje,
- Razviti filmove i staviti ih na negatoskop tako da se slike novčića podudaraju,
- Izmjeriti nepodudarnost između rendgenskog snopa i stalaka za dojku u smjeru prema torakalnoj stjenci,
- Zabilježiti parametre ekspozicije kV, mAs, TFC i podudarnost u zadanu tablicu.

PODUDARNOST RENDGENSKOG SNOPA S DETEKTOROM SLIKE	
Uvjeti mjerenja i napomene:	
Napon na cijevi	_____ kV
TFC	_____
Zacrnjenje:	_____
Udaljenost fokus-površina fantoma:	_____ cm
Rezultati mjerenja	
Mjerena nesukladnost (lijevo)	_____ mm
Mjerena nesukladnost (desno)	_____ mm
Mjerena nesukladnost (iza)	_____ mm
Mjerena nesukladnost (torakalni zid)	_____ mm

Slika 35. Tablica za zapis vrijednosti dobivenih provođenjem mjerenja podudarnosti rendgenskog snopa s detektorom

(Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: rendgenski snop ne smije prelaziti detektor slike na bilo koju stranu više od 5 mm.

Učestalost: mjesečno i godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar i radiološki tehnolog.

Oprema: QUART mam/digi EPQC fantom, a ako zdravstvena ustanova nema navedeni fantom onda se mjerenje izvodi koristeći dvije kazete za film i dva novčića (35).

4.1.5. Sila pritiska (kompresija)

Ovim mjerenjem provjerava se da li sila kompresije koju prima tkivo dojke odgovara vrijednosti koju prikazuje konzola uređaja.

Postupak

- Postaviti uređaj za mjerenje sile pritiska (npr. obična vaga) na stalak za dojku i centrirati ga,
- Postaviti materijal koji se lako deformira (npr. lopticu za tenis, spužvu ili pjenastu gumu) na uređaj za mjerenje sile pritiska kako da se ne ošteti stalak za dojku ili uređaja za mjerenje pritiska,
- Spustiti kompresijsku ploču i pritisnuti uređaj za mjerenje sile pritiska (vagu) najvećom silom,
- Zapisati mjerenu i prikazanu silu na konzoli,
- Usporediti najveću silu pritiska s maksimalnom i minimalnom dopuštenom vrijednošću,
- Usporediti moguće odstupanje izmjerene od prikazane vrijednosti s dozvoljenim odstupanjem,
- Zapisati prikazanu (na konzoli) i izmjerenu vrijednost (na vagi) u zadanu tablicu.

SILA PRITISKA (KOMPRESIJA)		
Prikazana sila	_____	N
Mjerena sila	_____	N
Odstupanje	_____	N

Slika 36. Tablica za unos izmjerenih vrijednosti sile na testiranju sile pritiska

(Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: najveća sila kompresije $200 \text{ N} < F < 300 \text{ N}$; ponovljivost sile pritiska $< 20 \text{ N}$.

Učestalost: mjesečno i godišnje. Ovo mjerenje provode medicinski fizičar i radiološki tehnolog.

Oprema: uređaj za mjerenje sile pritiska, pjenasta guma, spužva ili teniska loptica (35).

4.1.6. Referentno zacrtnjenje na filmu i dnevna ponovljivost AEC

Ovim mjerenjem provjerava se zacrtnjenje filma u referentnim uvjetima.

Postupak

Kod film-folija sustava treba izabrati zacrtnjenje između 1.3 i 2.1 OD jedinica u referentnim uvjetima (45 mm PMMA, 28 kV, AEC) te osigurati svakodnevnu ponovljivost. Ovo mjerenje se ne primjenjuje za kompjutorsku radiografiju (CR) i digitalnu radiografiju (DR).

- Postaviti 45 mm PMMA fantom na stalak. Centrirati ga postranično i poravnati rub fantoma s rubom stalka za dojku na strani torakalnog zida,
- Spustiti kompresijsku ploču do fantoma i lagano komprimirati pazeći da ne dođe do oštećenja,
- Postaviti referentne uvjete (AEC, 28 kV, Mo/Mo). Ako uređaj ima mogućnost AAEC, ne koristiti ga nego ručno postaviti kV,
- Ekspozirati. Zabilježiti kV, mAs u zadanu tablicu,
- Razviti film i izmjeriti zacrtnjenje u referentnoj točki (60 mm od ruba stalka za dojku prema lateralnom torakalnom zidu, centrirana postranično). Tako dobijamo referentno zacrtnjenje. Ako zacrtnjenje nije u rasponu 1.3 – 2.1 OD, treba ponoviti mjerenja s promijenjenim zacrtnjenjem kako bi referentno zacrtnjenje bilo u predviđenom rasponu (1.3- 2.1 OD),

Prilikom godišnje kontrole kvalitete uređaja ili nakon neke promjene na mamografskom sustavu (bilo mamografskom uređaju, uređaju za razvijanje, promjena kemikalija ili filma) treba napraviti slijedeće:

Ponoviti prethodne postupke 5 puta i izračunati srednju vrijednost rezultata od pet mjerenja da bi dobili referentno zacrtnjenje,

- Usporediti dnevno mjerenje s referentnim zacrtnjenjem i dopuštenim odstupanjem,
- Zabilježiti referentno zacrtnjenje u zadanu tablicu.

REFERENTNO ZACRNJENJE NA FILMU			
Uvjeti mjerenja i napomene:			
Debljina PMMA fantoma	_____		cm
Napon na cijevi	_____		kV
TFC	_____		
Zacrnjenje na uređaju	_____		
Udaljenost fokus-površina PMMA fantoma	_____		cm
Mjerena zacrnjenja (OD) i prikazan naboj (mAs):	_____	mAs	_____ ODU
	_____	mAs	_____ ODU
	_____	mAs	_____ ODU
	_____	mAs	_____ ODU
	_____	mAs	_____ ODU
Referentno zacrnjenje (OD) i naboj (mAs):	_____	mAs	_____ ODU
	_____	mAs	_____ ODU

Slika 37. Tablica za unos izmjerenih vrijednosti prilikom mjerenja referentnog zacrnjenja filma (Izvor : Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: zacrnjenje filma u referentnim uvjetima $1.3 < (OD) < 2.1$; dnevna ponovljivost < 0.15 OD, $< 5\%$ promjene u mAs.

Učestalost: dnevno, mjesečno i godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar i radiološki tehnolog.

Oprema: QUART AEC M fantom, denzitometar (35).

4.1.7. Rezolucija visokog kontrasta

Ovim testom utvrđuje se prostorna rezolucija.

Postupak

- Fantom (45 mm PMMA) staviti na stalak za dojku. Centrirati ga postranično i poravnati rub fantoma sa rubom stalka za dojku na strani torakalnog zida,
- Staviti uzorak za mjerenje rezolucije na fantom,
- Kompresijskom pločom lagano pritisnuti fantom,
- Napraviti snimku koristeći referentne uvjete (28 kV, Mo/Mo, referentno zacrnjenje, AEC),
- Razviti film i postaviti ga na negatoskop u zatamnjenoj prostoriji koristeći povećalo,
- Zabilježiti najmanju grupu linija koja se razlučuje i prema uputama očitati broj lp/mm.

Ako testni objekt za razlučivanje nema linijske parove nego Landoltove prstene, treba odrediti najmanji prsten kod kojeg se vidi prekid prstena u 7. segmentu klina koji se nalazi uz torakalni zid.



Slika 38. Landoltovi prsteni

(Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilnazastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Broj linijskih parova po mm određuje se prema pravilu:

Landolt7 = 19 => rezolucija > 12 lp/mm

Landolt7 = 23=> rezolucija > 15 lp/mm

Landolt7 =14 do 23 => rezolucija od 8 lp/mm do 15 lp/mm

- Upisati lp/mm u zadanu tablicu i usporediti s najmanjom dopuštenom rezolucijom.

REZOLUCIJA VISOKOG KONTRASTA	
Uvjeti mjerenja i napomene:	
Napon na cijevi	_____ kV
TFC	_____
Zacrtnjenje na uređaju	_____
Udaljenost fokus-stalak za dojku (ako je promjenljiva):	_____ cm
Izmjerena prostorna rezolucija visokog kontrasta	_____ lp/mm

Slika 39. Tablica za unos dobivenih vrijednosti prilikom testiranja prostorne rezolucije

(Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilnazastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: rezolucija visokog kontrasta > 12 lp/mm (poželjno 15 lp/mm)

Učestalost: jednom godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar.

