

《技術報告》

PET の 3 次元収集における被検体の形状と計数率特性の関係

山本 誠一* 三浦 修一** 飯田 秀博** 菅野 巖**

要旨 PET における 3 次元 (3D) 収集において 2 次元 (2D) 収集より画質の向上が期待できる放射能濃度の範囲を複数の直径と長さのファントムを用いた計数率特性の実験により求めた。画質の評価は Noise Equivalent Count Rate (NECR) を指標とした。その結果 20 cm 直径、15 cm 長さのファントムに対しては、 $1.2 \mu\text{Ci/ml}$ 以上で 3D より 2D のほうが NECR は高くなった。30 cm 直径、15 cm 長さのファントムに対しては、 $0.7 \mu\text{Ci/ml}$ 以上で 2D の方が高くなることがわかった。14 cm 直径、長さ 25 cm のファントムに対する 3D の NECR は、長さ 15 cm に比べピークが低くなった。これらの結果より、投与量が少ない場合は 3D 収集は有効であるが、一定濃度以上では 2D の方が画質が良くなることが明らかになった。直径の大きな部位や長い部位では、より低い濃度で 3D の有効性がなくなることがわかった。

(核医学 33: 435-441, 1996)

I. はじめに

PET における 3 次元 (以下 3D と略す) 収集と再構成は、装置の感度を大幅に向上できるため、注目されてきた^{1,2)}。最近では 3D 収集は万能で、常に 2D より優れた画像が得られるとの考えも一部で見られる。しかし、3D 収集時にはスライスシールドを用いないため、測定時に検出器の計数率が高くなり、偶発同時計数が増加し、計数損失が増大する。その結果、一定以上の放射能濃度では、画質が向上しないか、あるいは劣化する場合が生じる。このような場合、むしろスライスシールドを用いる従来の 2 次元 (以下 2D と略す) 収集のほうが画質が優れることも考えられる。3D モードと 2D モードを切り換えて測定可能な PET

装置³⁾の場合、どちらのモードが有用なデータが得られるかは、重要な問題である。モードの選択は、放射性核種の投与量、測定部位の形状などにより変化する。モードを決定して測定する場合でも最適な投与量を測定部位ごとに知っておく必要がある。本研究では、まずファントムの形状を変えて 3D および 2D の計数率特性を測定、評価することにより、これらの問題点が存在することを実証した。その結果より 3D 収集が 2D 収集より優れた画質を得られる濃度範囲を被検体径ごとに求めた。さらに 3D 収集時の画質を改善する可能性を探った。

II. 方 法

計数率特性は通常、直径 20 cm、長さ 17 cm の円筒ファントムを用いて測定される。このファントムで得られたデータは、装置間の比較や装置の限界を知る上で有用である。しかし実際の臨床測定では、種々の形状の部位を測定する。例えば、頭部の測定では、通常直径は 20 cm より小さく、長さは短い。しかし体軸方向の視野外の 1 方向には腹部の放射能が存在する。また腹部の測定で

* 島津製作所医用技術部
(現所属：神戸高専電気工学科)

** 秋田県立脳血管研究センター

受付：7 年 9 月 26 日

最終稿受付：8 年 1 月 25 日

別刷請求先：神戸市西区学園東町 8-3 (☎ 651-21)
神戸高専電気工学科

山 本 誠 一

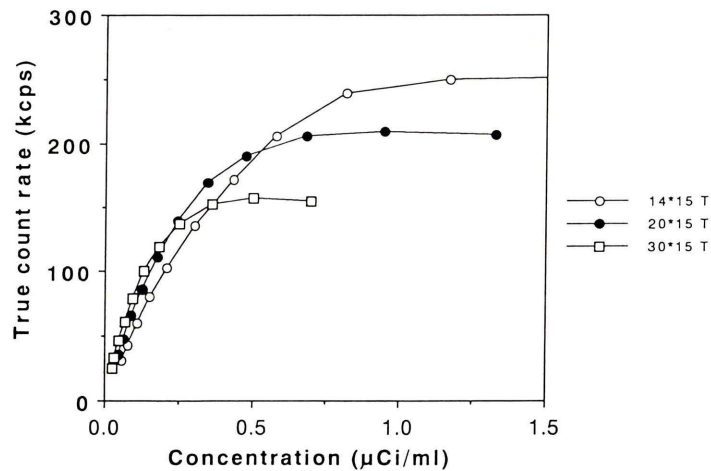


Fig. 1 3D true count rate curves for 3 phantoms of different diameters (14 cm, 20 cm, 30 cm).

