

がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン ファントム試験マニュアル

NEMA IEC ボディファントムの準備～撮像手順～解析まで

Ver. 1.00



がん FDG-PET 撮像法の標準化ワーキンググループ (WG)

【目次】

がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドラインファントム試験マニュアル	1
1. 概 説	4
1.1. ファントム実験に必要な器具類 (NEMA IEC ボディファントムおよび備品一式)	5
1.2. NEMA IEC ボディファントムの構成 (参考資料)	5
1.3. ファントム試験に必要な ^{18}F -FDG の放射エネルギー	6
1.4. 事前準備 (時刻調整)	7
1.5. タイムスケジュール	7
2. ファントム第一試験	8
2.1. NEMA IEC ボディファントムの作成手順	8
ホットスポット (10mm 径) の作成	9
バックグラウンド領域の放射能濃度 (溶液) の作成	10
2.2. データ収集	11
ファントムの配置	11
スキャンの実施 (撮像プロトコール)	11
画像再構成	12
2.3. 試験結果の評価方法	12
描出能の視覚評価	12
物理学的指標の算出	13
2.4. 試験結果の判定	15
3. ファントム第二試験	15
(第一試験を行ったあと、引き続いて第二試験を行う場合)	15
3.1. NEMA IEC ボディファントムの作成手順	15
ホットスポット (13~37mm 径球) の作成	15
3.2. データ収集	16
ファントムの配置	16
スキャンの実施 (撮像プロトコール)	16
画像再構成	17
(第二試験のみを行う場合)	17
3.3. NEMA IEC ボディファントムの作成手順	17
ホットスポット (10 ~ 37 mm 径球) の作成	18
バックグラウンド領域の放射能濃度の作成	18
3.4. データ収集	19
ファントムの配置	19
スキャンの実施 (撮像プロトコール)	19
画像再構成	20

3.5.	試験結果の評価方法.....	20
	臨床撮像条件に近い計数統計量における画質評価.....	20
	十分な計数統計量における分解能の評価.....	21
3.6.	試験結果の判定.....	21

1 概 説

性能の異なる様々な機種装置を使用している施設では、同一条件で作成したファントムを用いて各施設の条件で収集と画像再構成を行い、画像の相違を検討することが望ましい。これにより、一定以上の画質を担保する条件を検討する事ができ、機種に大きく依存しないPET画像を提供できると考える。

ファントム試験は、当該施設における装置の機種ごとに適切な撮像と再構成条件を決定するために行う第一試験と、与えられた撮像条件と再構成条件が許容される画質と分解能を有するかを判定するために行う第二試験とで構成されている。

PET 装置の新規導入時や装置の大幅なバージョンアップの際には、第一試験を行って条件を決定してから引き続き第二試験を行い、撮像と再構成条件を確認することを推奨する。また当該施設で既に実施している撮像と再構成条件がある場合には、第二試験だけを行って撮像と再構成条件を確認すればよいが、もし撮像と条件を見直す必要がある場合には第一試験（引き続き第二試験）を行うことを推奨する。（図 1 参照）

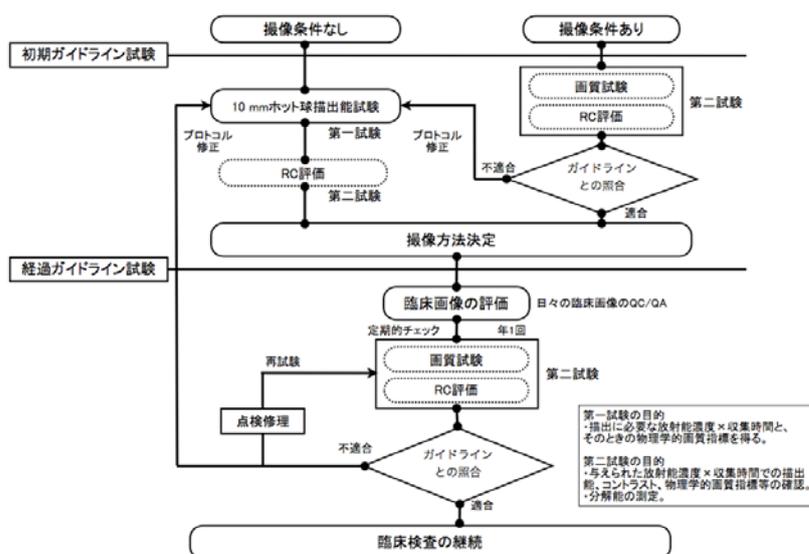


図 1 ガイドライン試験におけるワークフロー図

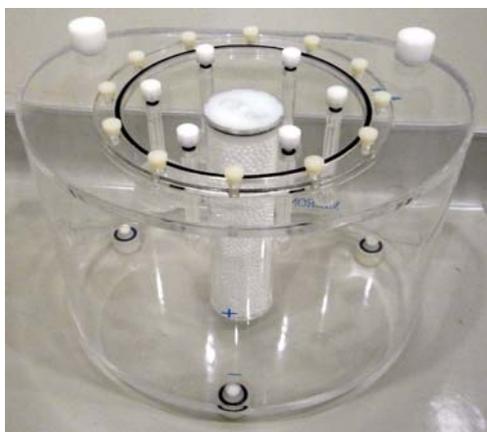
1.1. ファントム実験に必要な器具類

(NEMA IEC ボディファントムおよび備品一式)



- NEMA IEC ボディファントム、水準器 (PET/CT 撮像時に使用)
- ファントムに水を充填するための計量機器類
 ……ビーカー*, メスシリンダー, 漏斗, 攪拌棒
 (*: ビーカーの目盛は曖昧なので計量には用いない事)
- ファントムを満たすのに十分な量の蒸留水: 約 11000ml (11 リットル)
 (どうしても準備ができない場合、水道水でも可)
- 注射器 (1cc: 1本, 2.5cc: 1本, 5cc: 1本, 10cc: 1本, 20~30cc: 2本, 50cc: 2本)
- 注射針 (球状インサート封入用(長さ 130mm 程度): 1本, 20G カテラン針(長さ 70mm): 2本, 18G 注射針(長さ 38mm): 2本)
- 計測機器 (時計, ストップウォッチ)
- 鉛ブロック (ファントムに ^{18}F -FDG 溶液を封入する際の遮蔽用)
- 防護衣 (汚染防止用)、手袋 (汚染防止用)
- 吸水性のあるパッド (アルファマット等) あるいはペーパータオル
- 線源: ^{18}F -FDG