Oprema: QUART AEC M Test Set + olovni uzorak s mogućnošću mjerenja prostorne rezolucije do 20 lp/mm ili QUART mam/digi EPQC phantom (Landoltovi prsteni) (35).

4.1.8. Prag vidljivog kontrasta za mamografske uređaje sa sustavom film/folija

Ovim mjerenjem se utvrđuje najmanji kontrast vidljiv na mamografskoj snimci. Ovo mjerenje se preporučuje provoditi uz najmanje dva iskusna opažača s obzirom da se usporedba obavlja vizualnom prosudbom.

Postupak

- Staviti fantom na sredinu stalka za dojku na način da se graničnici fantoma naslanjaju na rub stalka za dojku najbliži torakalnom zidu,
- Komprimirati onoliko silom da se imobilizira fantom, a pri tome neošteti,
- Snimiti u referentnim uvjetima (AEC, 28 kV, Mo/Mo, referentno zacrtnjenje),
- Kako bi test bio što objektivniji preporuča se napraviti po dvije slike za svakog opažača,
- Opažači vizualno prosuđuju Landoltove prstene u 9. segmentu klina koji se nalazi uz torakalni zid (vidjeti u priručniku fantoma),
- Zabilježiti broj vidljivih prstena i broj prstena s vidljivim prekidom na svakoj slici,

Najmanji kontrast objekata promjera 5-6 mm je manji od 1.5% ako je udovoljeno jednom od sljedećih uvjeta:

- a) vidi se 5 ili više prstena,
 - b) vidi se 3 ili više prekinutih prstena.
- Zabilježiti broj vidljivih prstena i broj vidljivih prekinutih prstena na 9. segmentu klina QUART mam/digi fantoma u zadanu tablicu.

Granična prihvatljivost: najmanji kontrast vidljiv na mamografskoj snimci <1,5% za objekte promjera 5-6 mm.

Učestalost: jednom godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar.

Oprema: QUART mam/digi EPQC fantom (35).

NAJMANJI KONTRAST VIDLJIV NA SNIMCI UREĐAJA KOJI KORISTI FILM/FOLIJU SISTEM	
Uvjeti mjerenja i napomene:	
Napon na cijevi:	_____ kV
TFC:	_____
Zacrtnjenje na uređaju:	_____
Udaljenost fokus-stalak za dojku (ako je promjenljiv):	_____ cm
Broj vidljivih prstena	_____
Broj vidljivih prostenoava s vidljivim prekidom	_____

Slika 40. Tablica za unos izmjerenih vrijednosti pri testiranju praga vidljivog kontrasta (Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

4.1.9. Automatska kontrola ekspozicije (AEC) za film/folija mamografske sustave

4.1.9.1. Parametar: zacrnjenje i mAs stabilnost

Mjeri se zacrnjenje i mAs stabilnost s obzirom na referentnu vrijednost koja se dobije prilikom godišnjeg testiranja.

Postupak

Nakon određenih početnih vrijednosti zacrnjenja i mAs potrebnih za postizanje referentnog zacrnjenja potrebno je provjeravati dnevnu stabilnost ovih vrijednosti. Opis mjerenja je isti kao i za test referentnog zacrnjenja koji je ranije opisan u odlomku 4.1.6.

AUTOMATSKA KONTROLA EKSPOZICIJE (AEC) ZA FILM/FOLIJA SISTEME						
PONOVLJIVOST REFERETNE STRUJE (mAs)						
Uvjeti mjerenja i napomene:						
Debljina PMMA fantoma:	_____					cm
Napon na cijevi:	_____					kV
TFC:	_____					
Zacrtnjenje na uređaju:	_____					
Referentno zacrnjenje na filmu:	_____					ODU
Referentni naboj (mAs)	_____					mAs
No.	1	2	3	4	5	Srednja vrijednost
Prikazani mAs						
Promjena mAs. %						
Mjereni OD						
Promjena OD						

Slika 41. Tablica za unos izmjerenih vrijednosti pri mjerenju mAs stabilnosti (Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: referentno zacrnljenje $1.3 < (OD) < 2.1$; dnevna ponovljivost $< 0.15 OD$, a poromjene u mAs moraju iznositi $< 5\%$.

Učestalost: dnevno, mjesečno i godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar i radiološki tehnolog.

Oprema: QUART AEC M Test Set, denzitometar (35).

4.1.9.2. Parametar: kompenzacija debljine objekta

Postupak (za AEC)

- Staviti fantom 20 mm PMMA na klinički korištenu udaljenost, centrirati lateralno i poravnati s rubom stalka za dojku prema torakalnom zidu,
- Komprimirati malom silom da se imobilizira fantom, ali paziti da ga ne oštetimo,
- Postaviti sustav u AEC način rada i postaviti klinički korištene kV i TFC za tu debljinu dojke,
- Ekspozirati i razviti film,
- Izmjeriti i zabilježiti zacrnljenje na slici u referentnoj točki (ROI se nalazi u sredini 6 cm od torakalnog zida),
- Ponoviti postupak s 40 mm i 60 mm PMMA fantomom,
- Usporediti zacrnljenja slika koje su napravljene koristeći 20 mm i 60 mm PMMA fantome sa zacrnljenjem slike napravljene koristeći 40 mm PMMA fantomom i usporediti s dopuštenim vrijednostima,
- Zabilježiti zacrnljenja, kV i mAs za svaku debljinu fantoma u zadanu tablicu.

KOMPENZACIJA DEBLJINE FANTOMA						
Uvjeti mjerenja i napomene:						
TFC: _____						
Udaljenost fokus-stalak za dojku ako je promjenljiv: _____ cm						
Način rada	AEC			AAEC		
PMMA, mm	20	40	60	20	40	60
Prikazani napon kV						
Prikazani naboj mAs						
Zacrnljenje na filmu OD						
Odstupanje		X				

Slika 42. Tablica za unos izmjerenih vrijednosti pri mjerenju zacrnljenje na slici u referentnoj točki (Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilnazastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Postupak (za AAEC)

- Staviti 20 mm PMMA fantom na jednak način kao i u prethodnom mjerenju,
- Komprimirati na jednak način kao i u prethodnom mjerenju,
- Postaviti AAEC način rada s klinički korištenim TFC,
- Ekspozirati i razviti film,
- Izmjeriti i zabilježiti zacrtnjenje u referentnoj točki na
- Ponoviti postupak s 40 mm i 60 mm PMMA fantomom,
- Izračunati razliku između najmanjeg i najvećeg izmjenog zacrtnjenja,
- Usporediti s dopuštenim vrijednostima,
- Zabilježiti izmjerena zacrtnjenja (OD), kV i mAs u zadanu tablicu.

Granična prihvatljivost: ≤ 0.15 OD u odnosu na 4 cm PMMA (AEC) ili ≤ 0.35 OD za cijeli raspon PMMA (AAEC).

Učestalost: mjesečno i godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar i radiološki tehnolog.

Oprema: QUART AEC M Test Set, denzitometra (35).

4.1.9. 3. Parametar: kompenzacija napona

Ovim mjerenjem se provjerava da li uređaj kompenzira debljinu objekta snimanja unutar točno određenih kriterija.

Postupak

- Staviti 40 mm PMMA fantom na stalak za dojku (centrirati fantom lateralno te poravnati rub fantoma s rubom stalka uz torakalni zid),
- Komprimirati lagano fantom pazeći da se ne ošteti
- Postaviti AEC za zacrtnjenje koje se koristi u kliničkim uvjetima,
- Izabrati veliku žarišnu točku (fokus),
- Postaviti TFC na klinički korišten (Mo/Mo),
- Odrediti napon na 26 kV,
- Ekspozirati i razviti film,
- Izmjeriti i zabilježiti zacrtnjenje na filmu (OD) u referentnoj točki,
- Ponoviti mjerenje s 28 kV i 30 kV,
- Izračunati razlike zacrtnjenja i usporediti s dopuštenim odstupanjima OD,
- Zabilježiti OD, kV, mAs i ostale važne vrijednosti mjerenja (npr. klinički korišteno zacrtnjenje) u zadanu tablicu.

KOMPENZACIJA NAPONA			
Uvjeti mjerenja i napomene:			
Debljina PMMA fantoma:			_____ cm
TFC:			_____
Zacrtnjenje na uređaju			_____
Udaljenost fokus-stalak za dojku (ako je promjenljiv)			_____ cm
Napon na cijevi, kV	26	28	30
Prikazani naboj, mAs			
Mjereni zacrtnjenje, OD			
Odstupanje			

Slika 43. Tablica za unos vrijednosti izmjerenih prilikom testa kompenzacije napona (Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: < 0.35 OD za cijeli raspon kV (AEC).

