

3次元PETノイズ低減シールドの開発

1. はじめに

PETの3次元(以下3Dという)収集は、装置の感度を大幅に向上できる。しかしスライスシールドを用いないため、偶発同時計数や散乱同時計数が高くなる。また2次元(以下2Dという)収集に比べ、低い放射能濃度で計数損失が大きくなる。臨床測定においては、体軸方向の視野外からの散乱線を含めたガンマ線の入射があるので、偶発同時計数及び散乱同時計数がさらに高くなり、計数損失がより大きくなることが考えられる。体軸方向の視野外からのガンマ線の一部でも遮蔽により減少できれば、3Dの臨床データの画質を改善できる可能性がある。

そこで秋田脳血管研究センターで稼働中の島津製PET装置SET-2300W(Headtome V)用に、体軸方向の視野外からのガンマ線を遮蔽する3D頭部専用前面シールドを開発した。本シールドを用いると、PET装置の患者開口直径が小さくなり、測定部位は頭部に限定されるが、体軸方向の視野外からのガンマ線の一部を遮蔽することができる。開発した前面シールドの効果を3D収集によるファントム実験で確認した。また3Dによる臨床測定でも効果を評価した。

2. 3D頭部専用前面シールドの概要

開発した頭部専用前面シールドを含めたSET-2300Wの3D収集時の断面図を図1に示す。SET-2300Wは検出器ユニットを3リング配置した構造で、体軸方向視野幅は150mmである。スライスシールドは3D収集時には電動で後部に待避する。ガントリの前面には患者トンネル径まで鉛のシールドがあり、通常の測定時の患者からのガンマ線を遮蔽する。しかし、開発した前面シールドが無い場合は胸腹部からのガンマ線が検出器に直接入射する。

前面シールドの材質は鉛で、患者トンネルの内側にガントリ鉛シールドを延長する形で取り付けることができる。補強のために鉄板を張り付け、さらに装置及び着脱を容易にするために全体をキャスター付の台に固定した。鉛板の厚みは重量の関係で7mmとした。厚いほどガンマ線の遮蔽能は高まるが、重くなり装着及び脱着が困難となる。患者開口直径は30cmで測定部位は頭部に限定される。

3. ファントム実験による前面シールドの効果の評価

(1) 体軸方向視野外からの影響

試作した前面シールドの効果を調べるため、ファントム実験を行った。実験の配置図を図2に示す。まず、体軸方向視野内に頭部を模擬した14cm直径、長さ15cmの円筒ファントムを配置し、そのファントムの端からd(cm)の距離に胸腹部を模擬した直径20cm、長さ25cmの円筒ファントムを配置した。核種は⁶⁸Gaを用いた。直径14cmファントムには500uCiを、直径20cmファントムには1.5mCiを封入した状態でdを10cmステップで動かしながら3D収集で真の同時計数率と偶発同時計数率を計測した。それぞれのファントムの放射能の比は、人体における血流測定時を想定して決定した4)。測定は前面スライスシールドがない状態と装着した状態

で行った。実験結果を図3に示す。前面シールドが無い場合、dが小さい位置では偶発同時計数率が極めて高くなる。これは視野外に存在する直径20cmのファントムからのガンマ線が偶発同時計数率を増加させているためと考えられる。また前面シールドが無い場合には、真の同時計数率が低下する。これは直径20cmファントムからのガンマ線が計数損失を大きくしているためと考えられる。前面シールドを装着した場合、dが小さい位置での偶発同時計数率の増加は極めて少なくなり、また計数損失による真の同時計数率の低下の割合も少なくなる。これは前面シールドが20cm直径のファントムからのガンマ線を遮蔽しているためと考えられる。