1.2. NEMA IEC ボディファントムの構成 (参考資料)



NEMA IEC ボディファントム

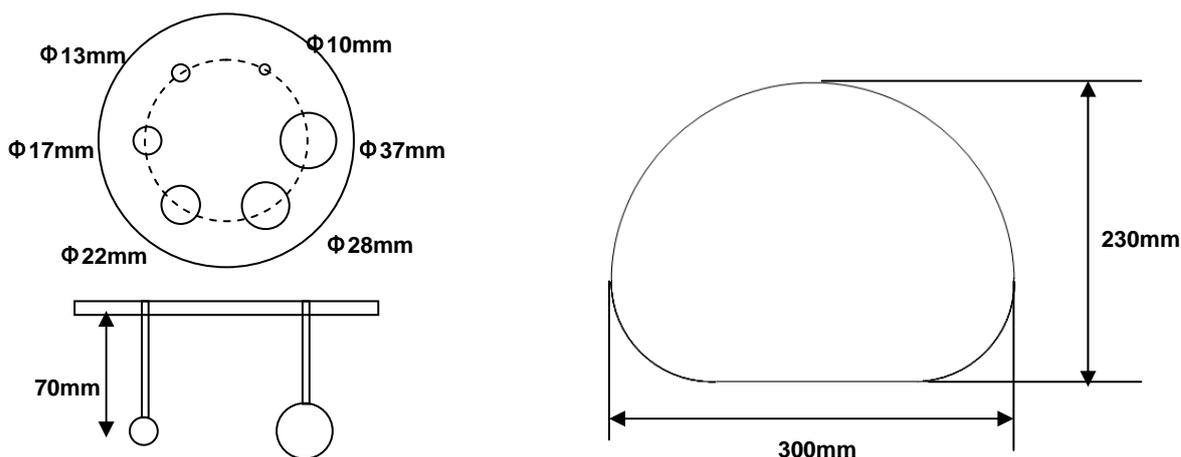


Compartment	Volume (ml)
10mm Sphere	0.5
13mm Sphere	1.2
17mm Sphere	2.6
22mm Sphere	5.6
28mm Sphere	11.5
37mm Sphere	26.5

各サイズにおける球容積

(ファントム設計図より算出されたデータを抜粋)

Lung insert (中央)、上蓋 (左) と外容器 (右)



NEMA IEC BODY PHANTOM の概要図

1.3. ファントム試験に必要な ^{18}F -FDG の放射能量

ボディファントムの容積はファントムの個体差により異なることがあるため、メスシリンダー等を使用し、バックグラウンド領域の全容積 (V_{BG} ml) を測定する。下式より、ファントム試験 (作成時間) に必要な ^{18}F -FDG の放射能 (A_0 MBq) を計算し、試験当日に用意するよう手配する。

$$A_0 = 5.30 \times 10^{-3} \times \frac{V_{BG}}{\exp\left(\frac{-T_m}{109.8} \times \ln 2\right)} \quad [\text{MBq}]$$

※ $\ln 2$ は e を底とする 2 の対数。 T_m はファントムを作成するために要する時間 [min]。

(例) ボディファントムのバックグラウンド全容積 (V_{BG}) が 10015ml、ファントムを作成するために要する予定時間 (T_m) が 90 分間の場合、放射能計測時刻 T_0 における本試験に必要な放射能 (A_0 MBq) は以下の式になる。また、あらかじめ T_m に対する A_0 の表作成をしておくと便利である。

$$A_0 = 5.30 \times 10^{-3} \times \frac{10015}{\exp\left(\frac{-90}{109.8} \times \ln 2\right)} = 93.7 [\text{MBq}]$$

(例) ファントム作成するための要する時間 T_m に対する放射エネルギー A_0
 (ファントムバックグラウンド容積 : 10015ml の場合)

Activity : 5.30kBq/ml		Activity : 2.65kBq/ml	
ファントム作成時間 (T_m (min))	放射エネルギー (A_0 (MBq))	ファントム作成時間 (T_m (min))	放射エネルギー (A_0 (MBq))
90	93.7	90	46.8
89	93.1	89	46.5
88	92.5	88	46.2
87	91.9	87	46.0
86	91.3	86	45.7
85	90.8	85	45.4
84	90.2	84	45.1
83	89.6	83	44.8
82	89.1	82	44.5
81	88.5	81	44.3
80	87.9	80	44.0

1.4. 事前準備 (時刻調整)

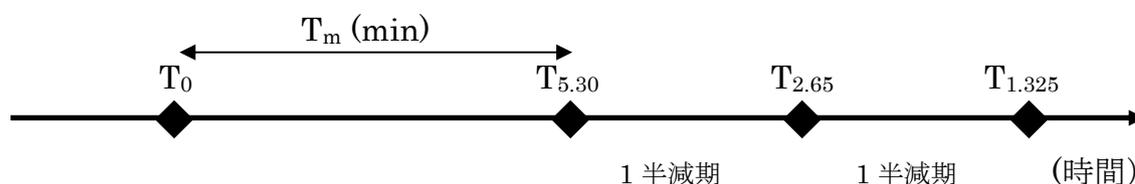
ファントム試験を行う前に、PET/CT 装置の内蔵時計とドーズキャリブレーションの内蔵時計の時刻合わせをしておく事。

1.5. タイムスケジュール

ファントム試験に要する時間 : ボディファントム作成から PET/CT 装置による撮像まで

• (第一試験+第二試験)

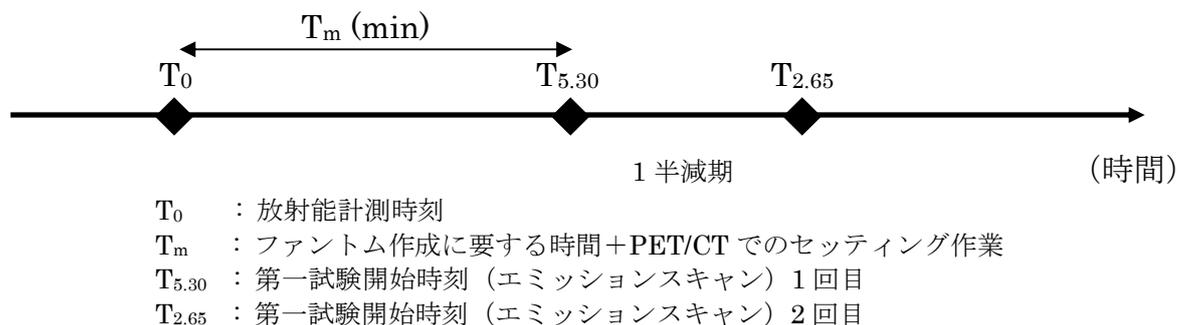
ファントム作成 (T_m : 90 分) + PET/CT 撮像 (12 分×2 回) + 待機時間 (^{18}F の物理学的半減期 - 12 分の 97.8 分) + 待機時間 (^{18}F の物理学的半減期 - 12 分の 97.8 分) + PET/CT 撮像 (4~10 分+30 分) の合計約 5 時間 40 分



