

個人のリスクを推定する科学 実効線量を超えたステップ (仮訳)

Wesley E. Bolch, PhD, PE, DABHP, FHPS, FAAPM
生物医学工学部
フロリダ大学、ゲーンズビル、フロリダ州

放射線と甲状腺がんに関する国際ワークショップ
品川プリンスホテル、東京、日本
2014年2月21～23日

関連情報のソース

放射線防護に関する国際委員会 – ICRP

- ICRP 刊行物 79 – がんへの遺伝的権り易さ (1998 年)
- ICRP 刊行物 83 – 多因子的病気に関するリスク推定 (1999 年)
- ICRP 刊行物 99 – 放射線関連のがんの低線量推定 (2005 年)

国立放射線防護測定委員会 – NCRP

- NCRP 報告書 158 – 外部線量測定法の不確実性 (2007 年)
- NCRP 報告書 164 – 体内線量評価の不確実性 (2009 年)
- NCRP 報告書 171 – がんリスク推定値とPOCの不確実性 (2012 年)
- NCRP 報告書 159 – 電離放射線からの甲状腺へのリスク (2008 年)
- NCRP 報告書 167 – 個人のがんへの遺伝的権り易さと以前の放射線被曝の、宇宙飛行士の放射線リスクに対する潜在的影響 (2010 年)

個人別リスクへのステップ

1. 被曝のアセスメント

- 体外放射線 – エネルギー、強さ、方向、種類
- 体内放射線 – 吸気、食物からの摂取量

2. 被曝した器官の線量のアセスメント

- 体外放射線 – 個人の体型測定
- 体内放射線 – 生物動力学、器官の解剖

3. 器官が被曝したときの放射線リスクのアセスメント

- がんの発生率又は死亡率についての線量反応モデル
- リスクの年齢と性別への依存度
- 個人の遺伝的感受性

個人別リスクへのステップ

1. 被曝のアセスメント

- 体外放射線 – エネルギー、強さ、方向、種類
- 体内放射線 – 吸気、食物からの摂取量

2. 被曝した器官の線量のアセスメント

- 体外放射線 – 個人の体型測定
- 体内放射線 – 生物動力学、器官の解剖

3. 器官が被曝したときの放射線リスクのアセスメント

- がんの発生率又は死亡率についての線量反応モデル
- リスクの年齢と性別への依存度
- 個人の遺伝的感受性

放射線防護－実効線量

ICRPの放射線防護システムにおいて、放射線被曝後の危害の確率、ひどさ及び時間表現を組み合わせる複雑な概念であるデトリメントの概念が適用されている。

ICRP 103において、デトリメントは下記の推定値を含む...

- がん発生率の公称リスク
- そのリスクのがんの致死性についての調整
- 生命影響の品質についての調整
- 失われる相対的な生命についての調整
- 相続できる影響の潜在的リスクの考慮

Table 1. Detriment-adjusted nominal risk coefficients (10^{-2} Sv^{-1}) for stochastic effects after exposure to radiation at low dose rate.

Exposed population	Cancer		Heritable effects		Total	
	Present ¹	<i>Publ. 60</i>	Present ¹	<i>Publ. 60</i>	Present ¹	<i>Publ. 60</i>
Whole	5.5	6.0	0.2	1.3	5.7	7.3
Adult	4.1	4.8	0.1	0.8	4.2	5.6

¹ Values from Annex A.