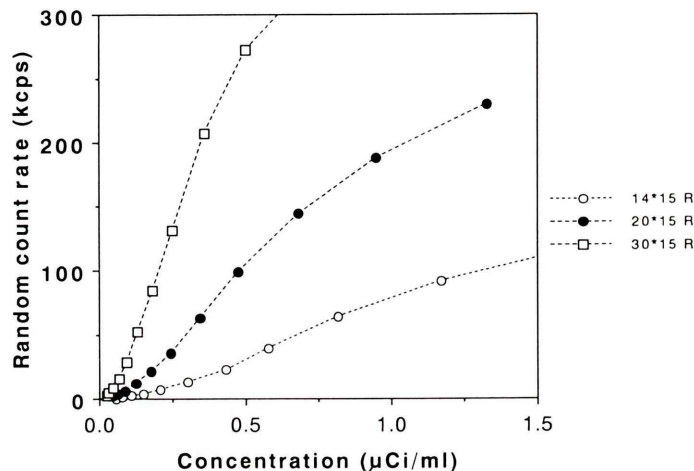


Fig. 2 3D random count rate curves for 3 phantoms of different diameters (14 cm, 20 cm, 30 cm).

は、直径は 20 cm より大きく長さは両方向に長い。実際、大きな臓器では体内でのガンマ線の吸収を大きく受けるので、シングル計数あたりの真の同時計数の割合が低くなる。このため偶発同時計数の割合が高くなり、画質の劣化が激しいことが予想される。また体軸方向に長い被検体の場合、視野外からのガンマ線が偶発同時計数を増加させ、また計数損失を大きくする可能性がある。そこでまずファントムの直径を変えて 3D および 2D の計数率特性を測定した。次にファントムの長さを変えて測定した。得られたデータから実効

的な計数率特性を計算により評価した。

1) 測定

まずファントムの直径を変えて、3D 収集時の計数率特性を測定した。PET 装置は島津製作所製、SET-2300W (Headtome-V) を用いた。この PET 装置は体軸方向の視野が 15 cm で検出器リング数が 24 リングの装置である。3D 収集時にはスライスシールドを後部に退避させ、対向するすべての同時計数を計測する。計数率特性は 3D 収集で行い、全スライスの総計数を求めた。偶発同時計数の測定は、装置に組み込まれている遅延同時

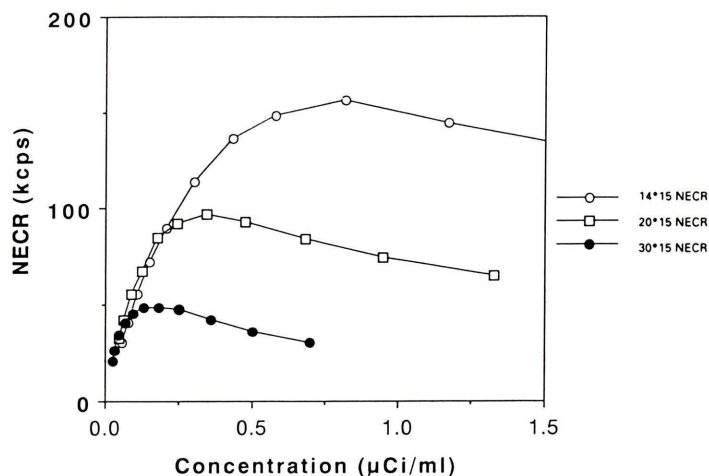


Fig. 3 3D NECR curves for 3 phantoms of different diameters (14 cm, 20 cm, 30 cm).