(2) 計数率特性

前面シールドがある場合と装着しない場合の計数率特性を評価した。測定は図2の配置においてdを10cmに固定した状態で行った。この状態において前面シールドがない場合と装着した場合それぞれについて計数率特性を測定した。核種は150-水を用いた。結果を図4に示す。前面シールドを装着すると偶発同時計数率が大幅に減少する。一方、真の同時計数率は高い放射能濃度において向上する。これらとともに体軸方向視野外からのガンマ線の一部が前面シールドにより遮蔽された結果であると考えられる。図5に得られたデータから計算した Noise Equivalent Count Rate (NECR) を示す。NECRは以下の式で評価した。

$$NECR = \frac{T^2}{T + 2fR} \quad (1)$$

ここで T：真の同時計数率（散乱同時計数を含む）

R：偶発同時計数率

f：ファントムが有効視野に占める割合

本来(1)式には散乱同時計数が及ぼす影響が含まれるべきだが今回は単純化するために省略した。図5から、前面シールドは特に高い濃度において画像のS/Nを大幅に向上させると結論される。

4. 臨床測定における前面シールドの効果の評価

試作した前面シールドの効果の有効性を明らかにするために臨床測定を行った。3D収集で150-水による血流測定を行った。前面シールドがある状態と装着しないで、健常者に150-水をそれぞれ10mCi静注し180秒間測定の画像の画質を比較した。得られた画像を図6に示す。上段が前面シールドがない状態で測定された画像で、下段が前面シールドを装着した状態で測定された画像である。両画像とも再構成フィルターはColsherのフィルター5を用い、Reprojection法6により画像再構成を行った。フィルターの遮断周波数は両測定とも同じにした。前面シールドを装着した状態では画像のノイズが減少し、特に頭頂部付近での不自然なカウントの解消されていることが分かる。

5. 考察とまとめ

開発した3D頭部専用前面シールドを用いると、体軸方向視野外から検出器に入射するガンマ線を大幅に減少させることができるため、偶発同時計数を大幅に減少させることが明らかになった。また計数損失も小さくでき高計数時の感度低下を少なくできることが明らかになった。これらの効果により3Dの臨床測定において大幅な画質の向上が達成できた。

3D収集は装置の感度を大幅に向上できる一方、低い放射能濃度での測定に限定される欠点があった。その理由はスライスシールドを用いないため、検出器の単一ガンマ線入射による計数率が高くなり、偶発同時計数が高くなる上に計数損失が大きくなり、NECRのピークが低くなるためであった。今回開発した前面シールドを用いることにより3D収集において使用できる放射能濃度を高くすることも可能となった。前面シールドは投与量を比較的多くして、150の3D収集で優れた画質の画像を得るためには特に有効であると結論される。

参考文献

- 1) Townsend DW, Geissbuhler A, Defrise M, et al.. Fully three-dimensional reconstruction for a PET camera with retractable septa. Trans. Med. Imaging, TMI-10, 1991
- 2) Cherry S, Dahlbom M and Hoffman EJ. Three-dimensional PET using a conventional multi-slice tomograph without septa. J.Comp. Assist. Tomogra. 15, 655-, 1991
- 3) Iida I, Miura S, Narita Y, et al.. Performance evaluation of our latest generation PET camera HEADTOME-V-DUAL. Proceeding of 42nd Annal Meeting of SNM, 70-, 1995
- 4) 蜂谷武憲、庄司安明、相沢康夫、他 日本放射線技術学会雑誌 第51巻 第5号 583-,1995
- 5) Colsher JG. Fully three-dimensional positron emission tomography, Phys. Med. Biol., 25, 103-, 1980