放射線防護 - 実効線量

$$H_T = \sum_R w_R D_{R,T}$$

$$E = \sum_T w_T H_T$$

D = 吸収された線量

H = 等価線量

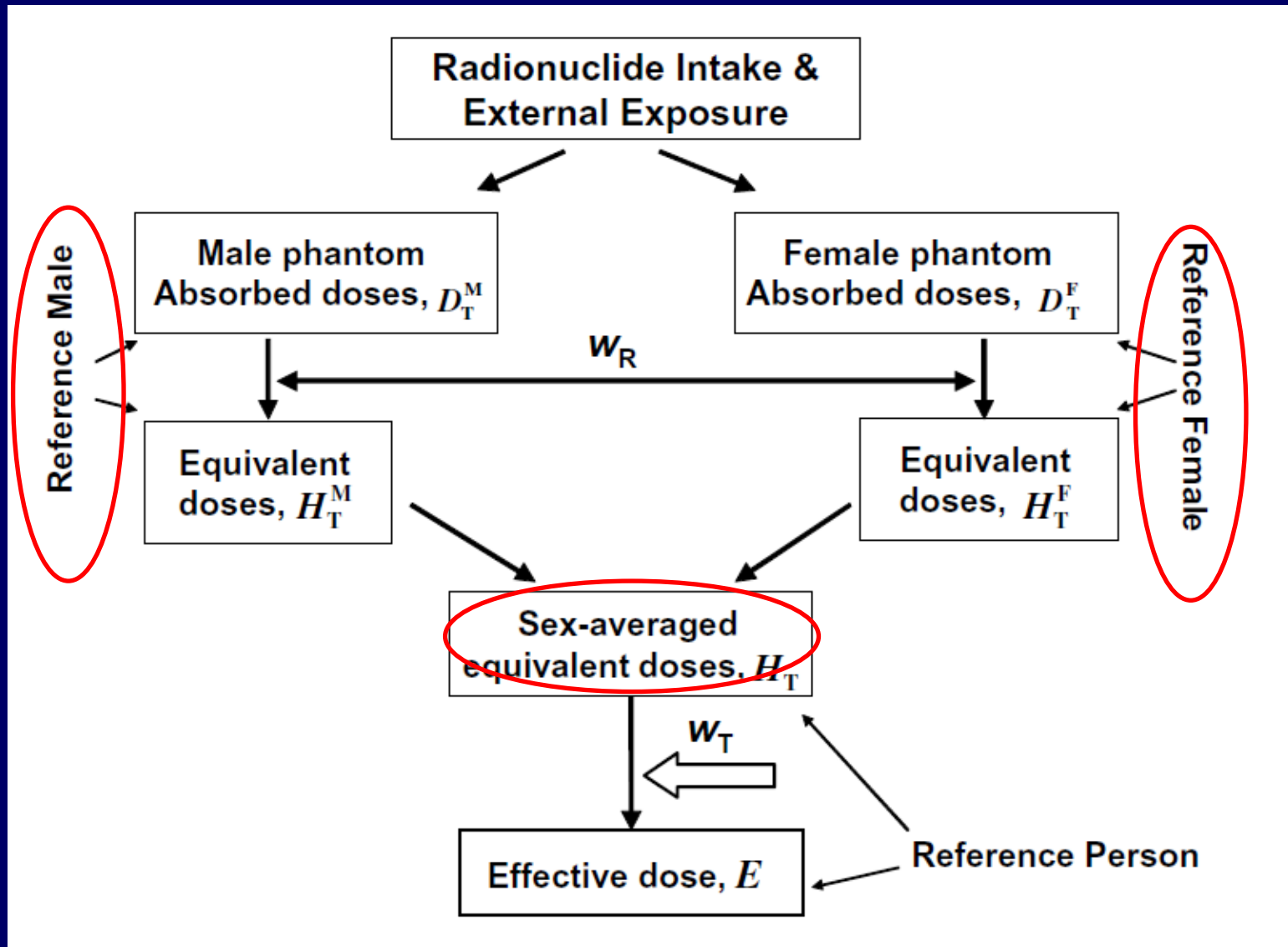
E = 有効線量

組織の加重要因は均一な全身放射線放射における合計ドーズのうちのその器官に特有の分数を表す

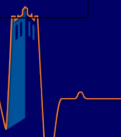
性別と年齢による平均化

器官 / w_T	ICRP 26	ICRP 60	ICRP 103
膀胱		0.05	0.04
骨髄	0.12	0.12	0.12
脳			0.01
乳房	0.15	0.05	0.12
結腸		0.12	0.12
骨内膜	0.03	0.01	0.01
食道		0.05	0.04
肝臓		0.05	0.04
肺	0.12	0.12	0.12
皮膚		0.01	0.01
唾液腺			0.01
胃		0.12	0.12
甲状腺	0.03	0.05	0.04
生殖腺	0.25	0.20	0.08
その他	0.30	0.05	0.12

