

Protokol for undersøgelse af mammografiapparater

*Protokol til undersøgelse af de danske
mammografiapparater.*

1994

Indledning:

Ved dianostisering af cancer i det kvindelige bryst, bruges mammografi (røntgenfotografering af brystet) til diagnosticering og lokalisering af en eventuel cancer knude.

Den såkaldte screeningsmammografi anvendes til tidlig opsporing af brystkræft før denne har givet anledning til symptomer hos kvinden, mens den kliniske mammografi anvendes når symptomerne er indtruffet.

Mammografi skiller sig ud fra anden konventionel røntgenteknik i flere henseender. For at afbilde små strukturer med minimale forskelle i tæthed og kemisk sammensætning, må der bruges meget blød røntgenstråling, og stilles store krav til systemets billedopløsning. De største krav stilles når det drejer sig om screeningsmammografi, da der her ikke er tale om en klinisk begrundelse for undersøgelsen, hvorfor undersøgelsen skal bestå af et begrænset antal optagelser for at minimere strålingsbelastningen.

Der kræves et veloptimeret mammografisk system for at opnå en ensartet og høj billedkvalitet. Undersøgelser har vist, at det generelt er svært for røntgenafdelingerne at opfylde disse krav. Da Statens Institut for Strålehygiejne (SIS) i 1985 sidst undersøgte samtlige danske mammografiapparater var konklusionen, at der årligt blev induceret op til 6 brystkræfttilfælde på grund af den røntgenstråling, der blev påført patienterne under mammografiundersøgelserne. Den landsdækkende undersøgelse skønnedes den gang at have givet anledning til en reduktion af stråledoserne på ca. 20%, hovedsageligt som følge af røntgenafdelingernes overgang til mere følsomme billedregistrerende systemer, samt ved at optimere fremkaldeprocesserne. Det vil derfor, nu næsten 10 år efter, være ønskeligt igen at sætte fokus på disse systemer, og ved en større undersøgelse af de danske mammografiapparater søge endnu engang at anspore afdelingerne til mere kontrol med deres mammografisystemer.

Formål:

Formålet med dette projekt er, at give en oversigt over kvaliteten af de danske mammografiapparater, både ved hjælp af en teknisk kvalitetsbestemmelse samt ved en radiologs billedkvalitetsbestemmelse, med henblik på at kunne rådgive de enkelte afdelinger om reduktion af stråledoserne og om billedkvalitet.

Hvad undersøges?:

Ved en standardiseret teknisk verifikation af mammografiapparaternes kvalitet, som følger den nordiske anbefaling¹ for udførelse og grænseværdier, vil dette projekt undersøge de danske mammografiapparater. Undersøgelserne vil klarlægge følgende punkter:

- ☛ kontrol af røntgenudrustningens tekniske formåen

¹ Nordisk rapportserie i strålskyddsfrågor Nr1:1990: "Om mammografi", utgiven av strålskyddsmyndigheterna i Danmark, Finland, Island, Norge och Sverige.

- ☞ bestemme et objektivt mål for billedkvaliteten
- ☞ bestemmelse af den påførte stråledosis til et standard bryst
- ☞ bestemmelse af fremkaldersystemets kvalitet

Selve mammografiapparatet indeholder en strålingsfrembringende enhed (røntgenrøret), og en strålingsfølsom detektorenhed (filmkassetten).

Røntgenrøret karakteriseres i dette projekt specifikt ud fra to hovedparametre, nemlig fokusstørrelsen og halvverdilataget. *Fokusstørrelsen* er det areal fra hvilket strålingen udsendes i røntgenrøret set fra et referencepunkt på filmplanet, jo mindre fokusstørrelsen er jo bedre mulighed er der for at opnå en god opløsning (denne parameter er dog ikke ene om at bestemme opløsningen, men en forudsætning for en god opløsning).

Halvverdilataget er et udtryk for, hvilken kontrasten i billedet røntgenteknisk kan få, jo lavere halvverdilatag jo bedre kontrast. Men et lavere halvverdilatag giver anledning til øgede stråledoser til brystkirtelvævet og det kan derfor ikke tolereres at have en for lav værdi.