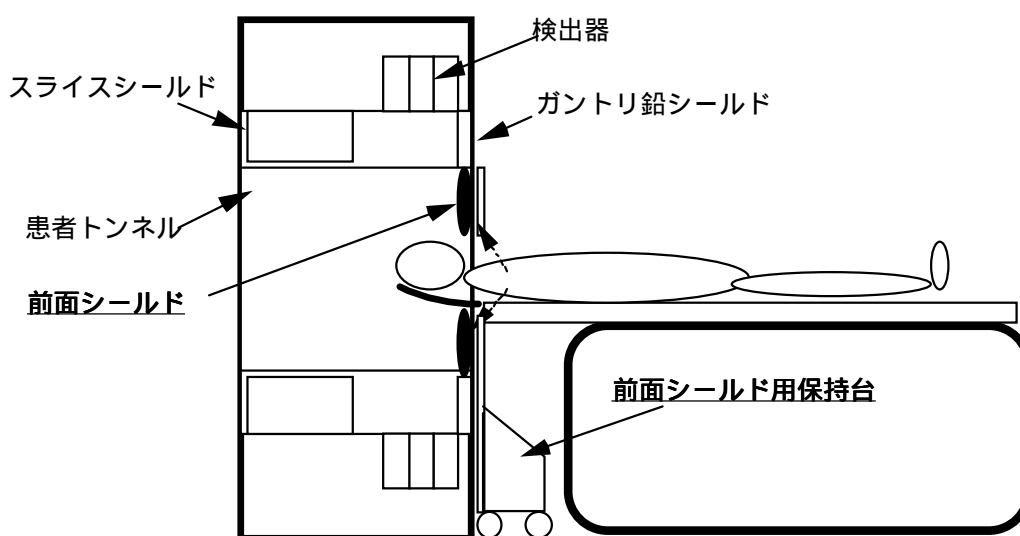


図1 SET-2300Wの3D収集時の概念的断面図

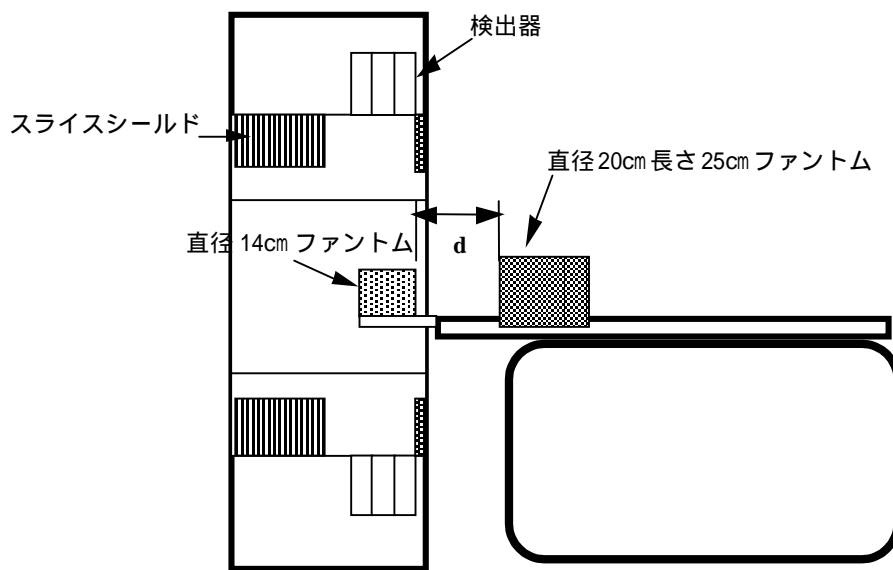


図2 ファントム実験の概念図

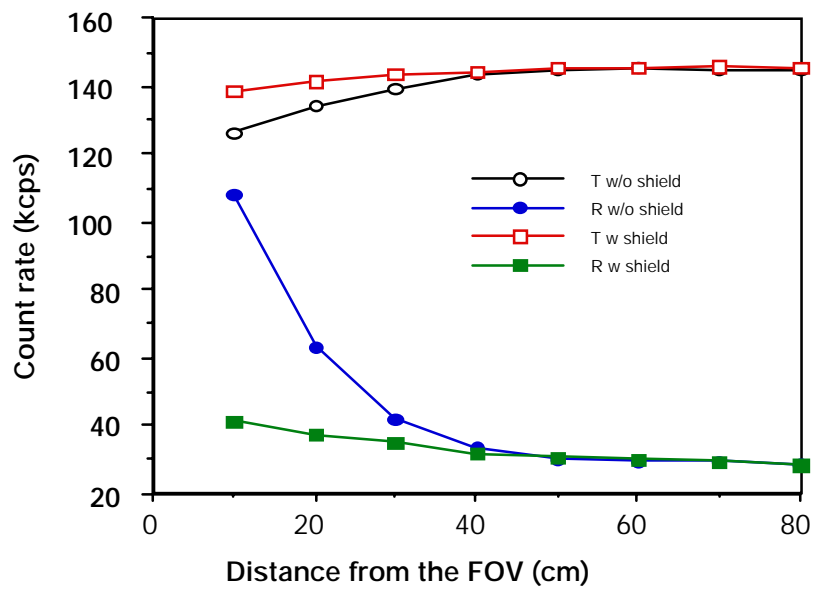