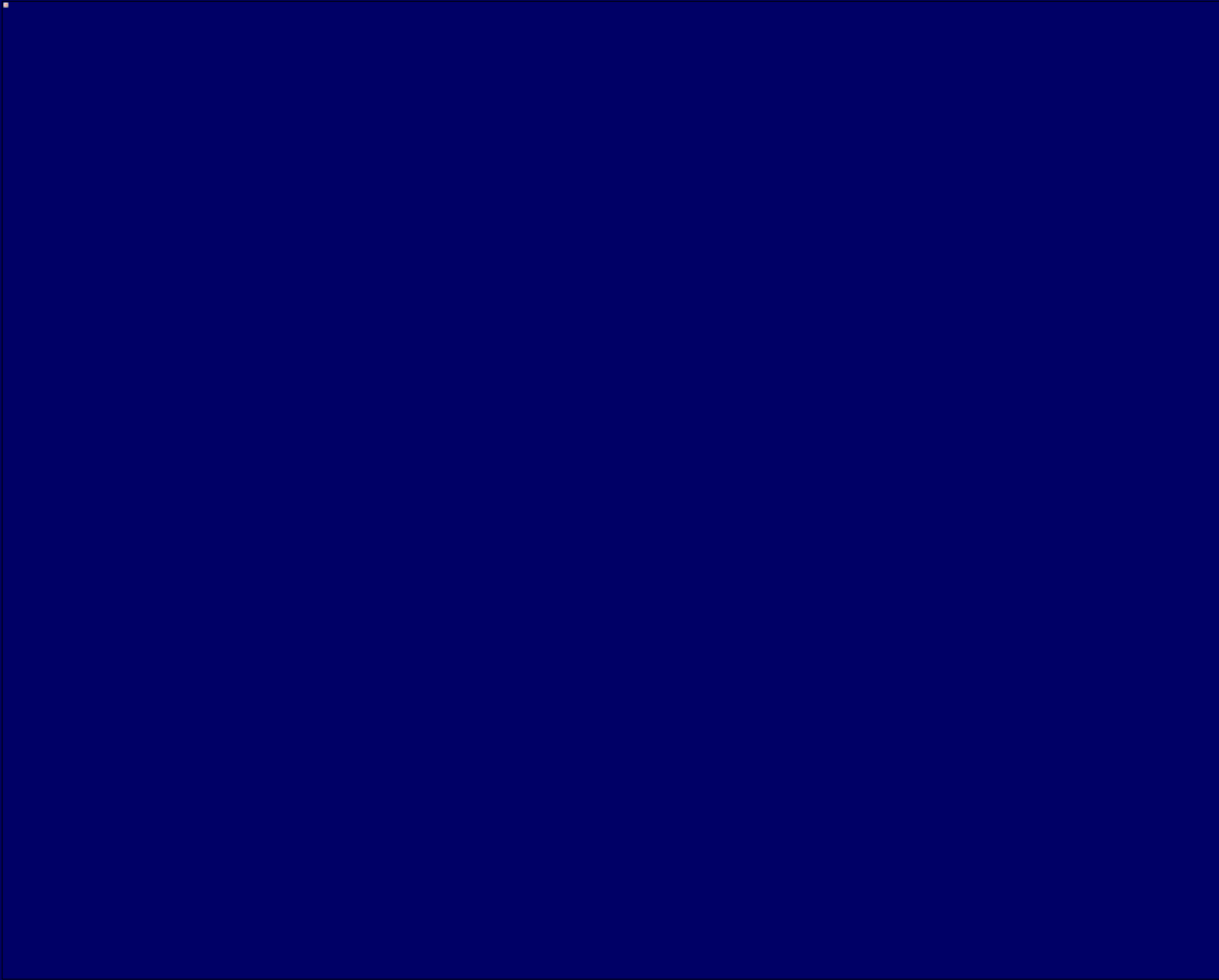
放射線防護- 實効線量



実効線量の代替物－リスクモデル



EDでのリスクの性別と年齢による平均化の影響



計算による解剖学的画像

画像のタイプとカテゴリ

- **画像フォーマットのタイプ**
 - ⇒ **様式化された(又は数学的) 画像**
 - ⇒ **体積要素の(又は断層撮影の)画像**
 - ⇒ **ハイブリットな(又はNURBS/PM)画像**

画像フォーマットの進歩

様式化画像

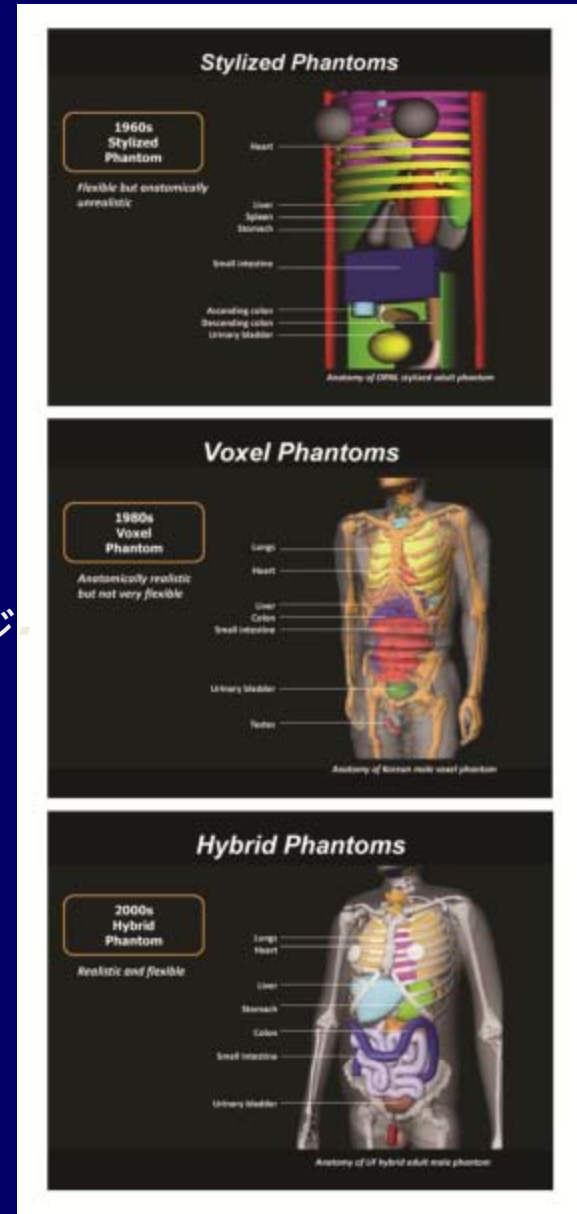
(器官 / 全身の輪郭は3D の数学的表面方程式で定義)