Učestalost: mjesečno i godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar i radiološki tehnolog.

Oprema: QUART AEC M Test Set, denzitometar (35).

4.1.10. Prag vidljivog kontrasta za digitalne mamografske uređaje

Ovim mjerenjem se utvrđuje najmanji kontrast vidljiv na mamografskoj snimci. Ovo mjerenje se preporučuje provoditi uz najmanje dva iskusna opažača s obzirom da se usporedba obavlja vizualnom prosudbom.

Postupak

- Staviti fantom na sredinu stalka za dojku na način da su graničnici fantoma naslonjeni na rub stalka za dojku najbliži torakalnom zidu,
- Komprimirati fantom lagano, ali dovoljno da imobilizira fantom,
- Napraviti referentnu ekspoziciju (AEC, 28 kV, Mo/Mo, referentno zacrtnjenje),
- Da bi test bio objektivniji, poželjno je da se naprave po dvije slike za svakog opažača,
- Vizualno procijeniti Landoltove prstene u 7 najtamnijih segmenata na klinu (koraci 6 do 12) koji se nalazi uz torakalni zid (vidjeti u priručniku fantoma). Procjenjuje se neobrađena slika,
- Zabilježiti broj vidljivih prstena i broj prstena s vidljivim prekidom na svakoj slici,
- Ako je vidljivo 19 prstena s prekidom na slici, zadovoljen je uvjet,

- Zabilježiti broj vidljivih prstena i broj vidljivih prstena s prekidom na koracima 6 do 12 klina QUART mam/digi fantoma u zadanu tablicu.

DIGITALNI MAMOGRAFSKI UREĐAJI (CR I DDR)	
NAJMANJI KONTRAST VIDLJIV NA SNIMCI DIGITALNOG UREĐAJA	
Uvjeti mjerenja i napomene:	
Napon na cijevi	_____ kV
TFC:	_____
Zacrtnjenje na uređaju:	_____
Udaljenost fokus-površina fantoma:	_____ cm
Broj vidljivih Landoltovih prstena	_____

Slika 44. Tablica za unos dobivenih vrijednosti prilikom testa najmanje vidljivog kontrasta kod CR i DR sustava

(Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilnazastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: najmanji kontrast vidljiv na mamografskoj snimci:

- < 0.85% za objekte promjera 5-6 mm
- < 2.35% za objekte promjera 0.5 mm
- < 5.45 % za objekte promjera 0.25 mm

Učestalost: godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar.

Oprema: QUART mam/digi EPQC fantom (35).

4.1.11. (AEC) za digitalne mamografske sustave

4.1.11.1 Parametar: mAs stabilnost

Ovim mjerenjem provjerava se postoji li veliko odstupanje mAs vrijednosti s obzirom na referentnu vrijednost dobivenu godišnjom kontrolom kvalitete uređaja.

Postupak

- Staviti 45 mm PMMA fantom u referentni položaj (poravnati rub fantoma s rubom stalka za dojku prema torakalnom zidu),
- Ekspozirati referentnu ekspoziciju (AEC, 28 kV, Mo/Mo),
- Usporediti mAs s početnom vrijednošću koja je određenom tijekom uspostavljanja QA/QC programa ili tijekom godišnje procedure. Odstupanje je prikazano formulom:

$$\varepsilon = \frac{(x_i - x_v)}{x_v} \cdot 100$$

x_i - mjeren mAs;

x_v - srednji ili početni mAs.

- Usporediti odstupanja s dopuštenim vrijednostima,
- Ako se radi o godišnjoj proceduri, napraviti 5 ekspozicija i zapisati 5 vrijednosti. Izračunati odstupanja prema gore navedenoj jednadžbi i usporediti s dopuštenim odstupanjem. Kao novu početnu vrijednost uzeti srednju vrijednost mjerenja,
- Zabilježiti vrijednost u zadanu tablicu.

AUTOMATSKA KONTROLA EKSPOZICIJE (AEC) ZA DIGITALNE UREĐAJE						
PONOVLJIVOST SNIMKE U REFERENTIM UVJETIMA (mAs)						
Uvjeti mjerenja i napomene:						
Debljina PMMA fantoma:	_____					cm
Napon na cijevi:	_____					kV
TFC:	_____					
Zacrtnjenje na uređaju:	_____					
Distance from the focal spot to the PMMA phantom surface	_____					cm
No.	1	2	3	4	5	Srednja vrijednost
Prikazani naboj, mAs						
Odstupanje, %						

Slika 45. Tablica za unos vrijednosti dobivenih prilikom testiranja mAs stabilnosti

(Izvor: Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilnazastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: < 5% promjene u mAs.

Učestalost: dnevno, mjesečno i godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar i radiološki tehnolog.

Oprema: QUART AEC M Test Set (35).

4.1.11.2. Parametar: Kompenzacija debljine objekta

Ovim mjerenjem se provjerava da li mamografski uređaj kompenzira debljinu objekta unutar kriterija prihvatljivosti.

Postupak

- Staviti fantom na sredinu stalka za dojku na način da su graničnici fantoma naslonjeni na rub stalka za dojku najbliži torakalnom zidu,
- Postaviti dodatnih 5 mm PMMA na QUART mam/digi EPQC fantom,
- Laganom kompresijom imobilizirati fantom pazeći da ne dođe do oštećenja,
- Izabrati AAEC način rada i klinički korišten TFC (meta/filter kombinacija),
- Eksponirati pa obraditi sliku,
- Izmjeriti i zabilježiti vrijednosti pixela na koraku 9 fantoma u području interesa (RoI, Region-of-Interest) u PMMA i u ROI u području titanijske trake,
- Izračunati odnos kontrast/šum (CNR, contrast to noise ratio) prema formuli:

$$\text{CNR} = \frac{\overline{P}_{\text{PMMA}} - \overline{P}_{\text{Ti}}}{\delta_{\text{Reference}}}$$

$\overline{P}_{\text{PMMA}}$ i \overline{P}_{Ti} su srednje vrijednosti pixela u odgovarajućim područjima interesa (RoI)

$\delta_{\text{Reference}}$ je standardna devijacija u području interesa u PMMA.

- Izračunati kontrast/šum odnos (CNR) na 9. segmentu bit će referentna vrijednost za 50 mm PMMA,
- Izmjeriti, izračunati i zapisati CNR u drugim koracima na fantomu. To su CNR vrijednosti za tanje fantome od 50 mm,
- Da se izmjere CNR vrijednosti za deblje PMMA fantome, treba postaviti dodatne ploče PMMA i izmjeriti i izračunati vrijednosti za 60 mm i 70 mm PMMA,
- Usporediti izračunate CNR vrijednosti s referentnom izmjerenom na koraku 9 fantoma,
- Usporediti odstupanja CNR za sve debljine fantoma s obzirom na vrijednost CNR za 5 cm PMMA te ,također, usporediti s gore danim dopuštenim vrijednostima.

KOMPENZACIJA DEBLJINE FANTOMA						
Uvjeti mjerenja i napomene:						
TFC:	_____					
Zacrtnjenje:	_____					
Udaljenost fokus-stalaka za dojku (ako je promjenljiv):	_____ cm					
PMMA debljina, cm	20	30	40	50	60	70
Napon, kV						
Naboj, mAs						
P(PMMA)						
P(Ti)						
$\bar{\delta}$ (Reference)						
CNR						
Odstupanje, %						

Testove izveo:

(IME I PREZIME)

(POTPIS)

Slika 46. Tablica za unos dobivenih vrijednosti prilikom testa kompenzacije debljine fantoma (Izvor : Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju, <https://civilnazastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>)

Granična prihvatljivost: odnos kontrast/šum. Referentna vrijednost je za 5 cm PMMA,

- > 115% za 2 cm PMMA
- > 110% za 3 cm PMMA
- > 105% za 4 cm PMMA
- > 103% za 4.5 cm PMMA
- > 100% za 5 cm PMMA
- > 95% za 6 cm PMMA
- > 90% za 7 cm PMMA

Učestalost: mjesečno i godišnje. Ovo mjerenje provodi medicinski fizičar i radiološki tehnolog.

Oprema: QUART mam/digi EPQC fantom, QUART AEC M Test Set (35).