Filmkassetten karakteriseres ud fra hvilken strålingsmængde der skal til for at give en bestemt sværtning. Sværtningen på filmen fremkommer dels ved at selve røntgenstrålingen sværter filmen (højest 5%), dels ved at der foran filmen er anbragt en fluorescerende skærm (også kaldet folie), hvis lys sværter filmen de sidste 95%. Filmkassetten undersøges også for om der er en tilstrækkelig kontakt mellem film og den fluorescerende skærm. Ved hjælp af et *finmasket metalnet* bestående af ca. 11 linier pr. cm, kan det afsløres om kontakten mellem film og folie er tilfredsstillende.

Til brug for en samlet vurdering af billedkvaliteten ved et mammografisk system vil det være nødvendigt at foretage en "realistisk" billedoptagelse, for at medtage alle billedforringende faktorer i systemet, såsom raster og kompressionsplade. Dette gøres ved brug af et *fantom*, der indeholder forskellige strukturer til bestemmelse af kontrast, opløsning og baggrundsslør. Ved senere analysering kan dette give et objektivt mål for systemets formåen.

I forbindelse med mammografiske systemer er der for at opnå en ensartet filmsværtning indbygget *eksponeringsautomatik*. Denne automatik søger at opretholde den samme sværtning på filmen uanset hvilken spænding (kV) der benyttes og uanset hvor tykt et bryst der skal fotograferes. Automatikken skal være omhyggeligt justeret for at fungere korrekt, og bliver undersøgt vha. PMMA fantomer i forskellige tykkelser, som uanset tykkelse gerne skulle give den samme sværtning ved automatisk eksponering.

Endelig kan sværtningen af filmen korrigeres manuelt vha. *korrektionsstrin*. Denne mulighed for at korrigere sværtningen er nyttig når det drejer sig om fotografering af et specielt stort eller lille bryst. Sværtningen kontrolleres ved optagelser med PMMA fantom og sammenligning af sværtningen mellem de enkelte trin.

Kvalitetsbedømmelse af mammografier

Undersøgelsen vil blive gennemført af to radiologer uafhængigt af hinanden og blindet i forhold til mammografiens oprindelse. Statens Institut for Strålehygiejne indsamler to tilfældigt udvalgte mammografier udført inden for det sidste år (eller sidste tekniske ændring af mammografiapparater) og blinder dem ved at bortklippe al identifikation. Billederne kodes herefter af Instituttet. Begge radiologer er ansat ved afdelinger, der gennemfører mammografier og vil også komme til at bedømme egne undersøgelser uden at være vidende om, hvornår det sker.

En række punkter vil blive vurderet og blive tildelt fra 0 til 5 points med stigende kvalitet. Punkterne vil være inddelt i to hovedgrupper. Fototekniske, kontrast og geometrisk opløsning, og som den anden hovedgruppe, positionering, hele kirtlen fremstillet, areola vinkelret på filmen etc.

Fototeknisk kvalitet:

1. Kontrastrig fremstilling af kirtelvævet.
2. Skarp fremstilling af lineære strukturer.
3. Hud og subcutis i stærkt lys.
4. Tydelig afgrænsning af runde strukturer.
5. Kontrastrig og skarp fremstilling af mikroforkalkninger.

Punkterne 4 og 5 vil ikke kunne bedømmes på alle mammogrammer og kan derfor ikke tildeles en talværdi i alle tilfælde. Den samlede bedømmelse af den fototekniske kvalitet vil derfor fremkomme som et gennemsnit af de tre til fem punkter, det har været muligt at bedømme.

Positionering:

1. Fremstilling af glandlen i 2 planer.
2. Areola vinkelret på filmen.
3. Huden medfremstillet i sulcus inframammalis.
4. Det retroglandulære væv fremstillet.

Positioneringen vil ligeledes blive bedømt som et gennemsnitstal mellem 0 og 5. Der vil således fremkomme to tal, et for den fototekniske kvalitet og et for positionering. Vurderingerne vil blive indsendt til Statens Institut for Strålehygiejne, der vil sammenholde de to undersøgernes vurderinger og udregne gennemsnittet. Undersøgerne vil aldrig blive orienteret om, hvem der har lavet mammografierne. Skulle der være væsentlig diskrepans vil Instituttet og de to undersøgere i fællesskab nå frem til en konsensus.