体積要素画像

(器官と身体組織は3D のタグを付けられたイメージボリューム要素の列のグループ分けにより定義)

ハイブリッド画像

(器官 / 全身の輪郭はNURBS 又は多角形メッシュ面で定義)



計算による解剖学的画像

画像のタイプとカテゴリ

- **画像フォーマットのタイプ**
 - ⇒ **様式化** (又は数学的) **画像**
 - ⇒ **体積要素** (又は断層撮影の) **画像**
 - ⇒ **ハイブリット** (又はNURBS/PM) **画像**
- **画像の形態測定カテゴリ**
 - ⇒ **基準** (50番目の百分位数の個人、年齢だけ合っている患者)
 - ⇒ **患者に依存** (患者を最も近い身長/体重にマッチさせる)
 - ⇒ **患者を彫刻** (患者を身長、体重及び体輪郭にマッチさせる)
 - ⇒ **患者に特有** (画像を患者の形態測定にユニークにマッチさせる)

新UF/NCI 画像ライブラリー- 小児

それぞれの身長/体重の組合せについての画像はさらにCD調査データからの体円周の平均値とマッチさせる。

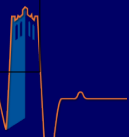
85 人の小児男性
73 人の小児女性

新UF/NCI 画像ライブラリー - 成人

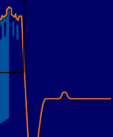
それぞれの身長/体重の組合せについての画像はさらにCD調査データからの体円周の平均値とマッチさせる。