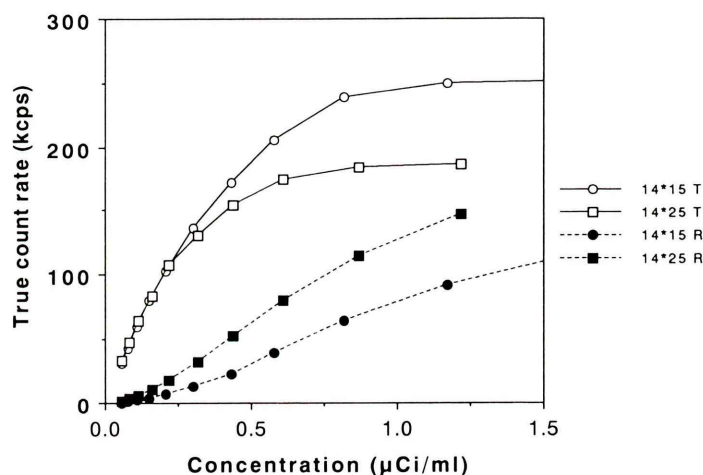


Fig. 4 3D true and random count rate curves for 2 phantoms of different lengths (15 cm, 25 cm).

計数回路で行った。ファントム直径は 14 cm, 20 cm, 30 cm として測定した。ファントムの長さはすべて 15 cm とした。測定はファントム ^{15}O の水を封入し、減衰を追いかけることにより行った。次にファントムの長さを変えて、3D 収集時の計数率特性を測定した。長さは 15 cm と 25 cm に対して行った。ファントム直径は 14 cm にそろえた。また 2D との比較のために、スライスシールドを入れた状態の 2D モードで計数率特性を測定した。

2) 評 価

画質を評価するために、得られた計数率特性から Noise Equivalent Count Rate (NECR) を算出した。NECR は真の同時計数のみならず偶発同時計数等の雑音成分も考慮に入れた計数率特性で、現実の PET 画像の S/N を表す指標として広く用いられてきている^{1,4,5)}。NECR は以下の式で表される。

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

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である。分母の fR が 2 倍されているのは遅延同時計数を測定して偶発同時計数の補正を行うためである。

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であるが今回は単純化のために省略した。

III. 結 果

Fig. 1 に直径 14 cm, 20 cm, 30 cm の円筒ファントムに対する真の同時計数率の特性を示す。計数率特性はファントム直径が大きくなるにしたがい低下する。また Fig. 2 に偶発同時計数率の特性を示す。偶発同時計数は逆に、ファントム直径が大きくなるにしたがい急激に増加する。

Fig. 3 に計数率特性の測定で得られたデータをもとに計算された NECR を示す。30 cm 直径の

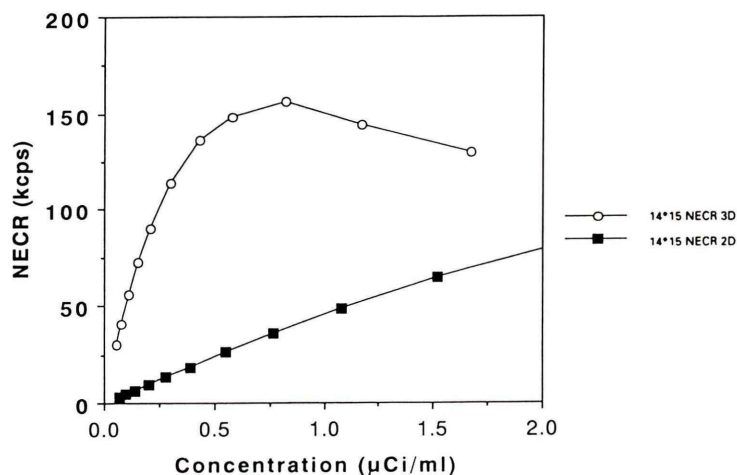


Fig. 5 3D and 2D NECR curves for 14 cm diameter 15 cm length.

