

# マンモグラフィにおける 被ばく線量の把握方法

岐阜医療科学大学 石井美枝

# 本日の予定

1. マンモグラフィの被曝線量
2. 平均乳腺線量について
  - 2-1 歴史
  - 2-2 Wu
  - 2-3 Dance
3. 実際の平均乳腺線量算出
  - 3-1 線量測定による誤差
  - 3-2 計算ガイドラインによる違い
  - 3-3 平均乳腺線量の問題点
4. 装置の表示値について
5. 今後の課題
6. まとめ

# 1. マンモグラフィの被曝線量

- 皮膚表面線量 **1970年代まで**  
skin dose  
entrance skin exposure(ESE)
- 中央線量 **1970年代後半～80年代初頭**  
midplane dose
- 乳房全体の平均線量 **1970年代後半～80年代初頭**  
mean whole-breast absorbed dose
- 平均乳腺線量 **1979年(Hammerstein)**  
mean glandular dose(MGD)  
average glandular dose(AGD)  
**1990年(Dance), 1991年(Wu), 2000年(Dance)**

# 本日の予定

1. マンモグラフィの被曝線量
2. 平均乳腺線量について
  - 2-1 歴史
  - 2-2 Wu
  - 2-3 Dance
3. 実際の平均乳腺線量算出
  - 3-1 線量測定による誤差
  - 3-2 計算ガイドラインによる違い
  - 3-3 平均乳腺線量の問題点
4. 装置の表示値について
5. 今後の課題
6. まとめ

## 2. 平均乳腺線量

1979年 Hammerstein

- 放射線誘発癌のリスクが高いのは皮膚ではなく、乳腺である。
- MMGの被曝線量評価は乳腺で行うべきである。

mean dose to gland for “average” breast

「平均的な乳房のための  
乳腺への平均線量」

を使うことを提唱 Hammerstein (1979)

# 平均乳腺線量の用語について

Average glandular dose

: AGD 主にアメリカ

Mean glandular dose

: MGD 主にヨーロッパ

Danceの平均乳腺線量の普及により  
「MGD」の頻度が多くなっている。

## 2-1平均乳腺線量の歴史

- 1979年(Hammerstein) BR12ファントム  
平均乳腺線量の考え方
- 1990年(Dance) PMMAファントム  
Mo/Mo, W/Mo, W/Rh, W/Pd, W/Al
- 1991年(Wu) BR12ファントム  
Mo/Mo
- 1994年(Wu)  
Mo/Rh, Rh/Rh
- 1997年(Sobol, Wu)  
計算式の発表
- 2000年(Dance)  
Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh, Rh/Al, W/Rh  
⋮  
これより先はDanceのみ

# 日本のガイドライン

1999年～2011年

米国放射線医学学会 (ACR) の品質保証プログラムを採用

MGD算出法: Wu

2009年 デジタルマンモグラフィ品質管理マニュアル  
(受入試験のみ)

欧州連合の品質保証プログラムEUREF  
の一部を採用

MGD算出法: Dance

2012年 改訂

欧州連合の品質保証プログラムEUREFの一部  
を採用

MGD算出法: Dance



# 2-2Wuの計算方法

$$MGD = DgN \times ESE$$

MGD : 平均乳腺線量

DgN : 平均乳腺線量換算係数

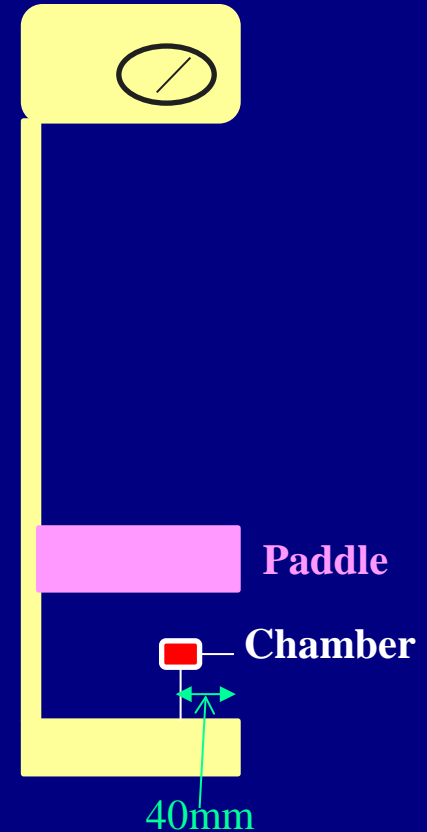
ESE : 皮膚表面照射線量

## Sobolの式のパラメータ

ESE 管電圧 Target/Filterの種類  
半価層 乳房厚 乳腺含有率

Phantom : BR12

Target/Filterの種類 : Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh 入射空中線量測定配置図  
乳腺含有率 : 0%, 50%, 100%



Wu X, Barnes GT, Tucker DM.