100 人の成人男性
93 人の成人女性

BMI によるCT 器官線量の変動



BMI によるCT 器官線量の変動



CT器官線量の比較

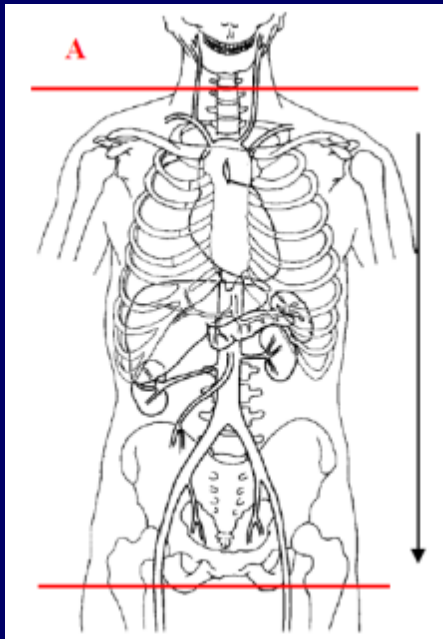
患者にマッチさせた画像の種類

- A – 患者特有の体積要素
- B – 患者依存のハイブリッド
- C – 基準ハイブリッド
- D – 基準様式化

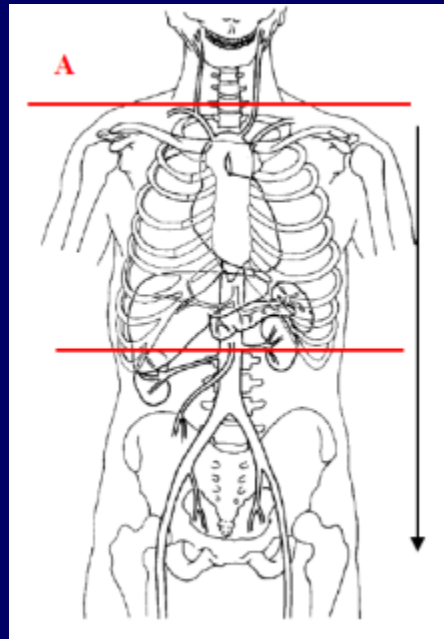
患者特有の画像:
14人の男性と13人の女性

CT器官線量の比較

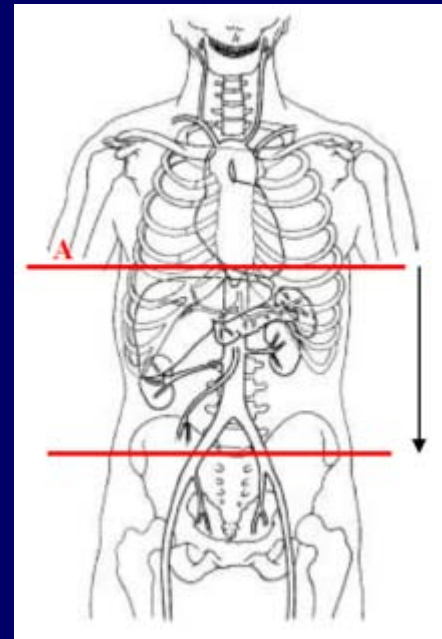
患者にマッチさせた画像の種類



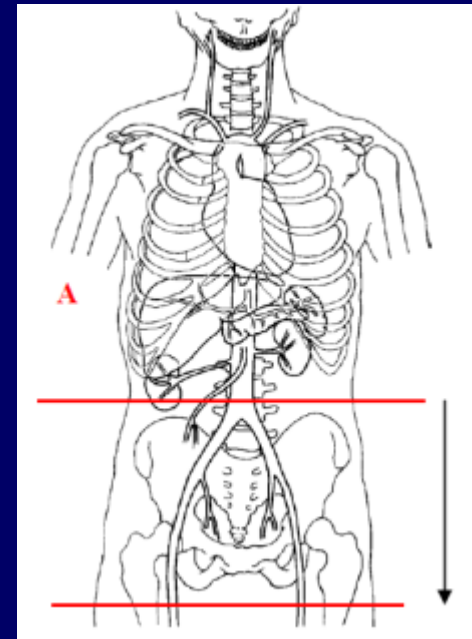
CAP スキャン



胸部スキャン



腹部スキャン