図3 14 cm直径ファントムを視野内に配置し、体軸方向視野外の20 cm直径ファントムの位置を動かした場合の真の同時計数率と偶発同時計数率

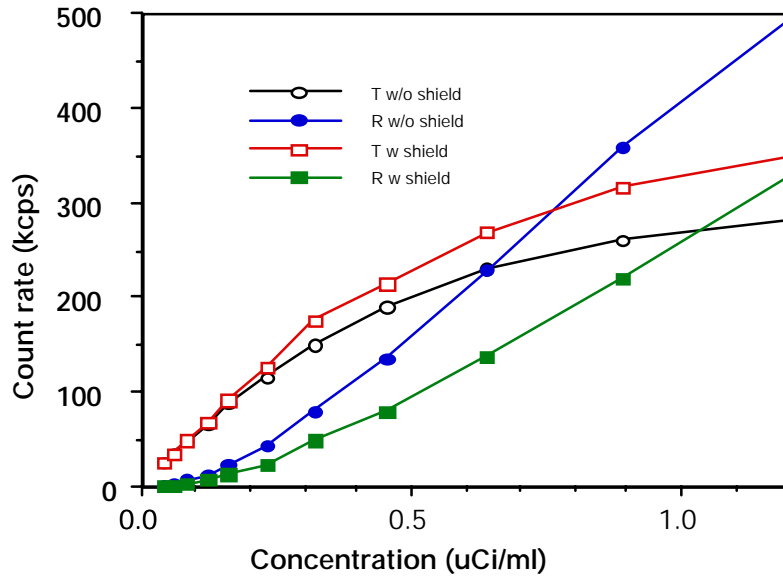


図4 14 cm直径ファントムを視野内に配置し、
体軸方向視野外の20 cm直径ファントムの位置を
視野から10 cmに配置した場合の計数率特性

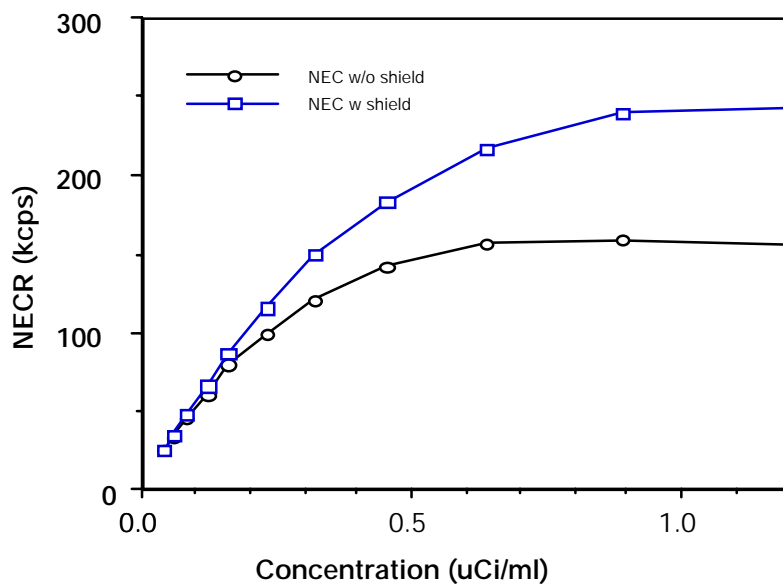