5. RASPRAVA

Proučavajući protokole kontrole kvalitete mamografskih uređaja drugih zemalja i obrađivanjem protokola europske komisije, Republike Hrvatske i Kanade ovaj rad će završiti usporedbom navedena tri protokola. U ovom dijelu rada analizirat će se sličnosti i razlike u mjerenjima kvalitete mamografskih uređaja. Pojedinačnim uspoređivanjem hrvatskog protokola s kanadskim te protokolom EU zaključit ćemo kojemu je hrvatski protokol najbliži te koji je od njih tri najoptimalniji s obzirom na vremensku učestalost ispitivanja, brojnost testova te financijsku isplativost potrebne opreme za provođenje testova.

ČUVANJE ZAPISA PROVEDENIH KONTROLA

Prema Pravilniku o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja RH, zdravstvene ustanove su obvezne zapise o provedenim ispitivanjima u okviru provjere kvalitete čuvati najmanje 10 godina od dana prestanka korištenja izvora ionizirajućeg zračenja, uređaja i opreme (31). Kanadski pravilnik obvezuje na 3 godine čuvanje evidencije provedene kontrole kvalitete mamografskih uređaja.

SLIČNOSTI GLAVNIH PREPORUKA

Svi dokumenti preporučuju testiranje generatora i izvora zračenja X-zraka, AEC sustava i sustava za kompresiju dojke. Preporučeni testovi uključuju poravnavanje polja zračenja s nosačem receptora, ponovljivost i točnost izlaganja izlazu iz cijevi, debljina polu-apsorpcije (HVL), AEC odgovor u odnosu na debljinu dojki i kompenzaciju napona cijevi te poravnanje kompresijskih ploča .

RECEPTOR SLIKE

Najčešće preporučeni testovi za digitalnu mamografiju uključuju funkciju odgovora sustava, šum slike, homogenost signala receptora i artefakti slike

EU i kanadski protokol predlažu posebna ispitivanja za CR sustave, kao što je testiranje varijacije osjetljivosti među pločama, artefakti slike, geometrijska distorzija, neispravni detektorski elementi rezidualna slika.

ARTEFAKTI

Kod FF sustava analiziraju se artefakti uzrokovani kemijskom obradom. Kod CR i DR sustava analiza artefakata usmjerena je na istraživanje problema koji proizlaze iz sustava za prikupljanje slika ili tijekom rukovanja i obrade ploča (CR). Testiraju se i pisari.

FANTOMI I TESTNI OBJEKT

Preporučeni fantomi za izradu slika za procjenu kvalitete slike niskog kontrasta razlikuju se između protokola. CDMAM se često preporučuje u Europi (EC PROTOCOL, UK / IPEM, UK / NHSBSP i Irska) (15,36). Prema Reisu, IAEA ne preporučuje određenog fantoma, ali naglašava važnost korištenja fantoma koji sadrži strukture koje mogu oponašati one koje se obično nalaze u dojčkama (31,37) Za ocjenu kvalitete slike s visokim kontrastom najvažniji je MTF parametar.

SUSTAV ZA PRIKAZ

Većina protokola za ispitivanje digitalnih mamografskih sustava preporučuje testiranje na temelju sirovih podataka o slici i ne uključuju preporuke za testiranje algoritama naknadne obrade koji se koriste u kliničkim slikama. Uspostavljanje protokola ispitivanja za alate za naknadnu obradu u digitalnoj mamografiji izazovan je zadatak, jer obrada obično ovisi o proizvođaču, a često proizvođači nerado otkrivaju detalje algoritama naknadne obrade ugrađenih u njihove sustave (16,35,36).

OPĆI KRITERIJI PRIHVATLJIVOSTI

Općim kriterijima prihvatljivosti provjerava se funkcionalnost i sigurnost mamografskih uređaja odnosno ispravnost svjetlosnih indikatora, motoriziranih funkcija uređaja, postupka samoprovjere pri uključivanju. Brojevi i tekst koji se prikazuju na prikazivaču uređaja moraju biti ispravni. Izmjenjivi dijelovi uređaja moraju biti na svome mjestu i neoštećeni, kompresijska ploča i nosač detektora /kazete moraju biti bez oštećenja ili pukotina.

Opći kriteriji prihvatljivosti navedeni su i u kanadskom protokolu i u protokolu Europske komisije, ali u Uputama ravnateljstva civilne zaštite RH za izradu protokola te u Pravilniku (35) ne spominju se opći kriteriji prihvatljivosti. Svaka zdravstvena ustanova u RH ima svoj Program/protokol za osiguranje i kontrolu kvalitete napisan prema Uputama MUP-a. To znači da Protokol za kontrolu kvalitete mamografskih uređaja sadrži sva ispitivanja propisana nacionalnom legislativom, ali prilagođen ustanovi. Najčešće su to opširnije napisani Protokoli i sadrže opće kriterije prihvatljivosti. Medicinski fizičari svakako provjeravaju opće kriterije prihvatljivosti prilikom provođenja godišnje kontrole kvalitete u RH.

Tablica 3 Zahtjevi Europske komisije, Hrvatske i Kanade za provedbu dnevne kontrole kvalitete mamografskih uređaja

DNEVNI TESTOVI		
EUROPSKA KOMISIJA	REPUBLIKA HRVATSKA	KANADA
1. Mehaničke i sigurnosne provjere te provjere funkcionalnosti	1. Pokretljivost rešetke	1. Zagrijavanje opreme
2. Provjera i čišćenje ekrana	2. Artefakti	2. Rad brojača (mjerači, vizualni i zvučni indikatori)
3. Provjera oštećenja kazeta	3. Referentno zacrnjenje filma (FF sustavi)	3. Stanje RTG opreme
4. AEC dugoročna reproduktivnost/ponovljivost	4. Ponorljivost/dosljednost referentne snimke	4. Čistoća tamne komore
5. Obrada filma (senziometrija-osnova i zamućenje te kontrast)		5. Čistoća elektroničkih uređaja i procjena prostora za očitavanje snimki
6. Dnevne performanse filma (FF)		6. Funkcija tamne komore
7. Artefakti filma (FF) prikaz slike		7. Referentno zacrnjenje
8. Geometrijska distorzija (CRT)		8. Procjena kvalitete slike za CR i DR sustave (koristeći fantom)
9. Vidljivost kontrasta		9. Ukupna vizualna procjena elektronskih uređaja za prikaz (TG18 testni uzorak; geometrijska distorzija, vidljivost kontrasta, artefakti zaslona)
10. Artefakti prikaza pisači		10. Opća vizualna procjena pisača
11. Geometrijska distorzija		
12. Vidljivost kontrasta		
13. Artefakti ispisa		

Tablica 4 Zahtjevi Europske komisije, Hrvatske i Kanade za provedbu tjedne kontrole kvalitete mamografskih uređaja

TJEDNI TESTOVI		
EUROPSKA KOMISIJA	REPUBLIKA HRVATSKA	KANADA
<ol style="list-style-type: none"> 1. AEC-kompenzacija za debljinu objekta 2. Prostorna rezolucija 3. Kontrast slike 4. Prag vidljivog kontrasta 5. Dugoročna reproduktivnost (za CR i DR) 6. Homogenost detektora 7. Nekorigirani neispravni elementi (DR) 	<p>RH nema tjedne testova</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Čistoća i stanje zaslona 2. Čistoća i uvjeti kazeta 3. Vizualni pregled čistoće sustava za obradu slike 4. Uvjeti osvjetljenja u tamnoj sobi 5. temperatura tamne sobe i vlažnost zraka 6. Uvjeti za prikaz 7. Slika fantoma za film/folija sustave 8. Procjena kvalitete digitalne slike (CR,DR) 9. Učinkovitost elektroničkog zaslona 10. Artefakti laserskog pisača

Tablica 5 Zahtjevi Europske komisije, Hrvatske i Kanade za provedbu mjesečne kontrole kvalitete mamografskih uređaja

MJESEČNI TESTOVI		
EUROPSKA KOMISIJA	REPUBLIKA HRVATSKA	KANADA
<p>Europska komisija nema mjesečne testove</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Podudarnost rendgenskog snopa s detektorom slike 2. Sila pritiska 3. Ponovljivost sile pritiska 4. Referentno zacrnjenje filma 5. Ponovljivost referentne snimke (mAs i OD za FF sustave) 6. Kompenzacija debljine objekta (FF, CR,DR) 7. Kompenzacija napona cijevi 8. Ponovljivost referentne snimke (mAs, za CR i DR sustave) 9. Artefakti rešetke 10. Pokretljivost rešetke 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mehanička, električna i ukupna sigurnosna inspekcija 2. Čišćenje kazeta, ekrana i ploča detektora 3. Točnost temperature procesora 4. Razina nadopune razvijača 5. Procjena artefakata polja 6. Senzometrija laserskog pisača