- T_0 : 放射能計測時刻
- T_m : ファントム作成に要する時間+PET/CT でのセッティング作業
- $T_{5.30}$: 第一試験開始時刻 (エミッションスキャン) 1 回目
- $T_{2.65}$: 第一試験開始時刻 (エミッションスキャン) 2 回目
- $T_{1.325}$: 第二試験開始時刻 (エミッションスキャン)

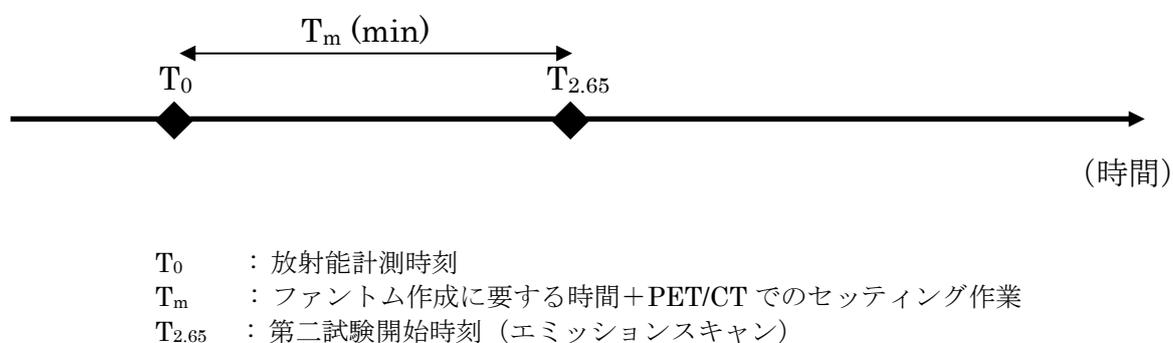
・ (第一試験のみ)

ファントム作成 (T_m : 90 分) + PET/CT 撮像 (12 分×2 回) + 待機時間 (^{18}F の物理学的半減期 - 12 分の 97.8 分) の合計 : 約 3 時間 30 分



・ (第二試験のみ)

ファントム作成 (T_m : 90 分) + PET/CT 撮像 (2~4 分+30 分) の合計 : 約 1 時間 35 分



2. ファントム第一試験

2.1. NEMA IEC ボディファントムの作成手順

- ・ バックグラウンド領域の 4 倍の放射能濃度 (溶液) の作成

- ① データ収集開始予定時刻から約 2 時間前までにボディファントムのバックグラウンド領域に全容積の 1/4 容量の 蒸留水 (水道水) を測量器等で測定して満たす。



- ② 定期的に校正されたドーズキャリブレーションを用いてファントム試験で使用する ^{18}F -FDG 溶液の放射能測定を行う。

※計測時の放射能および放射能の測定時刻を正確に記録 (秒単位) すること。



- ③ ^{18}F -FDG 溶液の入ったシリンジの注射針先端が手順①の液体中にある状態で注入する。また、シリンジ内溶液の残量が残らないよう 2~3 回洗い出しを行う。

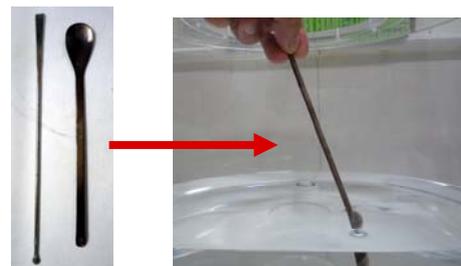
(注射針の先端を水面から離しすぎると飛散する為)



- ④ 使用後のシリンジをドーズキャリブレーションにて残放射能を測定する。シリンジ内に残存した ^{18}F -FDG の放射能が認められる場合、シリンジ内に残った放射能を測定後、時間補正して注入前の放射能から減算し、計測時刻における正味放射能を算出する。



- ⑤ 攪拌棒を使用して、溶液に気泡が発生しないように注意しながら十分に攪拌する。



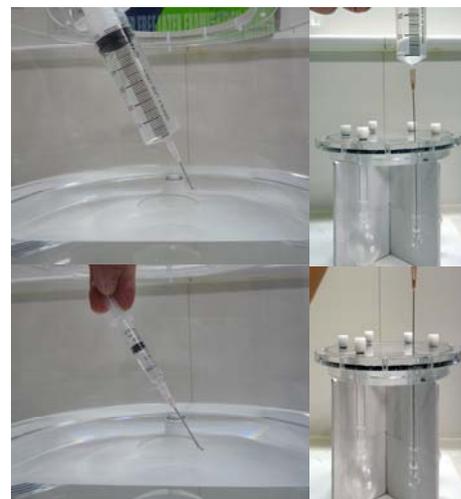
ホットスポット (10mm 径) の作成

- ⑥ ① 第一試験に引き続き第二試験も行う場合

攪拌した ^{18}F -FDG 溶液の一部 (約 55ml) をシリンジで抜き取り、10mm 径のホット球にのみ封入する。シリンジ内に残存している ^{18}F -FDG 溶液は第二試験時に使用するため、その間鉛で遮蔽された場所等で保管する。

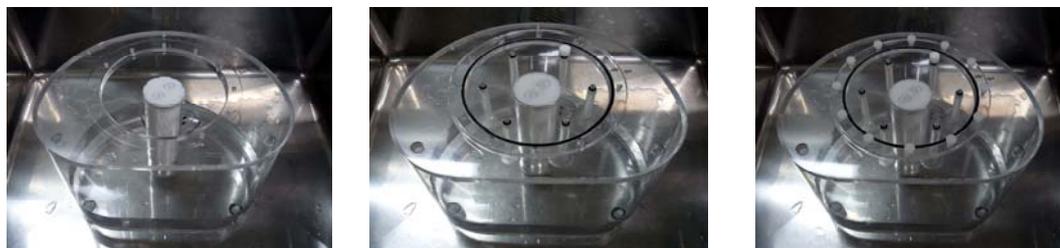
- ② 第一試験のみを行う場合 (第二試験は別日程)

攪拌した ^{18}F -FDG 溶液の一部 (約 1.0ml) をシリンジで抜き取り、10mm 径のホット球に封入する。シリンジ内に残存した ^{18}F -FDG 溶液はバックグラウンド領域に戻す。