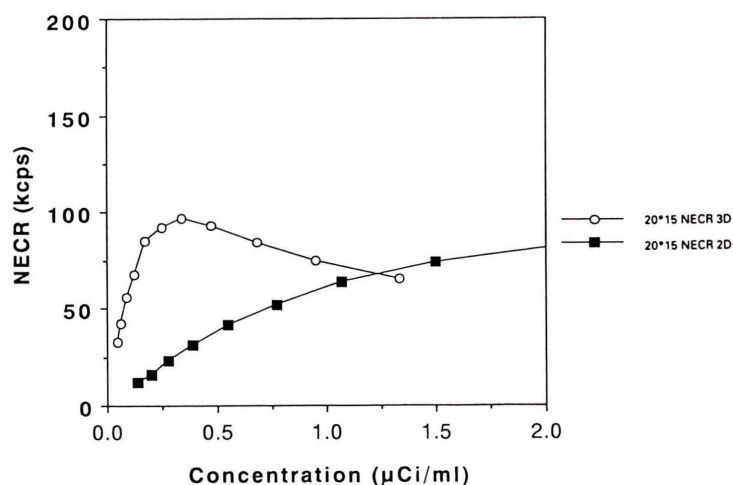


Fig. 6 3D and 2D NECR curves for 20 cm diameter 15 cm length.

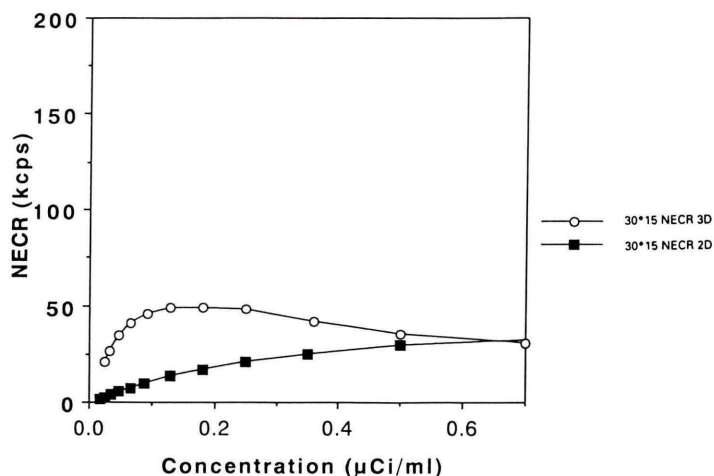


Fig. 7 3D and 2D NECR curves for 30 cm diameter 15 cm length.

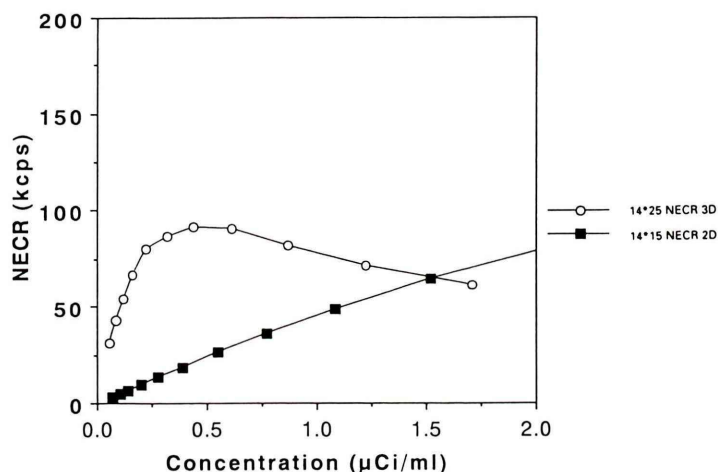


Fig. 8 3D and 2D NECR curves for 14 cm diameter 25 cm length.