Spectral Dependence of Glandular Tissue Dose in Screen-Film Mammography. Radiology 1991;179:143-148.

Wu X, Gingold EL, Barnes GT, Tucker DM.

Normalized Average Glandular Dose in Mo-Rh and Rh-Rh Mammography. Radiology 1994;193:83-89.

Sobol WT, Wu X.

Parametrization of mammography normalized average glandular dose tables. Med Phys 1997;24(4):547-554.

## 2-3Danceの平均乳腺線量

- 1990年 PMMAファントム  
Mo/Mo, W/Mo, W/Rh, W/Pd, W/Al
- 2000年 英国プロトコル  
Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh, Rh/Al, W/Rh  
c-factorの採用 (0.1, 25, 50, 75, 100%, age: 40-49, 50-64)
- 2006年 EUREF  
乳房等価厚, 乳房厚とHVLによりc-factorを固定  
乳房厚毎の許容値, 目標値の設定
- 2009年 IAEA (プログラムは2011年)  
Target/filter の追加
- 2013年 EUREF supplement  
W target 用のHVLと乳房厚に対応した g, c-factor  
の追加

# Danceの平均乳腺線量:2000 英国プロトコル

$$D = K g c s$$

D: MGD(mean glandular breast dose)

K: 乳房への入射皮膚面のair kerma

g: 乳腺含有率50%のMGDへの変換係数

乳房厚・半価層が必要

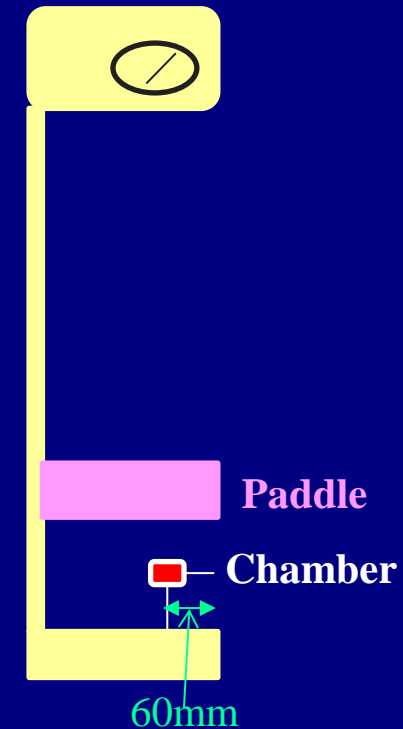
c: 乳腺含有率の修正係数

s: X線スペクトル修正係数

Phantom: PMMA

乳腺含有率: 0.1%, 25%, 50%, 75%, 100%

age 40-49, age 50-64



入射空中線量測定配置図

Dance DR, Skinner CL, Young KC, Beckett JR, Kotre CJ.

Additional factors for the estimation of mean glandular breast dose using the UK mammography dosimetry protocol.

Physics in Medicine and Biology 2000; 45: 3225-3240.

# 本日の予定

1. マンモグラフィの被曝線量
2. 平均乳腺線量について
  - 2-1 歴史
  - 2-2 Wu
  - 2-3 Dance
3. 実際の平均乳腺線量算出
  - 3-1 線量測定による誤差
  - 3-2 計算ガイドラインによる違い
  - 3-3 平均乳腺線量の問題点
4. 装置の表示値について
5. 今後の課題
6. まとめ