図5 14 cm直径ファントムを視野内に配置し、
体軸方向視野外の20 cm直径ファントムの位置を
視野から10 cmに配置した場合のNECRカーブ

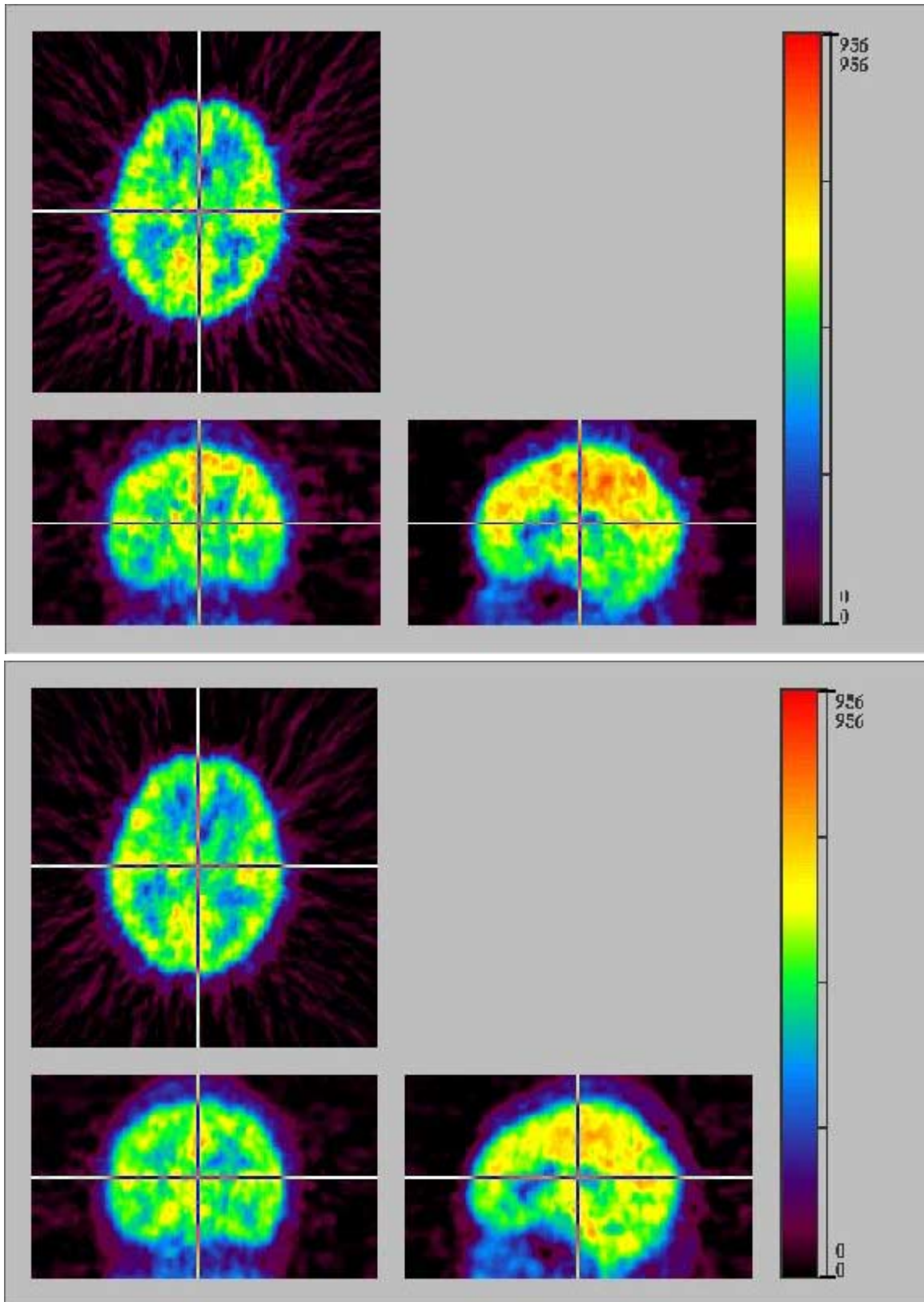


図6 3D収集で得られたO-15水静注法による臨床画像。
 上：前面シールドなし 下：前面シールドあり。