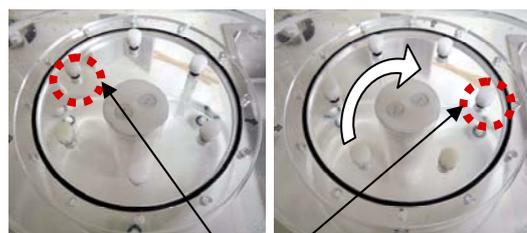
バックグラウンド領域の放射能濃度（溶液）の作成

- ⑦ ボディファントムに Lung insert とホット球を有する蓋を取付け、蓋が外れないようネジで締める。（このとき、複数あるネジを均等な力で締めていくこと）



このとき、蓋の円周角度はランダムとし、ホット球の位置はファントム作成者のみ
が知ることとする。

（作成者が任意に設定をする。）



どの位置に移動しても良い

- ⑧ 漏斗等を使用してバックグラウンド領域に蒸留水（水道水）を追加する。

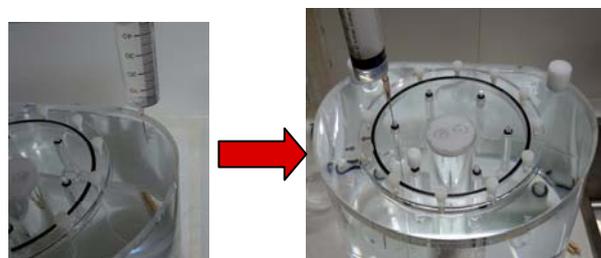
※ バックグラウンド領域に蒸留水（水道水）を満し終わる直前に、1度注水口のネジを締めて、ファントムを振って内部の溶液を攪拌する。

攪拌後、バックグラウンド領域に蒸留水（水道水）を追加して満す。



バックグラウンド領域の放射能濃度は 10mm 径ホット球に入れた ^{18}F -FDG 溶液の放射能濃度の 1/4 となる。

- ⑨ 13mm 球～37mm 球に封入するバックグラウンド領域(1/4 の放射能濃度)の ^{18}F -FDG 溶液を（約 50ml）をシリンジにて採取し、各球に封入する。



- ⑩ シリンジ内に残存した ^{18}F -FDG 溶液は、バックグラウンド領域に戻し、再度できるだけ空気が入らないように注意しながら蒸留水（水道水）を追加する。1 度バックグラウンド領域を満たし、注水口のネジを締めてファントムを振って内部の溶液を攪拌する。最後に各部のネジに緩みがないか確認する。（但し、ネジを締めすぎると破損の恐れがあるため、注意すること）

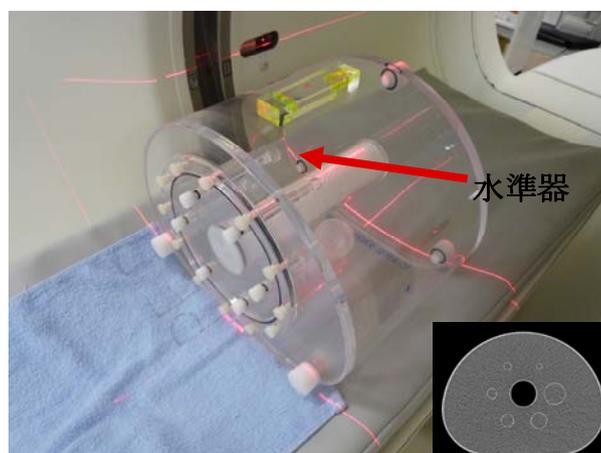


- ⑪ ボディファントムの作成完了。

2.2. データ収集

ファントムの配置

ボディファントムを PET/CT 装置の寝台上に配置する。水準器を用いて、ボディファントムが水平かつすべてのホット球の中心が FOV の中心にくるように慎重に配置する。CT 撮影においてずれが認められる場合、位置修正を行う。



スキヤンの実施（撮像プロトコール）

エミッション収集は、リストモード収集を用いて、最低 12 分間の収集を行う。

（リストモード収集のできない機種については、代案として 1 分間のスタティック収集を連続で最低 12 回繰り返し、収集されたエミッションデータを任意の範囲で加算する手法で行う。）



必ずプロンプト同時計数および偶発同時計数値がサイノグラムヘッダ等に記録される収集方法を用いること。

PET/CT 装置コンソール上の入力画面における撮像セットアップに関する項目として

- ・「体重」にはファントムのバックグラウンド容量 (kg)
- ・「計測（投与）時刻」にはドーズキャリブメータにて計測した時刻
- ・「放射エネルギー」には計測時刻における正味放射エネルギー (MBq)

（シリンジ内の残存放射エネルギーがあった場合は、減算すること）を必ず入力する。

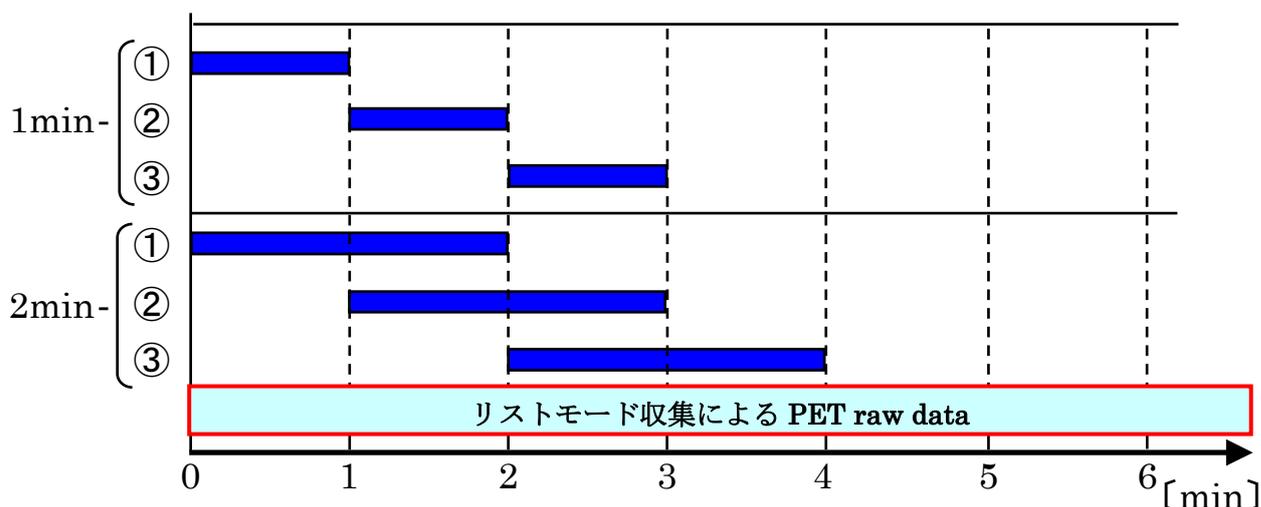
減弱補正に用いる CT 撮影を行った後、

- (1 回目) 撮像開始時点でファントム内の放射能濃度が 5.30kBq/ml となる時刻からエミッション収集を開始する。
- (2 回目) 1 回目スキヤンの開始時刻から 1 半減期後の 2.65kBq/ml となる時刻からエミッション収集を開始する。(より低投与量を模擬した収集を行うため)