# 3 実際の平均乳腺線量 (Dance) 算出に 必要なパラメータ測定の注意点

乳房への入射皮膚面の照射線量  
半価層

乳房厚

乳腺含有率

Target/Filterの種類

# 線量測定 of 誤差

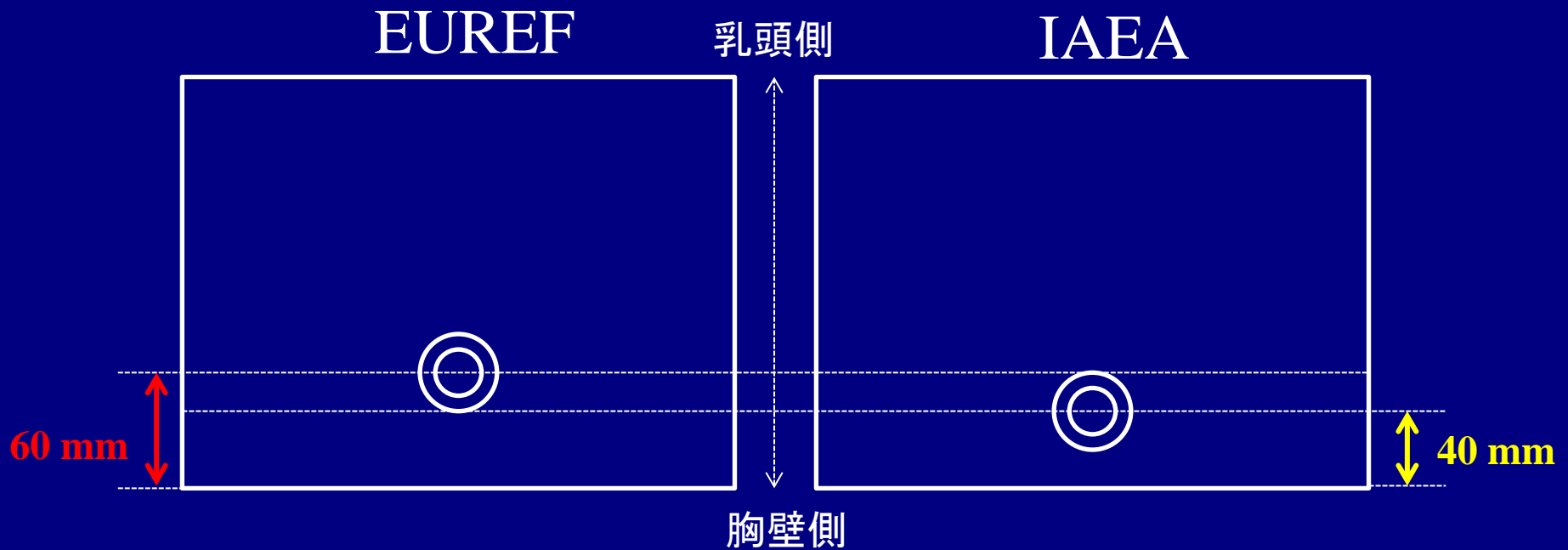
ガイドラインによる測定位置の違い

半価層測定用A1フィルタ厚の測定

線量計の違い

# 3-1線量測定(照射線量・半価層)

## ガイドラインによる測定位置の違い



想定される人種によって測定位置に違いがある

European protocol for the quality control of the physical and technical aspects of mammography screening. European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis Fourth Edition. European Communities Luxembourg 2006