Tablica 6 Zahtjevi Europske komisije, Hrvatske i Kanade za provedbu tromjesečne kontrole kvalitete mamografskih uređaja

TROMJESEČNI TESTOVI		
EUROPSKA KOMISIJA	REPUBLIKA HRVATSKA	KANADA
Europska komisija ne propisuje tromjesečne testove.	RH ne propisuje tromjesečne testove	<ol style="list-style-type: none">1. Analiza zadržavanja fiksira2. Analiza ponovljenih snimki3. Evaluacija CR opreme (prostorna rezolucija i MTF)4. Kvaliteta laserskog pisača5. Učinkovitost digitalizatora filmova

Tablica 7 Zahtjevi Europske komisije, Hrvatske i Kanade za provedbu polugodišnje kontrole kvalitete mamografskih uređaja

POLUGODIŠNJI TESTOVI		
EUROPSKA KOMISIJA	REPUBLIKA HRVATSKA	KANADA
1. Izlaz cijevi ($\mu\text{Gy/mAs}$) i stopa izlaza (mGx/s) (izvor zračenja)		1. Evaluacija uređaja za kompresiju dojke
2. Reproductivnost i preciznost debljine poluapsorpcije (kvaliteta zrake)		2. Ispitivanje sigurnosnog svijetla tamne komore (zamućenost/magla)
<i>AEC sustav</i>	RH ne propisuje polugodišnje testove.	3. Film-folija kontakt
3. Kontrolne postavke optičke gustoće (FF)		4. Osjetljivost unutar fosfornih ploča (varijacije)
4. Kratkoročna reproductivnost		
5. Kompenzacija za debljinu objekta i napon cijevi (tipični spektri prema debljini PMMA za FF)		
6. Podudarnost AEC senzora		
7. Prosječna glanduralna doza receptor slike (CR,DR)		
8. Funkcija odaziva receptora sike		
9. Evaluacija šuma		
10. Neispravni detektorski elementi (samo DR)		
11. dozimetrija		
<i>kvaliteta slike</i>		
12. Geometrijska distorzija i evaluacija artefakata		
<i>prikaz slike</i>		
13. Osvjetljenost okolnog prostora		
14. Rezolucija		
15. Raspon inteziteta svjetlosti		
16. DICOM standardna funkcija prikaza sivom skalom		
17. Ravnomjernost intenziteta svjetlosti		
18. DICOM GSDF		
19. Ravnomjernost gustoće		

Tablica 8 Zahtjevi Europske komisije, Hrvatske i Kanade za provedbu godišnje kontrole kvalitete mamografskih uređaja

GODIŠNJI TESTOVI		
EUROPSKA KOMISIJA	REPUBLIKA HRVATSKA	KANADA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Poravnanje polja zračenja i receptora slike (FF, CR, DR) 2. HVL 3. Kompresija (sila kompresije, održavanje sile 1 min, pokazatelj sile kompresije, poravnanje kompresijskih ploča) 4. Varijacija osjetljivosti među kazetama (mAs i OD raspon) i među pločama (CR) 5. Kontakt folije i filma 6. Tamna komora (propuštanje svjetlosti i sigurnosna svjetla) 7. Negatoskop (jačina svjetlosti, homogenost, razlika jačine svjetlosti među panoima) 8. Okolina (razina osvjetljenja okolnog prostora) 9. Vrijeme izlaganja (kvaliteta slike) 10. Prag vidljivosti kontrasta za digitalne sustave (kvaliteta slike) 11. Vrijeme izlaganja za digitalne sustave (kvaliteta slike) 12. Brojač za pohranjivanje podataka i sigurnosni prekid 13. Rezidualna slika (ghost image) (CR, DR) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Napon na RTG cijevi 2. HVL 3. Ulazna kerma 4. Rezolucija visokog kontrasta 5. Najmanji kontrast koji je vidljiv na snimci (FF, CR, DR) 6. Kontakt film-folija (FF) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Točnost napona na cijevi 2. Ponovljivost napona 3. Ponovljivost i linearnost kerme u zraku 4. Normalizirani izlaz zračenja 5. Filtracija snopa zračenja 6. Kolimacija 7. Podudarnost svjetlosnog polja s poljem zračenja 8. AEC (ponovljivost AEC-a, konstantnost OD za FF sustave, kompenzacija za debljinu objekta, korespondencija između AEC senzora) 9. Receptor slike (ujednačenost brzine, snimka fantoma, prostorna linearnost i geometrijska distorzija, funkcija odaziva i evaluacija šuma, homogenost slike i procjena artefakata, greške elemenata detektora za DR, rezidualna snimka) 10. Kvaliteta slike (prostorna rezolucija, MTF) 11. Dozimetrija (ulazna kerma u zraku, standardna žljezdana doza) 12. Negatoskopi (osvjetljenje, uniformnost i homogenost izlaznog svjetla) 13. Učinkovitost svih elektroničnih uređaja za prikaz (TG18 testni uzorak) 14. Pisači (geometrijska distorzija, Funkcija prikaza sive skale, uniformnost gustoće) 15. Općenito preventivno održavanje

Tablica 9 Usporedba mjerenja koja se provode prema Europskim smjernicama a mjerenjima koja su preporučena u RH te njihova učestalost provođenja

Opis mjerenja	Učestalost testova			
	EU	RH	EU	RH
A) Generiranje zračenja				
Izvor zračenja - izvor, udaljenost izvora i filma, propuštanje zračenja	✓	✗	6	-
Izvor zračenja - poravnavanje polja zračenja/nosačem kazete	✓	✓	12	m, 12
Napon cijevi i kvaliteta zrake	✓	✓	12	12
AEC sustav - kontrolne postavke optičke gustoće, brojač za pohranjivanje podataka i sigurnosni prekid, kratkoročna reproduktivnost, dugoročna reproduktivnost, kompenzacija za debljinu objekta i napon cijevi	✓	✓	d, t, 6	m, 12
AEC sustav - podudarnost AEC senzora	✓	✗	6	-
AEC sustav – brojač za pohranjivanje podataka i sigurnosni prekid (za CR i DR)	✓	✗	12	-
Kompresija - sila kompresije	✓	✓	12	m, 12
Kompresija - poravnavanje kompresijskih ploča	✓	✗	12	-
B) Bucky rešetka i receptor slike				
Rešetka za sprečavanje raspršivanja zračenja (faktor sustava rešetke, oslikavanje rešetke)	✓	✓	i	d, m, 12
Film - osjetljivost među kazetama	✓	✗	12	-

Film - kontakt folije s filmom (FF)	✓	✓	12	12
CR – varijacije osjetljivosti među pločama	✓	✗	i, 12	-
CR i DR sustavi - funkcija odaziva receptora slike, evaluacija šuma, neoslikano tkivo uz torakalnu stjenku pacijentice, neispravni detektorski elementi (DR)	✓	✗	i, 6	-
CR i DR sustavi - homogenost detektora, nekorrigirani neispravni elementi (DR)	✓	✗	t	-
C) Obrada filma				
Referentne performanse obrade filma (verifikacija temperature i referentne vrijednosti, vrijeme obrade)	✓	✗	i	-
Film i razvijач (senzimetrija, dnevni rad, artefakti)	✓	✓	d	d, m, 12
Tamna komora (propuštanje svjetlosti)	✓	✗	12	-
D) Uvjeti očitavanja/ prikaz slike				
Negatoskop (FF,CR,DR) - intenzitet svjetlosti, homogenost	✓	✗	12	-
Osvijetljenost okolnog prostora (FF,CR,DR)	✓	✗	12	-
Monitori (CR, DR) – geometrijska distorzija (CRT), vidljivost kontrasta, artefakti prikaza	✓	✗	d	-
Monitori (CR, DR) – rezolucija, intenzitet i ravnomjernost svjetlosti, DICOM standardna funkcija prikaza sivom skalom	✓	✗	6	-
Pisači (CR, DR) – geometrijska distorzija, kontrast, artefakti ispisa	✓	✗	d	-

Pisači (CR, DR) – DICOM GSDF, ravnomjernost gustoće	✓	✗	6	-
E) Značajke sustava				
Dozimetrija	✓	✓	6	12
Kvaliteta slike (prostorna rezolucija, kontrast slike, prag vidljivosti kontrasta, vrijeme izlaganja)	✓	✓	t, 12	12
Kvaliteta slike (CR i DR sustavi) – MTF i NPS, rezidualna slika	✓	✗	12	-
Kvaliteta slike (CR ,DR) -geometrijska distorzija	✓	✗	6	-

i = pri testiranju prihvatljivosti; d =dnevno; t = tjedno; m = mjesečno; 6 = polugodišnje; 12 = godišnje

Testovi kontrole kvalitete mamografskih uređaja propisani u protokolu Europske komisije i testovi propisani u Uputama Ravnateljstva civilne zaštite RH ne razlikuju se mnogo stavki. Štoviše, prema Tablici 9 možemo zaključiti da je EU protokol detaljnija verzija hrvatskog protokola. Odnosno, sva mjerenja iz hrvatskog protokola sadržana su mjerenjima europskog protokola.