画像再構成

リストモードで収集された PET raw データに関して

- エミッション収集開始時刻(基準時刻)を基準として 1, 2, 3, ..., 10 分までの PETraw データ (1 セット) の取り出しを行う。また、PET 画像は統計変動 (ゆらぎ) の影響を受けることから、基準時刻、基準時刻+1 分、基準時刻+2 分の計 3 セットを作成して評価する。(下図参照)
- 通常臨床で用いられている画像再構成条件 (もしくは使用機種 of デフォルト画像再構成条件) にて処理を行う。
- 視覚評価を行うための SUV 画像を作成する。



2.3. 試験結果の評価方法

描出能の視覚評価

ファントム第一試験で得られた PET 画像について実際の読影環境で視覚評価を行い、10mm 径ホット球の描出能を評価する。

- 評価は PET 認定医もしくは核医学専門技師が行う。
- 出来る限り実際の臨床で PET 画像の読影に使用されているワークステーション端末で行う。
- PET 画像の表示カラーlookupアップテーブルは、Invert Gray scale とする。
- 画像表示ウィンドウレベル (SUV スケール) は、上限値=4, 下限値=0 の固定値とする。
- 画像表示は、短時間収集 (1 分) のシリーズ画像から順次行う事とする。

- 表示方法は、10mm 径ホット球中心が描出されている 1 画像だけで判定はしない。前後 10 画像と一緒に、シネ表示またはコマ送りにして評価を行う。
- 視覚評価基準は、10mm 径ホット球に対して
 識別可能 (○) : 2 点
 識別可能だが、10mm 径ホット球と同程度のノイズを認める (△) : 1 点
 識別が不可能 (×) : 0 点
 とする。
- スコアの算出は、各収集時間 (1~10 分) について、各収集開始時刻の評価点数を平均して評価する。

(例)

					
	1 min	2 min	3 min	4 min	5 min
評価者					
A	×	△	△	○	○
B	×	×	△	△	○
C	×	×	○	○	○
評価点数	0	0.3	1.3	1.7	2.0

物理学的指標の算出

- $NEC_{phantom}$ 、%コントラスト、バックグラウンド変動性の算出について (ワーキンググループが作成した各指標を算出できるワークシートを使用) 各自で実験概要記入項目 (黄色のセル部分) および測定した ROI 値をワークシート (黄色のセル部分) にデータを入力して算出する。

実験概要記入項目 (例)

施設概要	
機種名	Discovery ST Elite Performance
メーカー	GE
バージョン	
実験日	● ● ● ● ●
施設名	● ● ● ● ●
実験実施者	● ● ● ● ●

NEC _{phantom} 算出に関するパラメータ	
バックグラウンド領域の容量 (ml)	9800
システム散乱フラクション	0.3
システム散乱フラクションの引用文献	Bettinardi V, Danna M, Savi A, Lecchi M, Castiglioni I, Gilardi MC, Bammer H, Lucignani G, Fazio F. Performance evaluation of the new whole-body PET/CT scanner: Discovery ST. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2004 Jun;31(6):867-81.
ファントム断面積 (cm ²)	565.96
断面内検出器間距離 (cm)	88.6
偶発同時計数補正法に依存する係数(k)	1

作成ファントム概要	
BG放射能測定時刻	17:00:00
放射能量 (MBq)	68.1
放射能濃度 (kBq/ml)	6.95

バックグラウンド領域の放射能濃度 (kBq/ml) データ収集開始時間	備考
5.23	17:45:00 投与量370MBq換算(E)
2.62	19:34:48 投与量185MBq換算(Eより1半減期後)

FDGの半減期	1:49:48
---------	---------

※黄色のセルを全て入力すること。

NEC_{phantom} 記入項目 (例)

投与量370MBq

frame	Prompt (count)	Random (count)	image1	image2	image3	image4	image5	image6	image7	image8	image9
1	49212049	29364983	1	0	0	1	0	0	1	0	0
2	48816255	29057156	0	1	0	1	1	0	1	1	1
3	48441968	28755754	0	0	1	0	1	1	1	1	1
4	48034917	28435591	0	0	0	0	0	1	0	1	1
5	47604023	28100041	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	47203178	27793013	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	46775302	27466512	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	46348136	27149715	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	45920376	26833029	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	45514552	26522980	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	45104931	26216088	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	44690047	25891630	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acquisition duration(min)			1	1	1	2	2	2	3	3	
Total Prompt (kcount)			4.9E+07	48816255	48441968	98028304	97258223	96476885	1.46E+08	1.45E+08	1.44E
Total Random (kcount)			2.9E+07	29057156	28755754	58422139	57812910	57191345	87177893	86248501	85291
NEC _{phantom} (Mcount)			7.65	7.62	7.61	15.27	15.23	15.19	22.88	22.81	22
					7.6			15.2			2

%コントラスト記入項目 (例)

投与量370MBq

Image No	image1	image2	image3	image4	image5	image6	image7	image8	image9
Acquisition Duration (min)	1			2			3		
10mmホット球の平均ROI値 (C _{H,10mm})	5591.16	5632.57	5662.91	6256.17	6292.33	6515.03	6414.92	6584.25	6570.7
ROI 1	4918.07	4895.16	5025.97	5161.21	5235.41	5321	5234.16	5292.3	5194.9
ROI 2	4997.41	5111.79	5113.64	5304.97	5380.16	5333.75	5350.78	5379.76	5408.0
ROI 3	4825.46	4769.93	4820.25	4874.57	4881.62	4934.61	4855.67	4871.55	4972.7
ROI 4	4970.99	5294.21	4989.76	5393.53	5432.99	5204.04	5348.58	5367.62	5268.5
ROI 5	4934.86	4757.43	4740.11	5150.21	5029.26	5092.59	5129.95	5095.16	5157.0
BGの平均ROI値 (C _{B,10mm})	4496.58	4743.36	4574.92	4992.74	5057.16	4994.95	5020.18	5124.39	5069.4
ROI 7	4562.8	4473.58	4421.32	4939.11	4826.12	4774.72	4949.96	4870.86	4951.
ROI 8	4911.51	4783.39	4497.78	5257.78	4934.07	4913.46	5115.16	5028.33	4909.9
ROI 9	4707.3	5182.04	4938.08	5243.38	5418.78	5274.51	5275.36	5420.05	5307.2
ROI 10	4953.84	4920.37	4965.89	5129.7	5143.41	5176.91	5143.36	5152.54	5202.7
ROI 11	4916.95	4979.04	5005.91	5116.43	5178.42	5154.71	5143.04	5150.76	5106.3
ROI 12	4925.93	4915.71	4983.72	5015.46	5052.14	5276.89	5010.68	5163.53	5232.3
Q _{H,10mm}	5.1	5.0	5.7	7.3	7.5	9.1	8.3	9.2	9.0
	5.3			8.0			8.9		