Protokol:

Protokollen der tænkes anvendt i projektet er indlagt på en bærbar PC og udført i et regneark under QuattroPro for Windows. Til de enkelte punkter i protokollen er der indlagt en "knap" kaldet **udførelse**. Hvis man er i tvivl om en målings udførelse kan man trykke på denne knap og få en beskrivelse af målingen på skærmen. Figur 1 viser den første side i denne protokol med en sådan beskrivelse. For at sikre at alle målinger er udført og indlagt i regnearket inden man forlader klinikken, er der alle steder i regnearket hvor der

Quattro Pro til Windows - NY.DAT					
File	Redigér				
1					
2	Sted:				
3	Dato:				
4	Rum:				
5	Apparat:				
6	Focusfilm: cm				
7	Anode:				
8					
9	Fokus: <input type="button" value="Udførelse"/>				
10	Stjerneraster: 0,5 grader				
11	Indstilling: 25kV 50mAs				
12	Dæmpning: ca. 2 mm Alu				
13	Diameter eksponering: mm				
14	Diameter-parallelt: mm				
15	Diameter-vinkelret: mm				
16					
17	Halvværdilag: <input type="button" value="Udførelse"/>				
18					
19	Indstilling: 27kV 80mAs				
20	<table border="1"><thead><tr><th>mm Alu</th><th>Dosis aflæsning (mR)</th></tr></thead><tbody><tr><td>0</td><td></td></tr></tbody></table>	mm Alu	Dosis aflæsning (mR)	0	
mm Alu	Dosis aflæsning (mR)				
0					
21					
22					

Stjerneraster placeres parallelt/vinkelret på bordets akse, 3cm inde fra bordets kant, i en højde der giver en forstærkning M på ca. 2
(M [afstand raster/film]/[afstand raster/kilde])
Indstilling 25kV, 50mAs
Med film/skærm kombinationer placeres der højst 2mm Al løst ovenpå

Tryk en tast for at fortsætte

Figur 1: Første side i protokollen for test af mammografiapparater indlagt i regnearket QuattroPro til Windows.

skal indsættes data angivet hva. grå felter. Checkes disse felter for indhold inden man forlader stedet, er man sikker på at have udført alle målingerne. På laboratoriet gennemføres så de sidste målinger på de eksponerede film fra klinikken og indsættes i de tomme felter i protokollen. Dataene fra protokollen kan så direkte overføres til en standardiseret rapport, som så kan udskrives for hvert opmålt apparat. Senere vil data fra de forskellige opmålinger indgå i en database, hvorfra der kan udregnes statistiske data for de danske mammografiapparater.

Mammografiprojekt: Tekniske målinger og deres udførelse (generelt).

Følgende noteres eller checkes:

- Generatortype.

- Anodemateriale.
- Omlysninger om filmtype og fremkaldning.
- Om der bruges kvalitetskontrol, og i så fald hvilken type apparatur der er til stede.
- Oplysninger om driften (bl.a. antal undersøgelser pr. år, antal radiologer).
- Anvendt teknik (rørspænding, raster, sværtningskorrektion).

Relativ følsomhed for kassetter, folier og folie-film kontakt.

En forudsætning for at der opnås en god og ensartet billedkvalitet er at kassetterne hvori filmene er placeret er ens med hensyn til følsomhed, og at der er en god og tilstrækkelig kontakt mellem film og folie.

For at finde ensartetheden af stedets kassetter, udtages fire tilfældige kassetter samt referencekassetten. Kassetterne eksponeres med den anvendte teknik, med 4,5cm PMMA placeret på patientpladen og kompressionspladen monteret. Den anvendte mAs og sværtning aflæses og sammenlignes med referencekassetten. Ligeledes eksponeres de samme film med metalnettet placeret på patientpladen, og det vurderes om der er steder på den eksponerede film hvor der ikke er tilstrækkelig kontakt mellem film og folie.