Prema nacionalnoj legislativi (prema *Pravilniku za parametre koji se ispituju, minimalnim zahtjevima na parametara, granica dopuštenih odstupanja te rokovima ispitivanja za mamografske uređaje*) i prema uputama MUP-a RH za izradu Priručnika) nisu navedeni kao obavezni testovi za mjerenje izvora zračenja, udaljenosti izvora i filma te propuštanje zračenja. Također, nigdje se ne spominje test za podudarnost AEC senzora kod sustava koji imaju više AEC senzora. Kod testiranja kompresije protokol RH ne obavezuje provoditi mjerenje poravnavanja kompresijskih ploča.

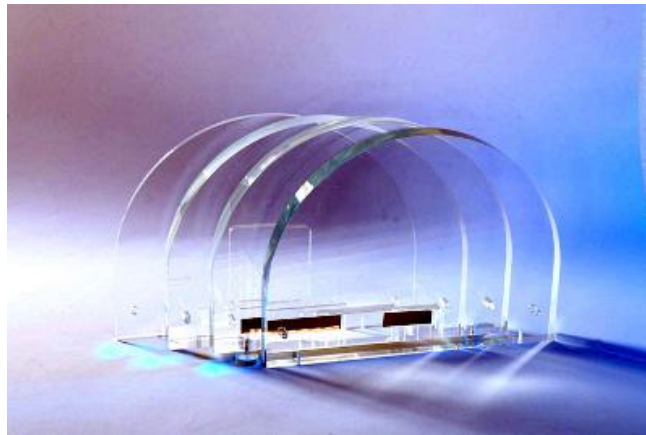
Za razliku od europskog protokola, Priručnik za izradu hrvatskog protokola ne spominje test osjetljivost među kazetama kao ni verifikaciju temperature te vrijeme obrade kod testova za obradu filma.

Što se tiče dozimetrijskih značajki, hrvatski protokol naglašava samo mjerenje ulazne kerme, dok protokol europske komisije, uz ulaznu kermu, mjeri i prosječnu glanduralnu dozu za dojku svakih šest mjeseci.

Testiranja propuštanja svjetlosti u tamnoj komori nisu navedena u hrvatskom protoklu, kao ni testiranje negatoskopa ni provjera osvijetljenosti okolnog prostora.

Za test kompenzacije debljine objekta za digitalne sustave hrvatski protokol preporuča korištenje QUART mam/digi EPQC fantom, a europski protokol preporuča korištenje CDMAM fantoma.

Najveća razlika između RH protokola i protokola EU je nedostatak opisanih parametara koji koriste za digitalne mamografske sustave. Vjerojatno je razlog tome što je RH od nedavno počela s uporabom digitalnih mamografskih sustava, odnosno zamjenom starih, analognih mamografskih uređaja s novim, digitalnim. Pretpostavka je da će uskoro doći do revizije Priručnika za provjeru kvalitete uređaja u mamografiji u kojoj će se nadodati više ispitivanja za digitalne mamografske sustave.



Slika 47. QUART mam/digi EPQC fantom kojeg propisuje protokol EC

(Izvor:http://www.elimpex.com/new/products/diagnostic_radiology/_measuring_instruments/EPQC/EPQC.html)

HRVATSKA I KANADA

Tablica 10 Usporedba mjerenja koja se provode u Kanadi i Republici Hrvatskoj te njihova učestalost provođenja

Opis mjerenja	KANADA		RH		Učestalost testova	
	KANADA	RH	KANADA	RH	KANADA	RH
A) Generiranje zračenja						
Izvor zračenja - izvor, udaljenost izvora i filma	✘	✘	-	-	-	-
Izvor zračenja - propuštanje zračenja (linearnost kerme i normalizirani izlaz zračenja)	✓	✓	12	12	12	12
Izvor zračenja - poravnavanje polja zračenja/nosačem kazete	✓	✓	12	m, 12	12	m, 12
Kolimacija	✓	✘	12	-	12	-
Napon cijevi i kvaliteta zrake - točnost, filtracija (HVL)	✓	✓	12	12	12	12
AEC sustav – ponovljivost (kratkoročna reproduktivnost, dugoročna reproduktivnost), kontrolne postavke optičke gustoće za FF, kompenzacija za debljinu objekta	✓	✓	12	m, 12	12	m, 12
AEC sustav - podudarnost AEC senzora	✓	✘	6	-	6	-
Mehanička, električna i ukupna sigurnosna inspekcija	✓	✘	m	-	m	-
Kompresija - sila kompresije	✓	✓	6	m, 12	6	m, 12
Kompresija - poravnavanje kompresijskih ploča	✓	✘	6	-	6	-

B) Bucky rešetka i receptor slike

Rešetka za sprečavanje raspršivanja zračenja (faktor sustava rešetke, oslikavanje rešetke)	✗	✓	-	d, m, 12
Čišćenje kazeta, receptora i ekrana	✓	✗	t, m	-
Film - kontakt folije s filmom (FF)	✓	✓	6	12
CR – varijacije među pločama (CR)	✓	✗	6	-
Učinkovitost receptora slike – ujednačenost brzine i snimka fantoma (FF), prostorna linearnost i geometrijska distorzija (CR), funkcija odaziva receptora slike i evaluacija šuma, homogenost detektora i procjena artefakata, neispravni detektorski elementi (DR), rezidualna snimka	✓	✗	12	-

C) Obrada filma

Performanse obrade filma (točnost temperature procesora, razina nadopune razvijaača, procjena artefakata)	✓	✗	m	-
Film i razvijaač - funkcija komore (temperatura razvijaača, nadopuna)	✓	✓	d	d, m, 12
Analiza zadržavanja fiksira	✓	✗	3	-
Tamna komora - čistoća (UV-B lampa)	✓	✗	d	-
Tamna komora (propuštanje svjetlosti, temperatura u tamnoj komori i vlažnost zraka)	✓	✗	t	-
Tamna komora – ispitivanje sigurnosnog svjetala (zamućenost/magla)	✓	✗	6	-

Vizualni pregled čistoće sustava za obradu slike (prašina, prljavština komore, digitalizatora i receptora)	✓	✗	t	-
------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---	---	---	---

D) Uvjeti očitavanja/ prikaz slike

Negatoskop (FF,CR,DR) – uniformnost i homogenost izlaznog svijetla, osvijetljenost	✓	✗	12	-
------------------------------------------------------------------------------------	---	---	----	---

Učinkovitost svih elektroničkih uređaja za prikaz (TG18 testni uzorak)	✓	✗	12	-
------------------------------------------------------------------------	---	---	----	---

Monitori (CR, DR) – geometrijska distorzija , vidljivost kontrasta, artefakti prikaza	✓	✗	d	-
---------------------------------------------------------------------------------------	---	---	---	---

Čistoća elektroničkih uređaja i opća vizualna procjena prostora i pisača	✓	✗	d	-
--------------------------------------------------------------------------	---	---	---	---

Monitori (CR, DR) – čistoća i stanje zaslona, učinkovitost elektroničkog zaslona	✓	✗	t	-
----------------------------------------------------------------------------------	---	---	---	---

Pisači (CR, DR) – artefakti ispisa	✓	✗	t	-
------------------------------------	---	---	---	---

Pisači (CR, DR) – funkcija prikaza sive skale, ravnomjernost gustoće, geometrijska distorzija	✓	✗	12	-
-----------------------------------------------------------------------------------------------	---	---	----	---