※PET 画像のホット球が最も強く描出されるスライスでの評価: 目安は収集時間が 10 分の PET 画像からスライスを選択すると簡便である。

%バックグラウンド変動性記入項目 (例)

投与量370MBq

image No	image2				image5				
Acquisition Duration (min)	1				2				
slice	-2	-1	center	+1	+2	-2	-1	center	+1
ROI 1	5194.803	5090.566	4895.158	5011.079	5156.895	5318.842	5220.210	5235.408	5122.171
ROI 2	5090.329	5227.026	5111.790	4968.342	5078.790	5141.619	5231.921	5380.158	5114.224
ROI 3	4985.355	5060.671	4769.934	4977.329	4955.053	5038.592	5044.737	4881.619	5256.040
ROI 4	5045.408	5212.329	5294.210	5091.829	4657.276	5290.250	5278.421	5432.987	5168.790
ROI 5	4737.526	4691.592	4757.434	4893.553	4753.619	4903.803	4897.434	5029.263	5120.250
ROI 6	4308.645	4338.487	4743.355	4446.092	4346.829	4732.105	4784.974	5057.158	4875.224
ROI 7	4512.934	4753.987	4473.579	4719.171	4430.987	4940.855	5170.171	4826.119	5022.566
ROI 8	4749.763	4787.184	4783.395	4634.566	4651.381	5063.566	5206.592	4934.066	4949.250
ROI 9	5048.026	5417.645	5182.040	5299.855	4936.053	5505.737	5521.013	5418.776	5557.197
ROI 10	4890.605	5005.369	4920.369	5004.210	5080.947	5147.960	5076.776	5143.408	5057.829
ROI 11	5098.921	5008.355	4979.040	5181.210	4969.697	5371.000	5314.197	5178.421	5370.276
ROI 12	5072.434	5098.724	4915.710	4965.869	4880.671	5265.605	5309.724	5052.145	5212.145
N _{10mm}					5.1				

※PET 画像のホット球が最も強く描出されたスライスを中央 (center) とし、±1cm と±2cm のスライスから評価する。

- ・ ファントム第一試験で得られた各PET画像を画像解析処理装置等でROI測定をする際の注意点

画像の拡大表示(もしくは画素数を増やす)処理を行わずにROI測定を行った場合、ROIの位置が1pixelずれた場合でも部分容積効果の影響を受けて測定値が大きく変化する。よって本ガイドラインでは、ピクセルサイズが1mm以下になるように画像を補間拡大し、その拡大画像の上で円形ROIをとることを推奨する。
(拡大表示処理は、補間によって評価値に影響を及ぼすことに注意を要する。)

2.4. 試験結果の判定

- ・ 視覚評価において評価点数の3セット平均が1.5点となった収集時間(すなわち評価者の半数以上が10mmのホット球が描出できていると判断した収集時間)で撮像することを推奨する。
- ・ 物理学的指標は厳密には機種により異なるが、 $NEC_{\text{phantom}} > 10.4$ (Mcounts) , $N_{10\text{mm}} < 6.2$ (%) , $Q_{H,10\text{mm}}/N_{10\text{mm}} > 1.9$ (%) を目標とする。

3. ファントム第二試験

(第一試験を行ったあと、引き続いて第二試験を行う場合)

3.1. NEMA IEC ボディファントムの作成手順

ホットスポット (13~37mm 径球) の作成

- ① 第一試験にて使用したボディファントム内にある13~37mm径ホット球に封入されているバックグラウンド濃度の ^{18}F -FDG溶液をシリンジ等で使用して取り除く。



第一試験時のファントム作成にて保管していた ^{18}F -FDG溶液を13~37mm径ホット球に封入する。

(注意事項)

球内の残存液(バックグラウンド領域と同濃度)の影響を少なくするため、4倍の放射能濃度の ^{18}F -FDG溶液で3~5回程度、封入と吸引を繰り返して濃度の不均一を防ぐ。

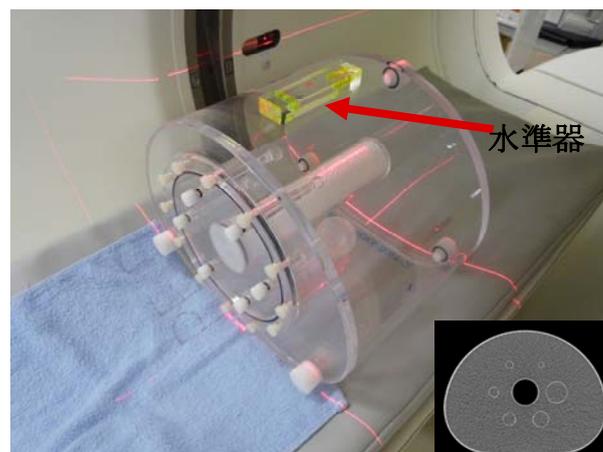
- ② ボディファントムの作成完了



3.2. データ収集

ファントムの配置

ボディファントムを PET/CT 装置の寝台上に配置する。水準器を用いて、ボディファントムが水平かつすべてのホット球の中心が FOV の中心にくるように慎重に配置する。CT 撮影においてずれが認められる場合、位置修正を行う。



スキャンの実施 (撮像プロトコール)

エミッション収集は、I→IIの順で撮像を行うこと。

- I. 臨床条件に近い計数統計量が得られる収集条件
- II. 十分な計数統計量 (30 分) が得られる収集条件

第一試験開始時刻 (5.30kBq/ml) から ^{18}F の 2 半減期後、放射能濃度 1.325kBq/ml となる時刻からファントムのデータ収集を開始する。



- 原則、プロンプト同時計数および偶発同時計数値がサイノグラムヘッダ等に記録される収集方法を用いること。
- 臨床条件に近い計数統計量を得る条件の撮像にあたっては、あらかじめ決めた (または推奨されている) 標準体型 (「がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン」で使用しているボディファントムの断面積は、日本人の標準的な体格 (約 60kg 前後) に相当すると思われる。) の被検者に対する体重当たりの投与量 \times 1 ベッド当たりの撮像時間が、 $3.7\text{MBq/kg} \times$ 本実験の撮像時間に等しくなるように撮像時間を定める。