ファントムでは偶発同時計数率が高いためと、直径が大きく (1) 式の f が大きいいため NECR は非常に低い濃度でピークを付ける。ピーク時の濃度は約 $0.2 \mu\text{Ci/ml}$ であった。一方、14 cm 直径のファントムでは、NECR は比較的高い濃度までピークが伸びる。ピーク時の濃度は約 $1 \mu\text{Ci/ml}$ であった。20 cm 直径のファントムの場合、 $0.4 \mu\text{Ci/ml}$ 程度でピークを打つ。その後、なだらかに NECR は低下していく。

Fig. 4 に直径 14 cm で長さ 15 cm および長さ 25 cm のファントムに対する計数率特性を示す。15

cm 長さのファントムのほうが 25 cm 長さのものに比べ計数率特性は高くなる。一方、偶発同時計数率は 25 cm 長さのファントムのほうが高くなっている。

Fig. 5 に 14 cm 直径、15 cm 長さのファントムに対する 2D と 3D の NECR を示す。測定範囲 ($2 \mu\text{Ci/ml}$) 内では常に 3D 収集が 2D より NECR が高い。つまり 3D 収集のほうが S/N の良い画像が得られる。Fig. 6 に 20 cm 直径、15 cm 長さのファントムに対する 2D と 3D の NECR を示す。1.2 $\mu\text{Ci/ml}$ 以内では 3D のほうが 2D より NECR は高

いが、それ以上では2Dの方が高くなる。つまり1.2 $\mu\text{Ci/ml}$ 以上では2D収集のほうがS/Nの良い画像が得られ、3D収集を行う意味がなくなる。Fig. 7に30 cm直径、15 cm長さのファントムに対する2Dと3DのNECRを示す。0.7 $\mu\text{Ci/ml}$ 以内では3Dのほうが2DよりNECRは高いが、それ以上では2Dのほうが高くなる。きわめて低い濃度に対してのみ3D収集が有利になることがわかる。

Fig. 8に14 cm直径で長さ25 cmのファントムに対する3DのNECRを示す。25 cm長さのNECRはピーク値で15 cm長さに比べ60%程度に低下し、ピークの濃度も約1/2に低下する。25 cm長さのファントムに対しては、1.6 $\mu\text{Ci/ml}$ 以上では2DのほうがNECRが高くなる。

IV. 考 察

直径を変化させた場合のNECRの結果(Fig. 3)より、被検体の直径が大きくなるほど、低い放射能濃度でピークを打つようになる。3D収集で画質が向上する放射能濃度の範囲が、低い範囲に限定されてくることがわかる。30 cm直径のファントムでは0.2 $\mu\text{Ci/ml}$ 以上の濃度では画質の向上がない。一方、小さいファントムではNECRのピークが高く、その時の放射能濃度も高い。このことより、大きな被検体に対してより小さい被検体に対してのほうが、3D収集においては、高い放射能濃度まで使うことができると結論できる。このことは頭部のように比較的小さな部位の測定には3D収集は適すが、腹部のように大きく広がった部位には適さないことを示唆する。

また、Fig. 6とFig. 7より、一定濃度以上では2D収集のほうが3D収集に比べ、S/Nの良いデータが得られることが明らかになった。その濃度は被検体径が大きい方が、低くなることもわかった。今回の実験では単純化のために、散乱同時計数がNECRに与える影響を無視した。しかし散乱同時計数を考慮に入れると、3DのNECRのピークはより低くなり、より低い濃度で3Dより2DのデータのS/Nが高くなると考えられる。散乱同

時計数の割合は3Dのほうが2Dよりはるかに高いからである。2Dの散乱フラクションは10%前後であるのに対して3Dのそれは40%程度になる。したがって散乱同時計数を考慮に入れると、3DのNECRはこの分だけ小さくなる。この効果は偶発同時計数率の小さい範囲で利いてくると考えられる。

長さの異なるファントムに対するNECRの結果(Fig. 8)より、3D収集では体軸方向の視野外の放射能の影響を強く受けることがわかった。このことは3D収集は腹部のように体軸方向に長い被検体の測定には適さないことを示唆する。頭部測定の場合でも体軸方向の視野外の放射能、すなわち胸腹部からのガンマ線が画質を劣化させていると考えられる。視野外からの影響が大きい場合、3DのS/Nが2Dよりも優れている放射能濃度の範囲は低い濃度に限定されることが明らかになった。