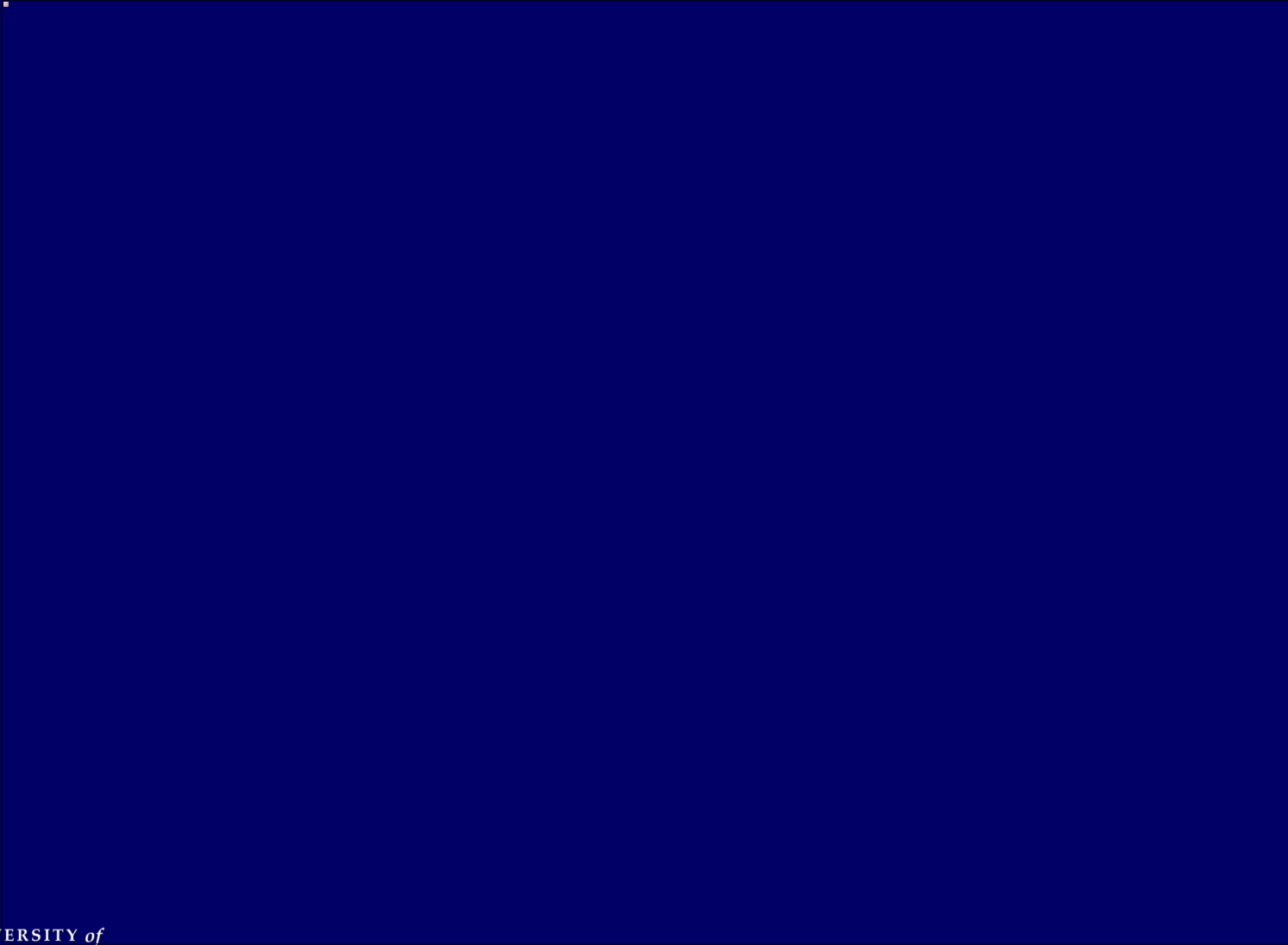


骨盤スキャン

CT検査のシミュレーションはすべて管電流変調の下で行われ、東芝AQ1 64-スライス・スキャナ用であった。

CT器官線量の比較

性別 – すべての検査タイプ及び身体サイズ

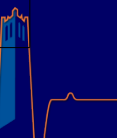


CT器官線量の比較

身体サイズごと- すべての検査及び両性

CT器官線量の比較

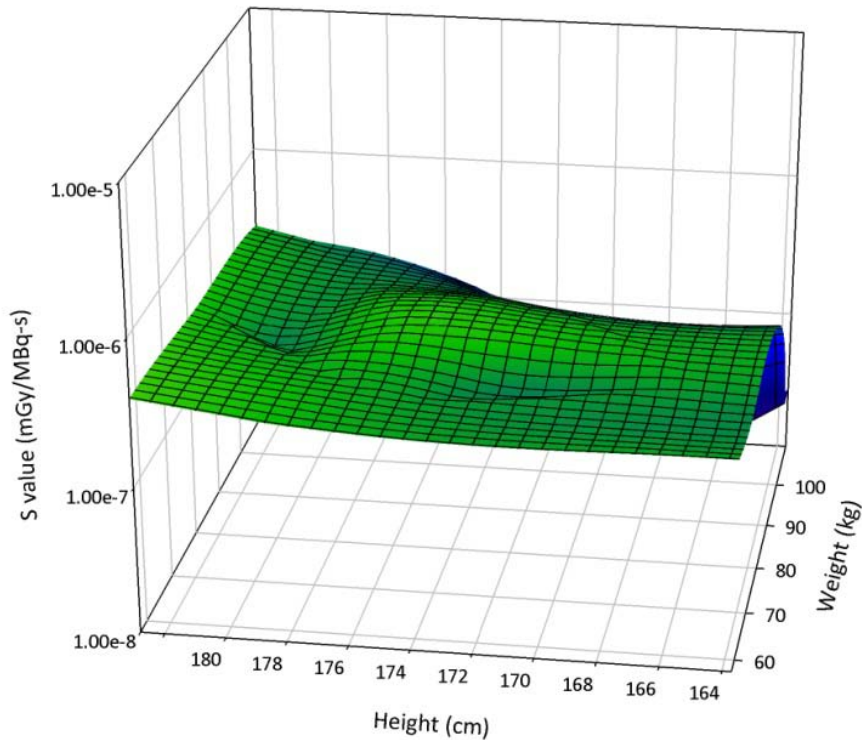
検査タイプごと- すべての身体サイズ及び両性



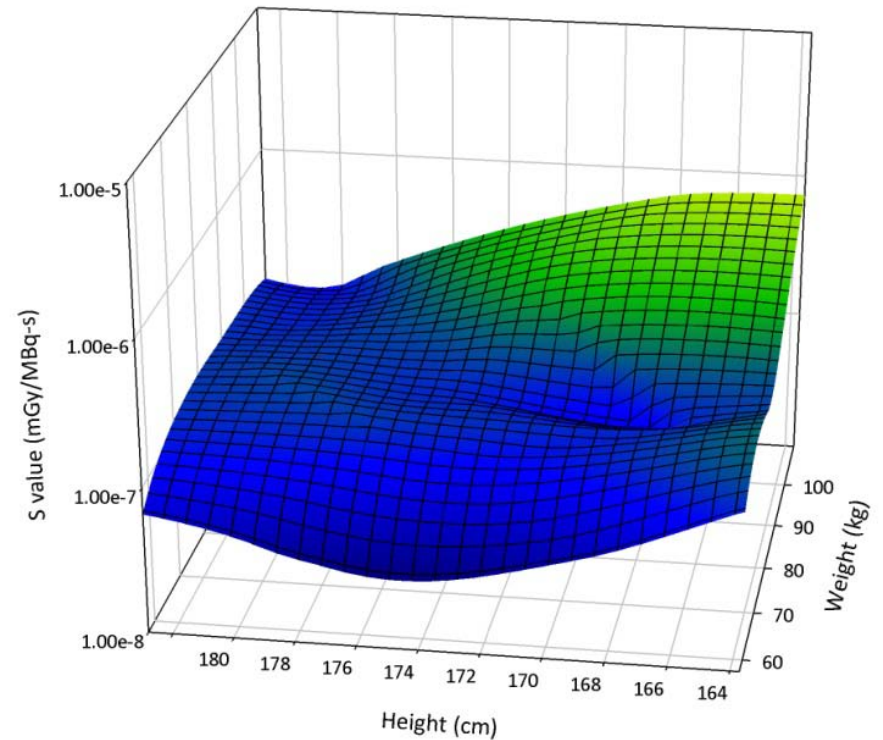
体内線量測定への適用

画像の身長/体重による ^{131}I S 値の変動

Patient-Specific Male (Lungs <-- Kidneys)