Udstyr:

- 4,5 cm PMMA
- metalnet med ca. 11 linier pr. cm

Målinger:

- 4,5 cm PMMA placeres på patientpladen, og kompressionpladen monteres. Der udføres eksponeringer af alle fem kassetter med brug af anvendt teknik og eksponeringsautomatik. Alle målingerne bør ligge i intervallet mellem 1,0 og 1,5 ND uden at eksponeringskorrektionen er mere end ± 1 .
- Det finmaskede metalnet placeres på patientpladen og filmen eksponeres til en sværtning på ca. 0,7 til 0,8.
- Efter den europæiske anbefaling skal sværtningen være 2 til 3, hvilket selvfølgelig giver meget snævrere tolerencer.

Beregninger:

Filmfølsomheden bør ligge indenfor $\pm 10\%$ for middelværdien af mAs-værdierne og indenfor $\pm 0,1$ i forhold til middelværdien af sværtningerne.

Billedet optaget med det finmaskede metalnet skal være homogent og med jævn sværtning. Ved dårlig film-folie-kontakt optræder der mørke partier på filmen, hvilket ikke kan tolereres.

Fokusstørrelse:

Den korrekte metode til at bestemme fokusstørrelsen i røntgenrøret bygger på spaltemetoden (IEC 336). Måleapparat til denne metode er dyr og ikke særlig tilgængelig. Stjernerastermetoden er enklere. Også denne metode er beskrevet i IEC 336, section 7. Den giver en god vurdering af afbindingsegenskaberne, men ikke altid en korrekt numerisk værdi sammenlignet med standarden. Et raster med 0.5° eller 1° inddeling og en forstørrelsesfaktor på 2 anbefales til fokusstørrelser $\leq 0.6\text{mm}$. Med en film uden folieforstærkning giver 25kV, 10-20mAs i reglen en tilpas sværtning (med filmen i 50-60cm afstand). Men en nemmere metode er at anvende en dæmpning af røngenstrålingen ved hjælp af ca. 2mm aluminium mellem rør og raster, hvorved man kan bruge de normale filmkassetter til bestemmelsen af fokusstørrelsen. Målingen foretages med stråleretningen mod et punkt nær brystvægen (3cm fra kanten), det klinisk mest interessante område.

Man må også være opmærksom på at referenceaksen ved hvilken fokusstørrelsen er defineret kan specificeres på forskellige måder for forskellige fabrikater. Referenceaksen er normalt linien vinkelret på rørets længdeakse gennem centret af fokus (og vinkelret på billedplanet, der som regel er parallelt med rørets længdeakse). Ved mammografiudstyr monteres røntgenrøret ofte med en vis hældning i rørkappen. Den af fabrikanten specificerende referenceakse, er den som gælder for specifikationen, og kan derfor afvige fra det normale, dvs. den behøver ikke at være vinkelret på billedplanet.

Den nominelle fokusstørrelse er ikke nødvendigvis fuldstændig korreleret med en geometriske opløsning af mammografisystemet. Dels tillader standarden store tolerancer, -dels er målesituationen for verifikation meget fabrikantafhængig. Maksimal rørspænding og halv rørstrøm giver i reglen mindre fokusdimensioner end under kliniske driftsbetingelser. I dette projekt benyttes den ovenfor beskrevne metode med dæmpning mellem rør og raster således at normale driftsbetingelser opnås for røntgenrøret. En fokusstørrelsesmåling bør dog også suppleres med en måling af systemets geometriske opløsningsformåen. Dette kan udføres vha. af et linieraster. Linierasteret bør placeres midt i et fantom på 4,0 til 4,5cm, i begge retninger bør opløsningen være bedre end 15 liniepar pr. millimeter.

Måling med stjerneraster:

Stjerneraster med 0.5° vinkel er at foretrække for at øge nøjagtigheden. Dette betyder dog at der for nogle røntgenrør med store fokustørrelser vil opstå et første crossover udenfor grænsen af stjernerasteret, men det 2. crossover kan så bruges i stedet. Ved at tælle antallet af linier på begge sider af crossover kan det afgøres om det er første eller andet crossover der er synligt. Ved det første crossover, er der udenfor crossover det rigtige antal linier at se på billedet mens der indenfor tilsyneladende er én linie mindre. Ved det andet crossover er dette forhold omvendt.