# 測定位置の違い

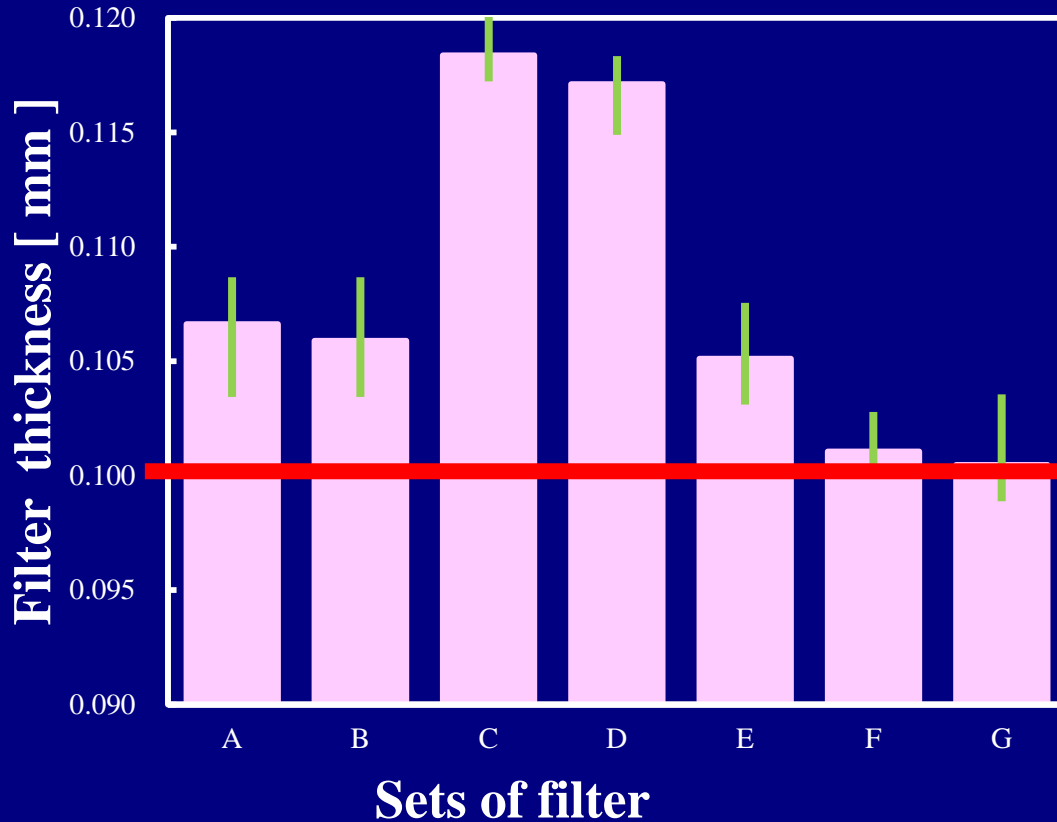
MMG装置	胸壁からの距離	照射線量相対値	半価層相対値
直接変換 FPD	40 mm	100%	100.00%
	60 mm	99%	100.00%
間接変換 FPD	40 mm	100%	100.00%
	60 mm	98%	100.00%
CR+MMG	40 mm	100%	100.00%
	60 mm	96%	100.59%

- 皮膚入射線量は若干の違いが生じ、また装置によっても異なる。
- 半価層は装置による違いはあるがそれほど異ならないかもしれない。

実際に測定してみなければ使用装置の特性は判らない。



# 半価層測定用Alフィルタ厚の測定



公称値でHVLを計算するとフィルタセットによって半価層に16%の差  
MGDにすると2.05mGy→1.76mGy  
14%の差

管電圧:30 kV, HVL:0.4 mmAl→0.336 mmAl  
ESE:1R=2.58 × 10<sup>-4</sup>C/kg=8.76 mGy  
ファントム厚:45 mm

公称0.1 mm厚のフィルタが18%も差のある0.118mm厚のフィルタがあった。

# 線量計の違い

tube voltage [ kV ]	HVL±SD [ mmAl ]		
	電離箱	半導体	
25	0.264±0.001	0.294±0.002	*
30	0.319±0.003	0.345±0.002	*
35	0.350±0.003	0.374±0.001	*

\*p&lt;0.001

MGDにすると 1.68mGy→1.80mGy 6%の差

ESE:1R=2.58×10<sup>-4</sup>C/kg=8.76 mGy ファントム厚:45 mm

# 正しい平均乳腺線量測定のために

1. 正確な照射線量
2. 正確な半価層

## 3-2平均乳腺線量 ガイドラインの違い

Target/filter	Method	MGD(mGy)	Difference(%)
Mo/Mo	Wu (1991)	1.88	0.0%
	Dance(1990)	2.22	18.1%
	Dance(2000)	2.05	9.0%
	Dance(2011)	2.14	13.8%

### Exposure index

Tube voltage	:30 kV
HVL	:0.4 mmAl
ESE	: $1R=2.58 \times 10^{-4}C/kg=8.76 \text{ mGy}$
Phantom thickness	:45 mm

使用した計算方法を明示する必要あり

## 3-3平均乳腺線量(MGD)の問題点

1. 入射空中線量は実測する必要がある.
2. 圧迫によって乳房の厚さが変わる.
3. 年齢によって乳腺密度が変わる.
4. 個々の受診者の被曝線量は判らない.
5. MGDは推定値である(実測値があっても).
6. Danceのfactorは変わる可能性がある.  
日本のガイドラインも変わる可能性がある.

