

自動分注投与装置における分注液量と投与放射エネルギーの精度

Accuracy of the dispensed volume and the administered radioactivity amount in Automated Infusion device

近藤 亮太郎^{1), 2)*}, 新居 健¹⁾, 堂本 宏志¹⁾, 中村 泰典³⁾, 棚田 康友¹⁾, 白子 公己¹⁾, 田畑 梓¹⁾, 小谷 知也⁴⁾

1) 京都府立医科大学附属病院 医療技術部 放射線技術課

2) 近畿大学大学院 医学研究科 医学物理学専攻

3) 京都医療科学大学 医療科学部 放射線技術学科

4) (医師) 京都府立医科大学大学院 放射線科

Key words: ^{18}F -FDG PET, automated infuse device, administration accuracy

[Abstract]

There are two types of radioactive drugs used in ^{18}F -Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography (^{18}F -FDG PET): those produced in-house using a cyclotron in the facility, and those supplied by a radioactive pharmaceutical manufacturer (delivery formulation). When a large amount of ^{18}F -FDG is produced in-house at once, the radioactivity concentration changes over time due to the radioactive decay of the stock solution, leading to significant variations in the administered dose volume. Therefore, considering the variation in radioactivity concentration of the stock solution over time in the case of in-house production of ^{18}F -FDG, the administration accuracy relative to the set radioactivity amount was investigated.

In the automated infusion device (UG-05), the accuracy of the administered radioactivity amount is influenced by the precision of dispensing from the stock vial to the intermediate vial, and the accuracy of the administered radioactivity amount relative to the set dose depends on the volume dispensed from the stock solution.

[要 旨]

^{18}F -FDG PET検査で使用する放射性医薬品には、自施設で製造された製剤と放射性医薬品メーカーからのデリバリー製剤がある。自施設で1回に大量の ^{18}F -FDGを製造した場合、原液の減衰により放射能濃度は投与時刻ごとに変化するため、分注液量も大きく異なる。そこで自施設製造の ^{18}F -FDGの投与において、時刻により原液の放射能濃度が変化することを考慮して、設定した放射エネルギーに対する投与放射エネルギーの精度を検討した。自動分注投与装置 (UG-05) において、投与放射エネルギーの精度は原液バイアルから中間バイアルへ分注する精度に影響され、設定放射エネルギーに対する投与放射エネルギーの精度は原液から分注された液量に依存する。

緒 言

^{18}F -Fluorodeoxyglucose (^{18}F -FDG) Positron Emission Tomography (PET) 検査は、体内に投与された放射性医薬品の体内動態を画像化することで、

KONDO Ryotaro^{1), 2)*}, NII Takeshi¹⁾, DOMOTO Hiroshi¹⁾, NAKAMURA Yasunori³⁾, TANADA Yasutomo¹⁾, SHIRAKO Koki¹⁾, TAHATA Azusa¹⁾, KOTANI Tomoya⁴⁾

1) Division of Radiological Technology, Department of Medical Technology, University Hospital, Kyoto Prefectural University of Medicine

2) Department of Medical Physics, Graduate School of Medical Sciences, Kindai University

3) Department of Radiological Technology, Faculty of Medical Science, Kyoto College of Medical Science

4) Department of Radiology, Graduate School of Medical Science, Kyoto University of Medicine

* E-mail: rkondo@koto.kpu-m.ac.jp

Received June 12, 2024; accepted August 22, 2024

腫瘍の悪性度の評価や遠隔転移の有無、治療効果の判定に重要な役割を果たしている¹⁻³⁾。近年、核医学検査従事者の放射線被ばくを低減するため、陽電子放出放射性トレーサー用の自動分注投与装置が開発された。Sánchezらは、自動分注投与装置により核医学検査従事者の手の被ばく放射線量が約60%減少したことを報告している⁴⁾。

本邦では、放射性医薬品自動分注投与装置の精度確認試験手順書が、放射性医薬品を被験者へ投与する精度が担保されていることを確認する目的で定められた⁵⁾。小島らは、自動分注投与装置を用いた ^{18}F -FDG溶液の投与精度は-1.2%から2.7%であったことを報告している⁶⁾。Miyajiらは、複数回の分注操作を行い、自動分注投与装置の投与精度は-0.13%から6.37%であり、またPET装置の定量性を維持するために定期的に投与精度の確認が必要であると述べている⁷⁾。 ^{18}F -FDG PET検査に使用される放射性医薬品は、自施設のサイクロトロンで製造されたものと、工場で製造され放射性医薬品メーカーから供給されるもの（デ

リバリー)の2種類に分けられる。自施設で製造した放射性医薬品は1回に大量に製造するため、原液の減衰により放射能濃度が投与時刻ごとに異なるが、デリバリー製剤は検定時刻に規定の放射能濃度を有し、かつ1日に複数の検定時刻を有する。