Udstyr:

- Stjerneraster (0.5° og 1° inddeling)
- Eventuelt langsom film

Målinger:

- Stjerneraster placeres parallelt/vinkelret på bordets akse, 3cm inde fra bordet kant, i en højde der giver en forstærkning M på ca. 2

- ($M \approx [\text{afstand raster/film}] / [\text{afstand raster/kilde}]$)
- Indstilling 25kV eller anvendt kV, 10-20mAs
 - Med film/skærm kombinationer placeres der eventuelt 2,4mm Al løst ovenpå stjerneraseret, denne kombination giver ved 25kV og 50mAs normalt gode resultater

Beregninger:

- Crossover diameteren D bestemmes i begge retninger, hvis der er tale om 2. crossover er den fundne diameter kun $D/2$
- M bestemmes ved som forholdet mellem rasterets diameter, og diameteren på billedet.

Fokusstørrelse kan herefter udregnes ved:

$$f = \frac{\pi \theta D}{180 (M-1)} = \frac{D}{115 (M-1)}$$

ved en rastervinkel på 0.5° . M er forstørrelsesfaktoren og θ er rastervinklen.

Halvværdilag:

Halvværdilagsmålingen (HVL) udføres for at få en verifikation af strålekvaliteten (rørspændingen). HVL bruges tillige som en af variablerne til bestemmelse af absorberet dosis i brystvævet.

Målingen skal udføres ved et lille strålefelt og med aluminiumsabsorbere placeret midt mellem fokus og detektor, dvs. i en fokusafstand på 20 til 30cm.

Udstyr:

- Aluminiumsabsorbere med en renhed på mere end 99%.
- Stativ til at holde absorberne.
- Elektrometer
- Jonisationskammer (1-6cm³), < ±5% ved alle mammografienergier
- Blænde af bly i passende størrelse således at jonkammeret lige netop udblændes

Måleprocedure:

- Halvværdilaget måles uden kompressionspladen monteret.
- Blykollimator påklæbes foran røntgenrør
- Jonisationskammeret stilles op i centrum af strålefeltet, 3cm fra bordkanten.
- Der udføres en dosismåling frit i luft.
- Absorberne placeres midt mellem detektor og fokus.
- Der udføres 3 målinger med absorberingstykkelser omkring halvværdilaget (0,2; 0,3; 0,4 mm Aluminium).
- Der udføres endnu en dosismåling frit i luft.

Beregninger:

- HVL beregnes.
- kV, anodemateriale, samt filtrering noters.
- Dosen tilhørende halvværdilaget D_{HVL} beregnes ved at dividere dosis målt i luft med 2.

Bemærkninger:

HVL vil typisk være omkring 0,3mm Al.

5% afvigelse i rørspænding medfører en fejl i halvværdilaget på ca. 10% (typisk 0,03mm Aluminium).

Dosis per mAs:

Disse målinger har flere formål.

- kontrol af linearitet mellem indstillet mAs og dosisudbytte
- dosisudbytte per mAs for forskellige mAs-værdier til brug for forenklet dosisbestemmelse
- reference for kommende målinger for at kunne opdage forandringer over tid

Målingerne bør foretages med et til formålet egnet jonisationskammer.

Energiafhængigheden bør ligge indenfor $\pm 5\%$ ved de strålekvaliteter der kan forekomme indenfor mammografien. Et lille fladt kammer har den fordel at målegeometrien er godt bestemt (f.eks. den effektive fokusafstand) og transmissionsmålinger gennem et fantom kan gennemføres og tolkes direkte. Ulempen ved små kamre er et lille målesignal.

Forholdet mellem dosis og indstillet mAs måles for alle klinisk relevante højspændinger med et jonisationskammer.

Udstyr:

- Elektrometer med jonisationskammer, 1-6cm³
- Termometer
- Barometer
- Målebånd

Måleprocedure:

Målingerne udføres frit i luft uden ekstra filtrering.

Jonisationskammeret placeres med centrum 4,5cm over patientbordet, og 3cm fra kanten i centrum af strålefeltet. Kompressionspladen placeres direkte over kammeret.

KERMA i luft bestemmes for mAs værdier mellem 10mAs og 200mAs. Dette gøres ved normal kV og om ønskeligt også ved andre værdier.