(例) A 施設において、体重 60kg の被検者に 333MBq の投与を行い、1 ベッド当たりの撮像時間が 2 分の場合、臨床条件に近い計数統計量を得る撮像時間 T 分は

本実験の標準は、体重 60kg の被検者に対して、

$$3.7 [\text{MBq/kg}] \times 60 [\text{kg}] = 222 [\text{MBq}]$$

の投与になる。従って、臨床条件に近い計数統計量を得るための設定撮像時間 T 分は

$$222 \times T = 333 \times 2 \quad T = 666 / 222 = 3 [\text{分}]$$

となる。

(注意)

第一試験を行った後、引き続いて第二試験を行う場合は、必ず撮像時間を 2 倍に設定する。(第二試験のみを行う場合、エミッション開始時刻時の放射能濃度は 2.65kBq/ml であるが、第一試験を行った後、引き続いて第二試験を行う場合、エミッション開始時刻時の放射能濃度が 1.325kBq/ml になるため、撮像時間を 2 倍に設定する。)

PET/CT 装置コンソール上の入力画面における撮像セットアップに関する項目として

- ・「体重」にはファントムのバックグラウンド容量 (kg)
- ・「計測 (投与) 時刻」にはドーズキャリブメータにて計測した時刻
- ・「放射能量 (MBq)」には計測時刻における正味放射能量 (シリンジ内の残存放射能量があった場合は、減算すること) を必ず入力する。

画像再構成

臨床に適用する再構成パラメータにて収集されたエミッションデータを画像再構成する。このとき、再構成視野の設定や各種補正は臨床で用いるパラメータ・方法と同様の条件とする。

(第二試験のみを行う場合)

3.3. NEMA IEC ボディファントムの作成手順

原則、第一試験に準じて試験ファントムの作成を行う。

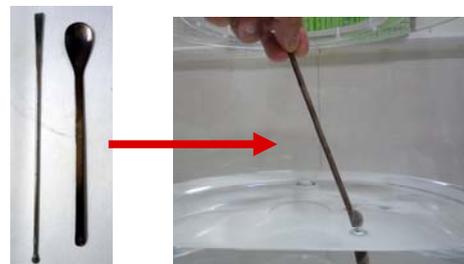
- ・ **バックグラウンド領域の 4 倍の放射能濃度 (溶液) の作成**
 - ① データ収集開始予定時刻から約 2 時間前までにボディファントムのバックグラウンド領域に全容積の 1 / 4 容量の蒸留水 (水道水)を測量器等で測定して封入する。
 - ② 定期的に校正されたドーズキャリブレータを用いてファントム試験で使用する ^{18}F -FDG 溶液の放射能測定を行う。
※計測時の放射能および放射能の測定時刻を正確に記録 (秒単位) すること。
 - ③ ^{18}F -FDG 溶液の入ったシリンジの注射針先端が手順①の液体中にある状態で注入する。また、シリンジ内溶液の残量が残らないよう 2~3 回洗い出しを行う。
 (先端を水面から離しすぎると飛散するため)



- ④ 使用後のシリンジをドーズキャリブレーションにて残存放射能を測定する。シリンジ内に残存した ^{18}F -FDG の放射能が認められる場合、シリンジ内に残った放射能を測定後、時間補正して注入前の放射能から減算し、計測時刻における正味放射能を算出する。



- ⑤ 攪拌棒を使用して、溶液に気泡が発生しないように注意しながら十分に攪拌する。



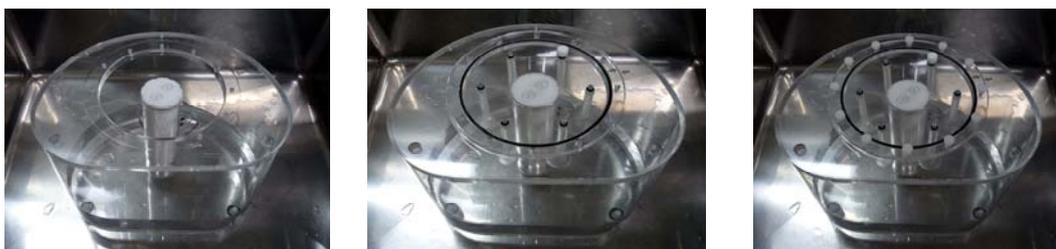
ホットスポット (10~37 mm 径球) の作成

- ⑥ 攪拌した ^{18}F -FDG 溶液の一部 (約 55 ml) をシリンジで抜き取り、10~37mm 径の各ホット球に封入する。シリンジ内に残存した ^{18}F -FDG 溶液はバックグラウンド領域に戻す。(シリンジ内に ^{18}F -FDG 溶液が残存しないよう注意する。)



バックグラウンド領域の放射能濃度の作成

- ⑦ ボディファントムに Lung insert とホット球を有する蓋を取付け、蓋が外れないようネジで締める。(このとき、複数のネジを均等な力で締めていくこと)



- ⑧ 漏斗等を使用してバックグラウンド領域に蒸留水 (水道水) を追加して満たす。

この状態で理論的にはバックグラウンド領域の放射能濃度は各ホット球に入れた ^{18}F -FDG 溶液の放射能濃度の 1/4 となる。



※バックグラウンド領域に蒸留水 (水道水) を満たし終わる直前に、1 度注水口のネジを締めて、ファントムを振って内部の溶液を攪拌する。

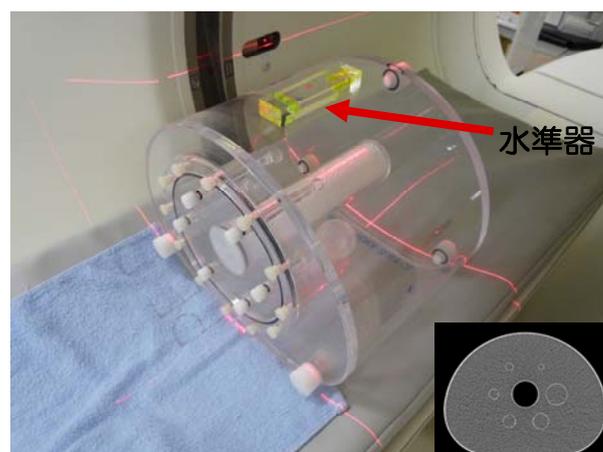
⑨ ボディファントムの封入完了。



3.4. データ収集

ファントムの配置

ボディファントムを PET/CT 装置の寝台上に配置する。水準器を用いて、ボディファントムが水平かつすべてのホット球の中心が FOV の中心にくるように慎重に配置する。また、CT 撮影においてずれが認められる場合、位置修正を行う。