これらの結果より、頭部測定時に胸腹部からのガンマ線に起因する偶発同時計数および散乱同時計数を減少することができればNECRのピークを高い放射能濃度まで伸ばすことが可能と考えられる。たとえば、3Dの頭部測定時に、PET装置の前面に胸腹部からのガンマ線を遮蔽するシールドを設ければ効果があると考えられる。このシールドにより、3D収集時の画質の向上が期待でき、特に ^{15}O 水を用いた3Dの賦活測定に有効と考えられる。

V. ま と め

3D収集では偶発同時計数が大きいためと、計数損失が大きいため、大きな被検体では非常に低い濃度でNECRのピークをつけることが明らかになった。20 cm直径、15 cm長さのファントムに対しては、1.2 $\mu\text{Ci/ml}$ 以内では3Dのほうが2DよりNECRは高いが、それ以上では2Dのほうが高くなった。30 cm直径、15 cm長さのファントムに対しては、0.7 $\mu\text{Ci/ml}$ 以内では3Dのほうが2DよりNECRは高いが、それ以上では2Dのほうが高くなることがわかった。

また 3D 収集では体軸方向の視野外の放射能からのガンマ線の影響を大きく受けるため、長い被検体に対しては、NECR のピークが低くなる。14 cm 直径で長さ 25 cm のファントムに対する 3D の NECR は、長さ 15 cm に比べピークが低く、 $1.6 \mu\text{Ci/ml}$ 以上では 2D のほうが NECR が高くなることがわかった。

これらの結果より、3D 収集は特に低い濃度の測定以外では、腹部のような大きく長い部位の測定には有効ではない可能性があることがわかった。また頭部の測定でも、体軸方向の視野外からのガンマ線が画質を劣化させている可能性があることが明らかになった。

文 献

1) Townsend DW, Geissbuhler A, Defrise M: Fully

three-dimensional reconstruction for a PET camera with retractable septa. *Trans Med Imaging; TMI-10*, 1991

- 2) Cherry S, Dahlbom M, Hoffman EJ: Three-dimensional PET using a conventional multi-slice tomograph without septa. *J Comp Assist Tomogra* **15**: 655-668, 1991
- 3) Iida I, Miura S, Narita Y: Performance evaluation of our latest generation PET camera HEADTOME-V-DUAL. *Proceeding of 42nd Annal Meeting of SNM*; 70, 1995
- 4) Dahlbom M, Cherry S, Eriksson L, Hoffman EJ, Wienhard K: Optimization of PET instrumentation for Brain Activation Studies. *IEEE Trans Nucl Sci* **40** (4): 1048-1053, 1993
- 5) DeGrado TR, Turkington TG, Williams JJ, Stearns CW, Hoffman JM, Coleman RE: Performance Characteristics of a Whole-Body PET Scanner. *J Nucl Med* **35** (8): 1398-1403, 1994

Summary

Observation of Relation between Object Size or Length and Count Rate for 3D PET

Seiichi YAMAMOTO*, Shuichi MIURA**, Hidehiro IIDA** and Iwao KANNO**

*Shimadzu Corporation (Kobe City College of Technology)

**Department of Radiology, Akita Research Institute for Brain and Blood Vessels

We obtained the concentration range of better S/N in 3D than 2D acquisition by measuring count rate for phantoms of different size and length. We used noise equivalent count rate (NECR) for evaluation of S/N of images. For 20 cm diameter 15 cm length cylindrical phantom, NECR of 2D was higher than that of 3D more than $1.2 \mu\text{Ci/ml}$. For 30 cm diameter 15 cm length cylindrical phantom, NECR of 2D was higher than that of 3D more than $0.7 \mu\text{Ci/ml}$. For 14 cm diam-

eter 25 cm length cylindrical phantom, NECR of 3D was lower than that of 25 cm length phantom. With these results, though 3D is useful when administered dose is small, image quality of 2D becomes better than 3D more than a certain concentration. For the larger diameter or longer object, the advantage of 3D is diminished at lower concentration.

Key words: PET, 3D acquisition, Count rate, NECR.