Beregninger:

Da kalibreringen af dosimetret er normaliseret til en given temperatur og et givet tryk, skal målingen korrigeres ved:

$$k_d = \frac{760}{p} \cdot \frac{t+273}{t_{ref}+273}$$

hvor

k_d er korrektionsfaktoren

p og t er tryk og temperatur

t_{ref} er referencetemperatur (20 eller 22 °C)

Grænseværdier:

Dosis per mAs bør ligge indenfor $\pm 5\%$ for alle mAs indstillinger i området 10mAs til 200mAs.

Eksponeringsautomatik:

Moderne eksponeringsautomatik bør kunne afstedkomme film med samme sværtning indenfor $\pm 0,2$ uanset tykkelse, højspænding, normal, eller med raster. Dette undersøges hva. homogene fantomer af PMMA (perspex, plexiglas osv.) ved varierende tykkelser fra 2cm til 6cm, med de rørspændinger og teknikker der er klinisk relevante. Samme kassette bør bruges ved alle eksponeringerne (referencekassetten), da der kan være forskellige dæmpninger eller følsomhed fra kassette til kassette. Nettosværtningen (ND) måles 3cm fra kanten af bordet imod brystvæggen, og bør ligge i intervallet 1,0 til 1,5. Der bør findes mindst 4 korrektions indstillinger i hver retning fra nulværdien, og hvert trin bør give en sværtningsændring på 0,1-0,2.

Udstyr:

- PMMA-fantom på totalt 6cm's tykkelse, fordelt på 1cm og 0,5cm' tykkelse.
- Densitometer
- Referencekassette

Målinger:

- Indstil højspænding og eksponeringsautomatik ved typiske indstillinger (eller som referencekassetten plejer at blive testet).
- Eksponer PMMA ved tykkelse 2cm, 3cm, 4,5cm samt ved 6cm, uden at forandre korrektionstrinnet, aflæs efter hver eksposering mAs.
- Eksponer 4,5cm PMMA ved den højspænding som anvendes ved normal teknik, ved alle korrektionstrin (minimum to på hver side af normal), aflæs efter hver eksposering mAs.
- Gentag funktionstest med 2-6cm PMMA for alle andre klinisk relevante højspændinger og teknikker, aflæs efter hver eksposering mAs.

Beregninger:

- For hver fremkaldt film aflæses sværtningen 3cm fra kanten.

Bemærkninger:

PMMA stykkerne skal laves med en nøjagtighed på $\pm 0,1$ mm i tykkelse, samt med $\pm 0,1$ mm i planhed.

Stråledosis til brystkirtelvæv:

Dosis til brystkirtelvævet beregnes ud fra kendskab til strålekvalitet og KERMA til luft ved hudoverfladen. Det antages her at brystet er sammensat af 50% fedt og af 50% kirtelvæv samt at det er komprimeret under eksponeringen. Dosis knyttes til en netto filmsværtning på 1,0, efter eksponering af et 4,5cm homogent PMMA fantom. Dosis bestemmes for alle klinisk relevante kV.

Udstyr:

- Et homogent 4,5cm tykt PMMA fantom
- Desitometer.
- Udvalgt filmkassette der ligger nær gennemsnittet i følsomhed.

Målinger:

- Placer PMMA-fantomer på patientbordet, og eksponer referencekassetten ved indstilling af automatikken på "normalbryst".
- Justér automatikken til en nettosværtning på 1,0 på filmen aflæst 3cm fra kanten i centrum.
- Aflæs mAs.

Beregninger:

- KERMA frit i luft 4,5cm over bordet findes som produktet mellem aflæst mAs-værdi ved nettosværtning og dose/mAs forholdet fra dosis per mAs testen.
- Ved kendskab til halvværdilaget for aktuell strålekvalitet, kan overgangsfaktoren mellem KERMA frit i luft og DOSIS til brystkirtelvæv læses fra Tabel 1.

HVL mmAl	Komprimeret brysttykkelse, mm					
	30	40	45	50	60	70
Mo-anode						
0.3	250	200	180	160	130	110
0.4	-	250	225	200	165	-
W-anode						
0.3	250	210	190	170	145	115
0.4	-	270	245	220	185	-

Tabel 1: Absorberet dosis til brystkirtelvæv i mGy per Gy KERMA frit i luft ved indgangen til hud. Data gælder for hårdt komprimeret bryst bestående af 50% fedt og 50% kirtelvæv.