Senzometrija laserskog pisača	✓	✗	m	-
-------------------------------	---	---	---	---

Učinkovitost digitalizatora filma	✓	✗	3	-
-----------------------------------	---	---	---	---

E) Značajke sustava

Dozimetrija (ulazna kerma u zraku, standardna žljezdana doza)	✓	✓	6	12
---------------------------------------------------------------	---	---	---	----

Kvaliteta slike – evaluacija CR opreme (prostorna rezolucija i MTF)	✓	✗	3	-
---------------------------------------------------------------------	---	---	---	---

Kvaliteta slike (FF, CR, DR) – MTF za digitalne sustave i prostorna rezolucija (FF)	✓	✗	12	-
Kvaliteta slike (FF,CR ,DR) – slika fantoma za FF, procjena kvalitete digitalne slike za CR i DR	✓	✓	t	12
Zagrijavanje opreme, rad brojača (vizualni i zvučni indikatori), stanje RTG opreme (vizualni pregled)	✓	✗	d	-
Analiza ponovljenih snimki (FF, CR DR)	✓	✗	3	-

d =dnevno; t = tjedno; m = mjesečno; 6 = polugodišnje; 12 = godišnje

Najveća razlika između kanadskog i hrvatskog protokola što se tiče generiranja zračenja jest testiranje kolimacije kojeg ne navodi RH protokol. Kao i kod usporedbe s EU protokolom, hrvatski protokol ne sadrži mjerenje za podudarnost AEC senzora te poravnanje kompresijskih ploča kojeg spominje kanadski. Kanadske smjernice stavljaju veliki naglasak na mehaničku, električnu i ukupnu sigurnosnu inspekciju koju provodi radiološki tehnolog jednom mjesečno.

Kod testiranja kvalitete Bucky rešetke i receptora slike Kanadski protokol ne spominje test faktora sustava rešetke kojeg u RH obavezno provodi radiološki tehnolog na dnevnoj i mjesečnoj, a medicinski fizičar godišnjoj razini testiranja. Kanadski protokol detaljno opisuje testove za provjeru CR (varijacije među pločama, geometrijska distorzija) i DR receptora slike (neispravni detektorski elementi, rezidual) te naglašava čišćenje kazeta, receptora i ekrana jednom tjedno.

Ispitivanje sustava za obradu filma, za razliku od Hrvatske, u Kanadi zahtjeva analizu zadržavanja fiksira, provjeru čistoće tamne komore te ispitivanje vlažnosti, temperature i propuštanja svjetlosti u tamnoj komori.

Za mjerenja uvjeta očitavanja i prikaz slike hrvatski Priručnik nema nikakvih testova dok kanadski detaljno opisuje ispitivanje kvalitete negatoskopa, monitora za CR i DR sustave te ispitivanje pisača. Kod testova za monitore prvo se procjenjuje čistoća i stanje zaslona svaki tjedan, a svakodnevno se ispituje vidljivost kontrasta, postojanje artefakata i geometrijska distorzija kod monitora. Kod pisača se jednom tjedno ispituju mogući artefakti te funkcija prikaza sive skale i ravnomjernost gustoće pri godišnjoj kontroli.

Za razliku i od hrvatskoj i od EU protokola, kanadski protokol jedini spominje ispitivanje učinkovitosti digitalizatora filma i to svako tri mjeseca.

Što se tiče dozimetrije, i RH i Kanada ispituju ulaznu kermu u zraku te standardnu žljezdanu dozu.

Kod provjere kvalitete slike, razlika je u fantomu koji se koristi. RH koristi QUART mam/digi EPQC fantom, a Kanada koristi RMI-156 mamografski fantom. Svako 3 mjeseca provodi se ispitivanje analize ponovljenih snimki u Kanadi dok hrvatski protokol ne spominje isto.

Analiza ponovljenih snimki je mjerenje kojim se u Kanadiospješuje kvaliteta mamograma, ali i kvaliteta rada radiološkog tehnologa koji uči na ponavljanim greškama. Nažalost, hrvatski Priručnik ne spominje ovo ispitivanje.

U globalu, sva ispitivanja navedena u Priručniku RH nalaze se i u kanadskom protokolu osim ispitivanja rešetke za sprječavanje raspršivanja zračenja. Glavna razlika koja se primjećuje jest da veći dio kanadskog protokola čine ispitivanja vezana za CR i DR sustave. Vjerojatno jer se sve manje analognih mamografskih sustava koristi u navedenoj državi. I na kraju, za razliku od EU i RH, Kanada stavlja veliki naglasak dnevnu, tjednu i mjesečnu provjeru stanja RTG opreme te provjeru čistoće svih površina u tamnoj komori kao i čistoću elektroničkih uređaja za prikaz slike, te redovno čišćenje kazeta, receptora i ekrana.

6. ZAKLJUČAK

Analiziranjem hrvatskih, kanadskih te smjernica Europske komisije za kontrolu kvalitete mamografskih uređaja došli smo do nekoliko zaključaka.

Sva tri protokola imaju jednak cilj, a to je poboljšanje kvalitete zdravstvene usluge u području mamografije u smislu optimizacije tehnike snimanja uz redukciju doze pacijenata te osiguranje dijagnostičke kvalitete mamografskih nalaza.

Usporedbom preporučenih testova zaključujemo da postoje modifikacije u predloženim metodama, opremi za ispitivanje te učestalosti ispitivanja kao i razlika referentnih vrijednosti i kriterija prihvatljivosti. Države, odnosno zdravstvene ustanove koje provode kontrolu kvalitete mamografskih uređaja mogu odrediti prioritete testova ovisno o dostupnim uređajima i raspoloživim resursima.

Od svih nabrojanih ispitivanja najvažnija su mjerenja AEC sustava i dozimetrijska mjerenja te prepoznavanje artefakata.

Dozimetrijska mjerenja, koja kod sva tri protokola provodi medicinski fizičar, važna su zbog provjere doze zračenja koju će pacijent primiti.

Mjerenja AEC sustava su većinom jednostavni postupci koje lako izvodi i radiološki tehnolog. Provođenjem dnevnih ispitivanja AEC sustava, radiološki tehnolog dobiva točne informacije o ukupnim performansama mamografskih sustava i prema tome može na vrijeme reagirati ako sustav zahtjeva intervenciju serviseru.

Za uspješno provođenje programa kontrole kvalitete važan je i timski rad radioloških tehnologa, radiologa i medicinskih fizičara te njihova suradnja s ovlaštenim serviserima mamografskih uređaja. Trajnim usavršavanjem te praćenjem i kontinuiranom razmjenom iskustava s drugim državama u svijetu poboljšava se postupak provedbe kontrole kvalitete mamografskih uređaja.

S obzirom da je digitalna mamografija sve zastupljenija u svijetu očekujemo unaprjeđenje postojećih protokola koji će obuhvaćati i smjernice za ispitivanje novih tehnologija kao što je tomosinteza ili dvoenergetska digitalna subtrakcijska mamografija.

Također, očekujemo da će uskoro doći do revizije Priručnika za provjeru kvalitete uređaja u mamografiji RH kojom će se nadopuniti nedostatak kontrolnih ispitivanja za digitalne mamografske sustave.