# 本日の予定

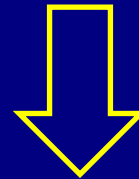
1. マンモグラフィの被曝線量
2. 平均乳腺線量について
  - 2-1 歴史
  - 2-2 Wu
  - 2-3 Dance
3. 実際の平均乳腺線量算出
  - 3-1 線量測定による誤差
  - 3-2 計算ガイドラインによる違い
  - 3-3 平均乳腺線量の問題点
4. 装置の表示値について
5. 今後の課題
6. まとめ

# 4 デジタルマンモグラフィ装置の表示線量

In addition to the stability test, a dose survey is conducted. For the dose survey, X-ray exposure data must be available, and the respective images must be available for verification. The mean glandular dose recorded in the DICOM header is compared with the values from the dose survey.

Supplement 4th edition European Guidelines;2013,58-59

各画像のDICOMヘッダに記録された照射線量・平均乳腺線量のデータは、被曝線量を証明するため、線量評価のために利用されなければならない。



ではこの表示線量は正確でしょうか？

# 実測値とDICOM表示値との比較

Target/Filter		Mo/Mo	Mo/Rh	W/Rh
実測値	HVL (mmAl)	0.376	0.437	0.561
	照射線量(mGy)	13.56	10.97	4.35
DICOM表示値	照射線量(mGy)	12	14	6
<b>照射線量(実測と装置表示値の差)</b>		<b>-11%</b>	<b>28%</b>	<b>38%</b>
MGD (mGy)	Dance(2000)	3	2.82	1.44
	Dance(2011)	3.12	2.93	1.49
実測値からの算出値	Wu	2.76	2.59	—
DICOM表示値	MGD(mGy)	2.7	2.7	1.6
<b>MGD</b>	Dance(2000)	-10%	-4%	11%
<b>実測値と装置表示値 の差</b>	<b>Dance(2011)</b>	<b>-10%</b>	<b>-4%</b>	<b>11%</b>
	Wu	-2%	4%	—

管電圧: 30 kV    管電流時間積: 100 mAs    ファントム厚: 45 mm  
(実測 照射線量: air kerma)



# 装置の表示値を使用しても良いか？

- 表示照射線量の正確さの確認  
実際の線量と装置表示値との比較  
その関係を調べること.
- 圧迫厚, HVL, 管電圧, X線出力  
QCで確認

上記の実測値より算出した平均乳腺線量  
と装置の表示平均乳腺線量との比較

違いを正しく知らなければならない

# 装置の表示データを使うために

- 正確な照射線量の測定
- DICOM表示線量と実測値の関係を調査
- DICOM表示線量情報の表示と保存
- DICOM表示値が使えないときは、同じ撮影条件で表面線量を実測し、そのデータを使用。

# 本日の予定

1. マンモグラフィの被曝線量
2. 平均乳腺線量について
  - 2-1 歴史
  - 2-2 Wu
  - 2-3 Dance
3. 実際の平均乳腺線量算出
  - 3-1 線量測定による誤差
  - 3-2 計算ガイドラインによる違い
  - 3-3 平均乳腺線量の問題点
4. 装置の表示値について
5. 今後の課題
6. まとめ

## 5 今後の課題

DanceのMGD算出方法は変化する。  
日本のガイドラインのMGD算出方法も変化する。  
変化に対応しなければならない

MGD算出に必要なパラメータを記録すること。

乳房への入射皮膚面の照射線量または撮影条件  
半価層 乳房厚 乳腺含有率 Target/Filterの種類

# パラメータの記録によって可能になること

➤MGD算出方法が変わっても算出が可能である.

✓ 臨床画像が保存されていれば..

1.乳房厚

2.Target/Filter

3.乳腺含有率

4.撮影条件 または 照射線量が判る.

✓ QCの半価層データがあれば..

いつでもMGD算出ができる.  
その時々標準算出法が  
使用できる.

## 6まとめ

Danceの平均乳腺線量に対応していくために

✓ 時代に即した平均乳腺線量の算出が必要



- 正確な照射線量の測定
- 正確な半価層 測定

平均乳腺線量の把握に努めたい

ご清聴ありがとうございました