Grænseværdier:

Stråledosis til brystkirtelvæv beregnet på denne måde bør ved et godt optimeret system være $\leq 0.8\text{mGy}$ når der ikke benyttes raster og $\leq 2.0\text{mGy}$ ved rasterteknik.

Følsomhed af film-skærm-fremkaldersystemet:

Følsomheden af det billedregistrerende system varierer med strålekvaliteten, objekttykkelsen og exponeringstiden. Målingen bør foretages under standardiserede forhold, dvs med et 4,5cm tykt PMMA fantom og en rørspænding på 25kV (eller den spænding der er klinisk relevant). Med hensyn til det måletekniske anbefales det at fantomet placeres midt mellem fokus og film. Exponeringen foretages således at nettosværtningen bliver 1,0, 3cm fra kanten ved brystvæggen. Det er i praksis enkelere at foretage to målinger lige over og lige under $ND=1$ og herefter interpolere. Expositionen eller snarere luftkermaen bestemmes i filmplanet direkte eller med TLD. Hvis placering i filmafstand ikke er muligt korrigeres for dette senere. Alle målinger foretages 3cm fra kanten af brystvæggen.

Udstyr:

- Jonkammer.
- Blyafblænding.
- 4,5cm PMMA.
- Løs filmkassette.

Måling:

- Et 4,5cm PMMA placeres midt mellem fokus og film.
- Den løse filmkassette placeres på patientpladen.
- Oven på den løse filmkassette placeres jonkammeret med centrum 3cm fra kanten i retning parallelt med brystkassen.
- Der foretages to eksponeringer én over og én under $ND=1$.
- Film-Filmstanden bestemmes og jonkammer-filmstand bestemmes.

Beregninger:

- ND måles på de to film lige foran jonkammer og lige bagved jonkammer og middel udregnes.
- Der foretages interpolation for at mAs ved $ND=1$.
- Der foretages ligeledes interpolation for målt exposition mellem de to punkter og expositionen findes ved de ovenfor beregnede mAs.

Grænser:

$ND=1$ bør kunne opnås ved et luftkerma i filmplanet på $\leq 70\mu\text{Gy}$. Dette gælder for 25kV's rørspænding og et 4,5cm PMMA-fantom.

Test med billedkvalitetsfantom (NRT):

Den fysiske billedkvalitet bestemmes vha. et fantom. Fantomet skal indeholde strukturer som tillader måling af den geometriske opløsning, lavkontrast-detekterbarheden, og den numeriske værdi af kontrasten, samt synligheden af anatomiske strukturer som mikroforkalkninger. Det er vigtigt at holde sig indenfor et meget snævert sværtningsområde for at kunne sammenligne billedkvalitetstests. Synsindtrykket påvirkes stærkt af filmsværtningen.

Udstyr:

- NRT fantom
- Desitometer
- Mattsonkikkert

Målinger:

- Fantomet bestråles således at referencesværtningen har en nettoværdi på 1,0, er det svært at opnå en nettoværdi på 1,0 kan eksponeringsautomatikken evt. flyttes til et andet punkt under fantomet. For at forskellige fantomer skal kunne sammenlignes direkte skal referencesværtningen ligge indenfor $\pm 0,05$. mAs ved målingen noteres.

Beregninger:

- Mål med desitometer sværtningen under: Baggrund, Alu, Cu, Pb1 og Pb2.
- Beregn som angivet kontrasten:

$$C_{Alu} = \frac{D_{Bg} - D_{Alu}}{D_{Bg}}, \quad C_{Cu} = \frac{D_{Bg} - D_{Cu}}{D_{Bg}}, \quad S/P = \frac{D_{Pb1} - D_{Pb2}}{D_{Bg} - D_{Pb1}}$$

- Aflæs linierasteret i hver retning
- Aflæs mindste diameter af lavkontrastdetaljerne indenfor hver kontrastgruppe
- Forsøg at sige noget om synligheden af forkalkninger
- Mål med densitometer trappekurven for kontrastmålingerne og afbild denne.