7. LITERATURA

1. Tomasović Mrčela N. Kontrola kvalitete u zdravstvu. Kolegij Kontrola kvalitete u zdravstvu, ppt. Pristupljeno u rujnu 2019.
2. Mittermayer R. Priručnik o standardima kvalitete zdravstvene zaštite i načinu njihove primjene, Agencija za kvalitetu i akreditaciju u zdravstvu, 2011.
3. https://www.who.int/management/quality/assurance/QualityCare_B.Def.pdf
4. Zakon o kvaliteti zdravstvene zaštite i socijalne skrbi, NN 124/2011.
5. Jankovic S, Eterović D; Fizikalne osnove i klinički aspekti medicinske dijagnostike, Medicinska naklada, Zagreb, 2002.
6. Klanfar Z i suradnici. Radiološke i nuklearno-medicinske dijagnostičke metode, Zdravstveno veleučilište Zagreb, Zagreb, 2013.
7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4337127/>
8. <file:///C:/Users/Ru%C5%BEica/Downloads/Historia.pdf>
9. Mašković J, Janković S. Skripta: Radiologijska aparatura, Mostar, 2003.
10. Mira A, Payan Y, Carton A, Carvalho P M, Li Z, Devauges V, Muller S. Simulation of breast compression using a new biomechanical model, Medical Imaging, 2018.
11. <https://www.wakerad.com/expert-feature/why-compression-is-important-mammogram/>
12. <https://www.radiologyinfo.org/en/info.cfm?pg=tomosynthesis>

- 13.** Sardanelli F, Helbich TH. European Society of Breast Imaging (EUSOBI) Mammography, EUSOBI recommendations for women's information. Insights into imaging. 2012; 3(1), 7–10.
- 14.** James JJ, Tennant SL. Contrast-enhanced spectral mammography (CESM). Clinical radiology. 2018; 73,8;715-723.
- 15.** https://www.hzjz.hr/wp-content/uploads/2013/11/Prijevod_eu_smjernica_rak_dojka.pdf
- 16.** <https://www.euref.org/european-guidelines/physico-technical-protocol>
- 17.** Fitzgerald M, Leitz W, Zoetelief J. European protocol on dosimetry in mammography, European Commission, 1999.
- 18.** Samei E, Badano A, Chakraborty D, Compton K, Cornelius C, Corrigan K, Flynn MJ, Hemminger B, Hangiandreou N, Johnson J, Moxley M, Pavlicek W, Roehrig H, Rutz L, Shepard J, Uzenoff R, Wang J, Willis C. Assessment of Display Performance for Medical Imaging Systems, Draft Report of the American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Task Group 18, Version 10.0, 2004.
- 19.** Young KC, Johnson B, Bosmans H, van Engen RE. Development of minimum standards for image quality and dose in digital mammography, 2004.
- 20.** Young CK. Performance of mammographic equipment in the UK breast cancer screening programme In 2000/2001, 2003.

21. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/reports-publications/radiation/radiation-protection-quality-standards-mammography-safety-procedures-installation-use-control-mammographic-equipment-safety-code-36-health-canada-2013.html>
22. <https://webstore.iec.ch/publication/4935>
23. Van Engen R, Van Wouldenbergh S, Bosmans H, Young K, Thijssen M. European Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Mammography Screening - Screen-Film Mammography. 4th ed. European Commission, Luxembourg, 2006.
24. Van Engen R, Young K, Bosmans H, Thijssen M. European Protocol for the Quality Control of the Physical and Technical Aspects of Mammography Screening - Digital Mammography, 4th ed. European Commission, Luxembourg, 2006.
25. <http://www.car.ca/en/accreditation/map.aspx>
26. <https://car.ca/wp-content/uploads/Breast-Imaging-and-Intervention-2016.pdf>
27. http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1381_web.pdf
28. <http://www-pub.iaea.org/books/iaea-books/8560/Quality-Assurance-Programme-for-Digital-Mammography>
29. http://www.doza.ru/docs/med/fma_1.pdf
30. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1120/jacmp.v17i4.6220>
31. Pravilnik o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja, NN 53/2018.

- 32.** <https://zdravlje.gov.hr/UserDocsImages/2017%20Vijesti/Hrvatske%20smjernice%20za%20osiguranje%20kvalitete%20probira%20i%20dijagnostike%20raka%20dojke.pdf>
- 33.** <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129>
- 34.** https://www.efomp.org/uploads/rp_174_full.pdf
- 35.** Uputa za izradu priručnika za provjeru kvalitete uređaja za mamografiju.2014. Dostupno na [:https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129](https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129)
- 36.** <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3781250/>
- 37.** Perry N, Broeders M, de Wolf C, Holland R. Guidelines for Quality Assurance in Mammography Screening, 3rd edn. Members of the Quality Assurance Committee/The National Cancer Screening Service Board, Dublin, 2008.

SAŽETAK

Tema ovog rada je Usporedba protokola kontrole kvalitete mamografskih uređaja u Republici Hrvatskoj s protokolima u drugim državama. Mamografija je najpouzdanija metoda za rano otkivanje raka dojke čiji je cilj dati kvalitetne mamograme s najboljim mogućim dijagnostičkim informacijama uz najmanju moguću dozu zračenja pacijenata. Potrebno je provoditi kontrolu kvalitete uređaja s obzirom da kvaliteta slike i prihvatljiva doza zračenja ovise o više parametara kao što su veličina i gustoća dojki, karakteristike izvora zračenja (podudarnost svjetlosnog polja i polja zračenja, dozni izlaz cijevi, točnost i ponovljivost napona), automatska kontrola ekspozicije (AEC), kompresija, učinkovitost receptora, obrada filma, uvjeti očitavanja i prikaza slike te analiza ponovljenih snimki.

Ispravnost mamografskih uređaja u Hrvatskoj kontrolira se dnevno, mjesečno i godišnje točno propisanim protoklima koristeći odgovarajuće fantome. Kontrolu kvalitete provode radiološki tehnolozi i medicinski fizičari, ali i serviseri proizvođača uređaja te inspektori po potrebi.

Cilj ovog rada je usporediti protokole kojima se kontrolira kvaliteta mamografskih uređaja u drugim državama bazirajući se na kanadski i europski protokol. Pretraživanjem literature utvrdit će se smjernice za provedbu kontrole kvalitete u mamografiji koje su dostupne širom svijeta kod pružatelja zdravstvenih usluga, ali i kod znanstvenih i profesionalnih udruženja.

Opisat će se hrvatski i kanadski protokol te protokol Europske komisije koji su usmjereni na konvencionalnu i digitalnu mamografiju. Na kraju je cilj prikazati u čemu se razlikuju navedeni protokoli jedan od drugoga, prikazati prednosti i nedostatke te zaključiti koji bi bio najidealniji što se tiče temeljitosti, praktičnosti i isplativosti.

SUMMARY

The topic of this paper is the comparison of quality control protocols of mammography devices in the Republic of Croatia with protocols in other countries. Mammography is the most reliable method for early detection of breast cancer aimed at providing quality mammograms with the best possible diagnostic information with the lowest possible radiation dose to patients.

It is necessary to control the quality of the device since the image quality and acceptable radiation dose depend on several parameters such as breast size and density, X-ray source characteristics (alignment of X-ray field/image receptor, tube output, reproducibility and accuracy), automatic control exposure (AEC), compression, receptor efficiency, film processing, image reading and display conditions, and repeated image analysis.

The correctness of mammography devices in Croatia is controlled daily, monthly and annually by precisely prescribed protocols using appropriate phantoms. Quality control is performed by radiological technologists and medical physicists, but also by device manufacturers' service technicians and inspectors as needed.

The aim of this paper is to compare protocols that control the quality of mammography devices in other countries based on the Canadian and European protocols. A literature search will establish guidelines for the implementation of quality control in mammography, which are available worldwide from health care providers, but also from scientific and professional associations.

The Croatian and Canadian protocols and the protocol of the European Commission focused on conventional and digital mammography will be described. Finally, the aim is to show difference between protocols, to show the advantages and disadvantages, and to conclude which would be the most ideal in terms of comprehensiveness, practicality and cost-effectiveness.

ŽIVOTOPIS

OPĆI PODACI:

Ime i prezime: Antonia Pauk
Datum rođenja: 14. svibnja 1992.
Adresa: Ivanićeva 32, Split
Mobitel: 092 292 40 75
E-mail: antoniapauk@hotmail.com

OBRAZOVANJE:

2016. - Sveučilišni odjel zdravstvenih studija Split, diplomski studij radiološke tehnologije
2011. – 2014. Sveučilišni odjel zdravstvenih studija Split, preddiplomski studij radiološke tehnologije
2007. – 2011. Prva klasična gimnazija Split
1999. – 2007. Osnovna škola Sućidar Split

STRANI JEZICI:

Aktivno znanje engleskog jezika, pasivno znanje španjolskog jezika

RADNA ISKUSTVA:

16.01.2017. - Dom zdravlja SDŽ - inženjer medicinske radiologije / radiološki tehnolog
2015. - 2016. KBCSM, Klinika za traumatologiju i opeklina, pripravnički staž- inženjer medicinske radiologije / radiološki tehnolog
2013. Takko fashion - prodavač
2011. Prometna jedinica mladeži Split- obavljanje poslova nadzora prometa
2010. Prometna jedinica mladeži Split- obavljanje poslova nadzora prometa

RAD NA RAČUNALU:

Vješto korištenje Microsoft Office alata (Word, Excel, Power Point), DICOM programa te IRIS programa

DRUŠTVENE VJEŠTINE:

Timski rad, komunikacijske vještine, prezentacijske vještine

VOZAČKA DOZVOLA:

B kategorija