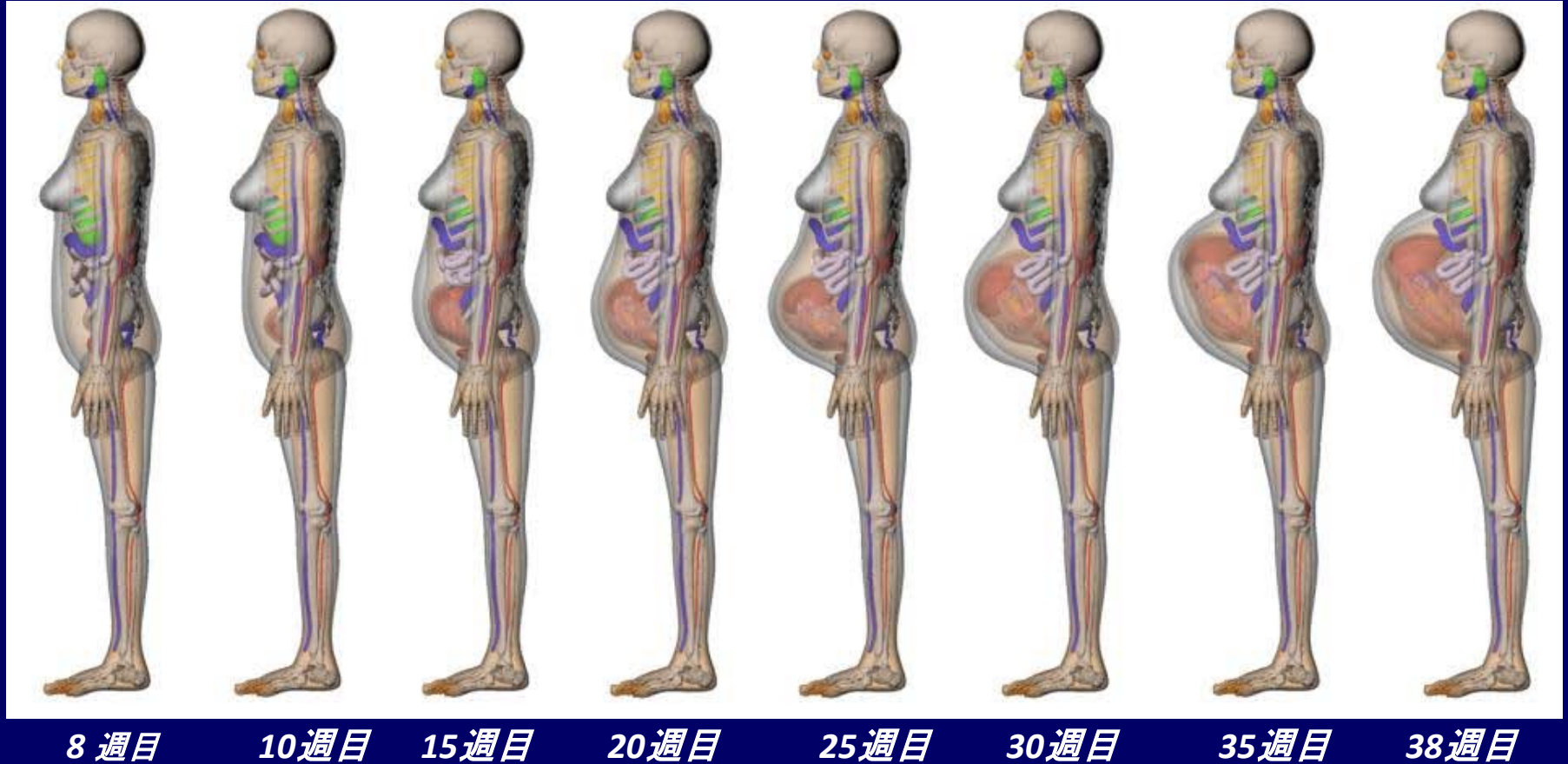


Patient-Specific Male (Urinary Bladder Wall <-- Kidneys)