スキャンの実施（撮像プロトコール）

エミッション収集は、I→IIの順で撮像を行うこと。

- I. 臨床条件に近い計数統計量が得られる収集条件
- II. 十分な計数統計量（30分）が得られる収集条件

撮像開始時点でファントム内の放射能濃度が 2.65kBq/ml となる時刻からエミッション収集を開始する。



- 原則、プロンプト同時計数および偶発同時計数値がサイノグラムヘッダ等に記録される収集方法を用いること。
- 臨床条件に近い計数統計量を得る条件の撮像にあたっては、あらかじめ決めた（または推奨されている）標準体型（「がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン」で使用しているボディファントムの断面積は、日本人の標準的な体格（約 60kg 前後）に相当すると思われる。）の被検者に対する体重当たりの投与量×1 ベッド当たりの撮像時間が、 $3.7\text{MBq/kg} \times \text{本実験の撮像時間}$ に等しくなるように撮像時間を定める。

(例) A 施設において、体重 60kg の被検者に 333MBq の投与を行い、1 ベッド当たりの撮像時間が 2 分の場合、臨床条件に近い計数統計量を得る撮像時間 T 分は

本実験の標準は、体重 60kg の被検者に対して、

$$3.7 \text{ [MBq/kg]} \times 60 \text{ [kg]} = 222 \text{ [MBq]}$$

の投与になる。従って、臨床条件に近い計数統計量を得るための設定撮像時間 T 分は

$$222 \times T = 333 \times 2 \quad T = 666/222 = 3 \text{ [分]}$$

となる。

画像再構成

臨床に適用する再構成パラメータにて収集されたエミッションデータを画像再構成する。このとき、再構成視野の設定や各種補正は臨床で用いるパラメータ・方法と同様の条件とする。

3.5. 試験結果の評価方法

臨床撮像条件に近い計数統計量における画質評価

臨床撮像条件に近い計数統計量を有するエミッションデータから NEC_{phantom}, 10mm 径ホット球の%コントラストおよび%バックグラウンド変動性を算出する。

(第一試験と同様にワーキンググループが作成した各指標を算出できるワークシートを使用) 各自で実験概要記入項目 (黄色のセル部分) および測定した ROI 値をワークシート (黄色のセル部分) にデータを入力して算出する。

実験概要記入項目 (例)

施設概要		
機種名	Discovery ST Elite Performance	
メーカー	GE	
バージョン		
実験日		
施設名		
実験実施者		
NEC _{phantom} 算出に関するパラメータ		
バックグラウンド領域の容量 (ml)	9800	
システム散乱フラクション	0.45	
システム散乱フラクションの引用文献	Bettinardi V, Danna M, Savi A, Lecchi M, Castiglioni I, Gilardi MC, Bammer H, Lucignani G, Fazio F. Performance evaluation of the new whole-body PET/CT scanner: Discovery ST. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2004 Jun;31(6):867-81.	
ファントム断面積 (cm ²)	565.96	
断面内検出器間距離 (cm)	88.6	
偶発同時計数補正法に依存する係数 (k)	1	
作成ファントム概要		
BG放射能測定時刻	11:03:00	
放射能 (MBq)	74.9	
放射能濃度 (kBq/ml)	7.64	
バックグラウンド領域の放射能濃度 (kBq/ml)	データ収集開始時間	備考
1.34		15:38:34 臨床計数統計量における画質評価
1.28		15:45:39 RC算出
FDGの半減期	1:49:48	

※黄色のセルを全て入力すること。

NEC_{phantom}, %コントラストおよび%バックグラウンド変動性記入項目 (例)

Data acquisition summary	
Acquisition duration(min)	5
Phantom BG activity (kBq/ml)	1.36
Prompt(count)	25363542
Random(count)	2265730
NECR (Mcount)	9.28

Image analysis result						
10mmホット球の平均ROI値 (C _{H,10mm})	1975.12					
slice	-2 -1 center +1 +2					
BGの平均ROI値 (C _{B,10mm})	ROI 1	1411.04	1300.83	1300.12	1305.53	1338.38
	ROI 2	1310.45	1282.26	1394.30	1223.68	1390.86
	ROI 3	1276.61	1290.49	1337.83	1226.92	1226.51
	ROI 4	1141.20	1190.91	1311.87	1214.26	1210.49
	ROI 5	1383.33	1417.37	1227.59	1479.78	1373.39
	ROI 6	1253.11	1423.96	1378.99	1350.09	1210.96
	ROI 7	1424.84	1473.57	1393.74	1424.14	1452.95
	ROI 8	1340.63	1278.47	1460.78	1258.78	1242.29
	ROI 9	1381.13	1352.97	1253.14	1349.16	1403.04
	ROI 10	1437.32	1284.21	1242.68	1335.68	1355.20
	ROI 11	1430.39	1407.59	1193.09	1299.32	1351.12
	ROI 12	1241.18	1208.99	1227.95	1358.37	1301.08
バックグラウンド変動性(N _{10mm})					6.3	
%コントラスト(%Q _{H,10mm})					16.9	

また、視覚的に各ホット球が描出されているか確認する。

十分な計数統計量における分解能の評価

30 分間のスタティック収集により得られたエミッション画像から各ホット球の ROI 測定 (最大値) を行い、各ホット球のリカバリ係数を算出する。

NEC_{phantom}, リカバリ係数記入項目 (例)

Data acquisition summary	
Acquisition duration(min)	30
phantom BG activity (kBq/ml)	1.30
Prompt(count)	134285132
Random(count)	10808217
NECR (Mcount)	49.73

Image analysis result	
Sphere diameter (mm)	10 13 17 22 28 37
Max count of ROI	2101 3375 4216 4635 4837 5125
Recovery coefficient	41.0 65.9 82.3 90.4 94.4 100.0

3.6. 試験結果の判定

- 10mm 径ホット球における分解能 (FWHM) が 10mm 以下となる、すなわちリカバリ係数が 0.38 よりも大きくなる再構成条件を推奨する。
- 臨床撮像条件での画像にて評価した 10mm 径ホット球における%コントラストおよび%バックグラウンド変動性がガイドラインの参考値以上 (第一試験 参照。NEC_{phantom} > 10.4 (Mcounts)、N_{10mm} < 6.2 (%)、Q_{H,10mm} / N_{10mm} > 1.9 (%)) を目標とする。
- 視覚的に 10mm 径ホット球が描出されていることを目標とする。

作成日 2010 年 8 月 17 日

作 成 がん FDG-PET 撮像法の標準化 WG