自施設で製造された放射性医薬品においては、自動分注投与装置に原液の情報と希望分注条件を入力することで、設定した放射能量とそれに応じた容量が中間バイアルに分注され、バイアル全量をシリンジに移し生理食塩水でフラッシュしながら患者へ投与する⁸⁾。このときは装置内で分注動作が2回行われる。ここで、小畠らやMiyajiらの報告における投与精度とは、中間バイアルから実際に投与したときの精度のみである⁷⁾。一方、原液の放射能濃度が投与時刻により異なることを含めた投与精度、すなわち原液から中間バイアルへの分注を含めた投与精度の検討はなされていない。

自施設で製造した¹⁸F-FDG溶液を1日使用する実臨床において、原液の放射能濃度が高い朝と低い夕方では分注量が大きく異なり、分注精度と投与精度の確認は、半減期が109.8分である¹⁸Fを用いた¹⁸F-FDG PET検査の精度管理には重要であると考えられる。

本研究では、自施設で製造した¹⁸F-FDGの投与において、時刻により原液の放射能濃度が変化することを考慮した投与精度を検討した。

1. 方 法

1-1 使用機器

放射性医薬品は、自施設で製造した¹⁸F-FDG溶液と、日本メジフィジックスよりデリバリーされたFDGスキャン注(185 MBq, 2 ml)を用いた。自動分注投与装置はUG-05(ユニバーサル技研, 神奈川)を使用した。Fig.1にUG-05内の概略図を示す。UG-05を用いた自動投与法では、自施設での製造の場合は、原液バイアルから設定放射能量に応じたFDG溶液が中間バイアルへ注入され(原液-中間)、中間バイアル内の放射能量が半導体検出器で測定される。そして中間バイアル内の溶液が被験者へ投与される(中間-投与)。ここで、UG-05の分注動作は、原液バイアルから中間バイアルへの工程(原液-中間)と、中間バイアルから投与シリンジへの工程(中間-投与)の2回ある。一方、デリバリー製剤の場合はバイアルをFig.1に示す中間バイアルの位置に設置し、設定放射能量に応じたFDG溶液が分注され被験者へ投与される。

TableにUG-05の機器特性を示す。各値は機器の

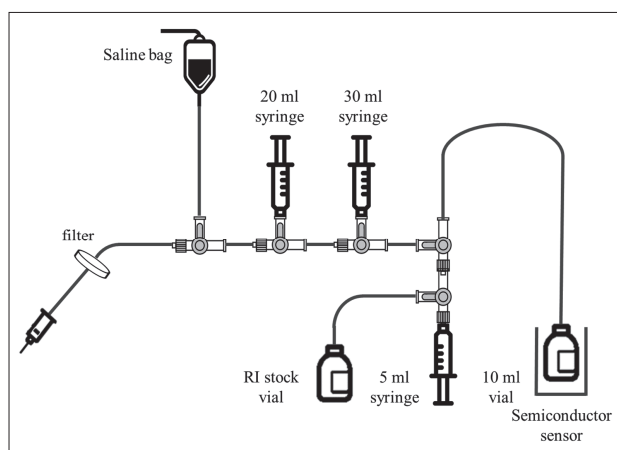


Fig.1 Scheme of measurement and administration process of the automated infusion device (UG-05)

Using a 5 ml syringe, ¹⁸F-FDG is dispensed from the stock vial and the dispensing radioactivity amount and dispensing time are measured by a semiconductor sensor. When administering to the patient, ¹⁸F-FDG is dispensed with a 20 ml syringe, followed by a saline flush using a 30 ml syringe.

Table Main Technical Features of Automated Infusion device (UG-05)

Technical features	Industrial standards
Range of net administration (MBq)	74-740
Range of dispensed volume (ml)	0.3-15
Measurement accuracy of radioactive concentration (%)	± 5
Measurement accuracy of radioactivity (%)	± 5
Administration accuracy (%)	± 5

製造企業により保証されている規格値である。ここで、Tableの分注設定流量と放射能分注誤差は、中間バイアルに10 ccのバイアルを用いた場合の値である。またUG-05に取り付けた物品として、輸液セットUG-05-001(フォルテグロウメディカル, 東京)、シリンジは5 mL, 20 mL, 30 mLのテルモシリンジ(テルモ, 東京)、分注用バイアルはCG滅菌バイアル10 mL(アルゴキュアシステム, 愛知)、延長用ルートはチューブ長100 cmのニプロエクステンションチューブT(ニプロ, 大阪)、エアイベントフィルターはCathivex-GV(Merck Millipore, アイルランド)、延長用ルートはチューブ長100 cmのニプロエクステンションチューブT(ニプロ)を使用した。