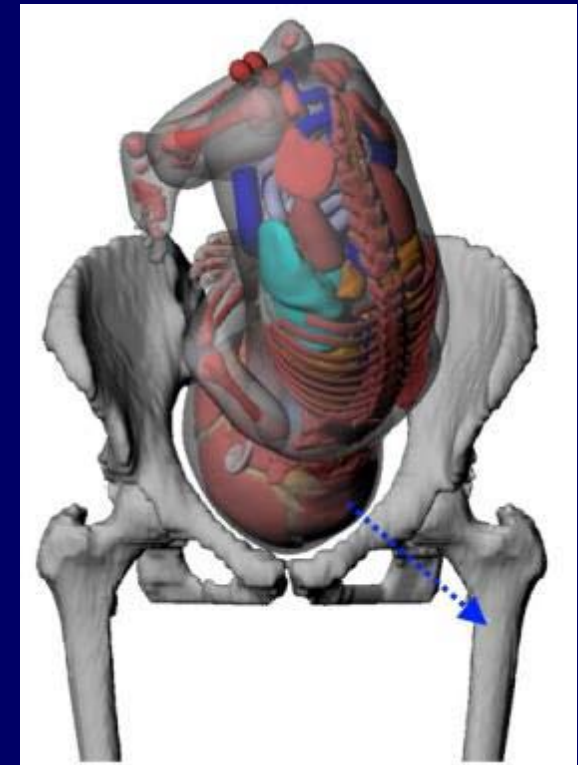
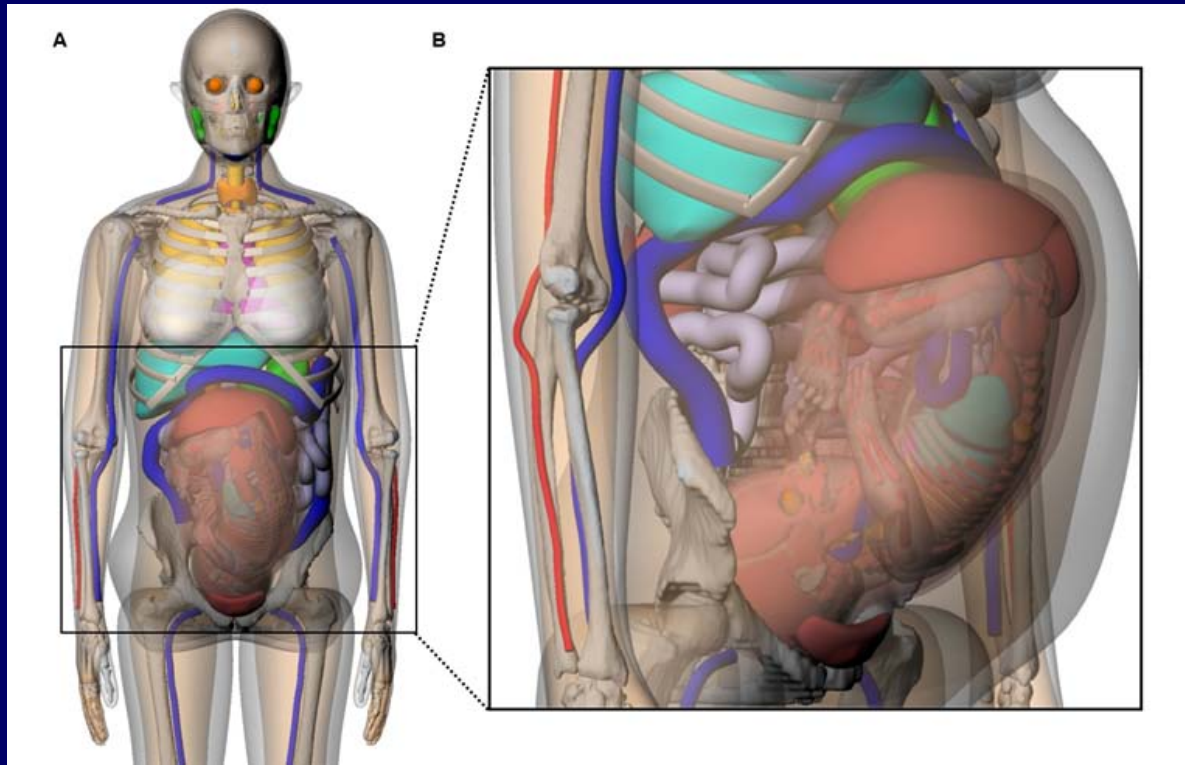
胎児と妊婦のモデル

Mayak / Techa川での子宮内線量測定を支援するために開発された



胎児と妊婦のモデル

Mayak / Techa 川での子宮内線量測定を支援するために開発された



結論

個人化されたリスク値に向かって

短期オプション

- 実効線量から離れる
 - ⇒ 器官線量/がんリスク・モデルを直接使用する
- 基準画像の使用から離れる
 - ⇒ 可能な限り拡張された画像ライブラリーを利用する

中期オプション

- 基準生物動力学モデルの使用から離れる
 - ⇒ さまざまな生理的状态を含むようにパラメータを拡張する

長期オプション

- 人口ベースのがんリスクを個人に合わせて調整する
 - ⇒ 個人化された医学/遺伝プロファイリングに類似させる

ご静聴有難うございました...