Lysfelt ↔ Strålefelt:

Strålefeltets størrelse og position på filmplanet bestemmes for alle klinisk relevante kombinationer af fokusvalg, blændere og fokus-film afstand. Målingen gennemføres ved at eksponere en eller flere kassetter. Patientpladens forkant markeres med en klips. Strålefeltets forkant skal dække hele filmen og ikke gå udenfor filmen med mere end 3mm. Ved de øvrige sider bør filmens begrænsninger ikke overskrides med mere end 10mm.

Udstyr:

- Fluorescerende skærm.
- Kasette og film.
- Mønter eller klips til markering.

Målinger:

- På den fluorescerende skærm tegnes en streg med en lineal ca. 2cm fra kanten. Stregen lægges parallelt med patientbordets forkant. Ved at dæmpe belysningen i rummet kan man ved eksponering på manuel indstilling få et visuelt indtryk af strålefeltets afgrænsninger.
- Herefter foretages en eksponering af filmen, og markører udlægges og det kontrolleres om filmen bliver eksponeret over hele fladen.

Kompression:

Kompressionskraften måles og sammenlignes med angivelsen på røntgenudstyret. En normal flad badevægt kan anvendes til formålet. For at hele trykket ikke skal være i et punkt, hvorved udstyret kan beskadiges, bør man indlægge et blødt materiale mellem kompressionsplader og vægt (f.eks. luftfyldt plastik). Kompressionen skal udløses straks ved påvirkning af "Release" knappen, samt ved strømafbrydelse.

Udstyr:

- Badevægt
- Skumfyldt plastik, to badehåndklæder eller "SleepOver".

Målinger:

- Der sammenlignes med vægten angivet på udstyret
- Kraften skal være variabel op til mindst 200N (20,4kg) og højest 300N (30,6kg).

Sensitometeret:

Sensitometeret bør have mindst 15 trin og skal tegne sværtingen fra basis plus støj til maksimal sværting. Der skal være forholdsvis lige store trin mellem hvert trin dvs. 0,15 udtrykt ved logaritmen til forholdet mellem de to eksponeringer

Udstyr:

- Sensitometer med 21 trin, med en afstand på 0,15 i log relativ eksponering. Sensitometeret bør kunne eksponere med både blåt og grønt lys.
- Et densitometer.

Målinger:

- Hvis fremkalderen er ny send et par blanke film igennem først.
- Eksponer filmen i mørkerummet med lys som svarer til filmen (normalt grøn). Emulsionen (den lyse side) skal ligge imod lyskilden. Eksponér den ene langside. Send filmen gennem fremkalderen på samme måde hver gang. (Enkelt emulsionsfilm skal altid sendes ind i fremkalderen med emulsionssiden nedad).
- Aflæs sværtingstrappen med et densitometer.
- Optegn filmens karakteristiske kurve.

Beregninger:

- Baggrundsslør aflæses på trin1, eller 2cm foran trin1 hvis der er forskel mellem disse værdier (Den vandrette del af foden på kurven)
- Følsomhed. Bestemmes for logE-værdien ved en bestemt ND (nettosværting) som regel lig 1.
- Værdier for ND lig: 0,25; 0,5; 1,5; 2,0 beregnes eller aflæses.
- Den gennemsnitlige gradient for kurvens "tå" (0,25-0,5), kurvens rette del (0,5-1,5) og for hele området (0,25-2,0) beregnes efter følgende formel:

$$\gamma = \frac{D_2 - D_1}{\log E_2 - \log E_1}$$

Subjektiv billedkvalitetsvurdering

Den subjektive del af billedkvalitetstesten vil blive varetaget af to radiologer uafhængigt af hinanden. Der vil i forbindelse med hver mammografiapparat blive udtaget ét tilfældigt mammografibillede inden for det sidste år på to tilfældige dage. Hvis der indenfor det sidste år er sket ændringer med apparatur, film eller fremkalder vil billeder fra før denne ændring ikke blive udtaget til test. Radiologerne vil vurdere billedkvaliteten ud fra et antal beskrevne kvalitetsparametre og give disse parametre karakter fra 0 til 5.