1-2 FDG投与

京都府立医科大学附属病院で¹⁸F-FDG PET検査を行った255人を対象とした。本研究は、京都府立医科大学附属病院の倫理審査委員会の承認を得て実施した（承認番号ERB-C-2732）。1日の検査スケジュールは、9時15分から15時30分まで25分間隔で投与を行い、検査数は1日最大12件である。対象は2022年4月末から5月末までの20日間、自施設で製造した放射性医薬品を投与した222症例で、男性が123人、女性が99人、体重は 58.0 ± 11.6 kg、平均年齢は67.5歳（15～94歳）であった。設定投与放射エネルギーは3.7 MBq/kgとした。なお、自施設製造の原液は25 mLであり、ホットラボで測定した放射エネルギーとその時刻をUG-05へ原液情報として入力した。デリバリー製剤を分注投与した症例は2022年4月における12日間の33人で、男性が12人、女性が21人、体重は 45.9 ± 7.62 kg、平均年齢は69.2歳（10～88歳）であった。なお、デリバリー製剤の分注は3.7 MBq/kgに調整ができる症例に対してのみ行った。FDGの投与後、自動分注投与装置の投与データを記録した。

1-3 投与精度の算出

UG-05における分注動作は（原液-中間）と（中間-投与）の2回あり、それぞれ分注精度（原液-中間）と分注投与精度（中間-投与）とした。術者が設定した放射エネルギーと実際に投与された放射エネルギーの精度をサイクロ投与精度（原液-投与）と定義した。FDGを投与した際にUG-05が自動で記録する機構により自施設製造ではバイアル分注結果（設定放射エネルギー [MBq]、Radioisotope (RI) 液量 [mL]、投与予定時刻、分注された放射エネルギー [MBq]、分注時の時刻）および分注投与結果（投与放射エネルギー [MBq]、投与時刻、残液RI量 [%]）を記録した。デリバリー製剤では抜取結果（分注設定量 [MBq]、投与予定時刻、分注された放射エネルギー [MBq]、分注時の時刻）および全量投与結果（投与放射エネルギー [MBq]、投与時刻、残液RI量 [%]）を記録した。ここで、UG-05の半導体検出器で測定できるのは中間バイアルの残量のみである。分注精度（原液-中間）は設定放射エネルギーに対して分注された放射エネルギーの実測値であり、分注投与精度（中間-投与）は分注された放射エネルギーに対する投与放射エネルギー、つまり投与前後の中間バイアルにおける放射エネルギーである。なお、投与ラインのRI残留分に関してはUG-05の分注シリジ補正係数を使用した。これは、出荷時および点検時に行われる分注投与誤差試験でUG-05の内部検出

器と外部検出器でFDG原液を計測し、ラインへの残留分を実測値と合うように補正する係数である。今回、分注シリジ補正係数は1.00であった。

自施設製造を用いた場合は分注精度（原液-中間）と分注投与精度（中間-投与）、サイクロ投与精度（原液-投与）を日本核医学会が行う施設認証試験で用いられる式(1)により算出した⁵⁾。

$$\text{精度} [\%] = \left\{ \frac{A_a}{A_m} \times e^{\left(\frac{T}{109.8} \right)} - 1 \right\} \times 100 \quad \cdots (1)$$

分注精度（原液-中間）は A_a を中間バイアルに分注された放射エネルギー、 A_m を設定放射エネルギー、 T を分注時刻と投与予定時刻の差として算出した。分注投与精度（中間-投与）では A_a は投与放射エネルギー、 A_m は中間バイアルに分注された放射エネルギー、 T は分注時刻と投与時刻の差である。サイクロ投与精度（原液-投与）の場合は A_a を設定放射エネルギー、 A_m を投与放射エネルギー、 T を投与予定時刻と投与時刻の差とした。

原液の放射エネルギーの減衰により変化する分注液量と分注精度（原液-中間）、分注投与精度（中間-投与）およびサイクロ投与精度（原液-投与）の関係を検討した。またデリバリー製剤の分注精度（原液-分注）、分注投与精度（分注-投与）およびデリバリー投与精度（原液-投与）についても式(1)により算出し分注液量との関係を検討した。さらに記録された実投与量を設定投与放射エネルギー（3.7 MBq/kg）と比較した。

1-4 統計解析

自施設製造の分注精度（原液-中間）と分注投与精度（中間-投与）および分注精度（原液-中間）とサイクロ投与精度（原液-投与）について統計解析を行った。まず、Anderson-Darling検定を用い正規性を確認した。正規性が確認された場合はPearsonのカイ二乗検定を用い、正規性が確認されなかった場合はSpearmanの順位相関係数を用いて相関を調査した。設定投与放射エネルギー（3.7 MBq/kg）については自施設製造とデリバリーで比較し、t検定を行った。自施設製造の分注液量はデリバリーと同等またはそれ以上、以下の条件で比較した。

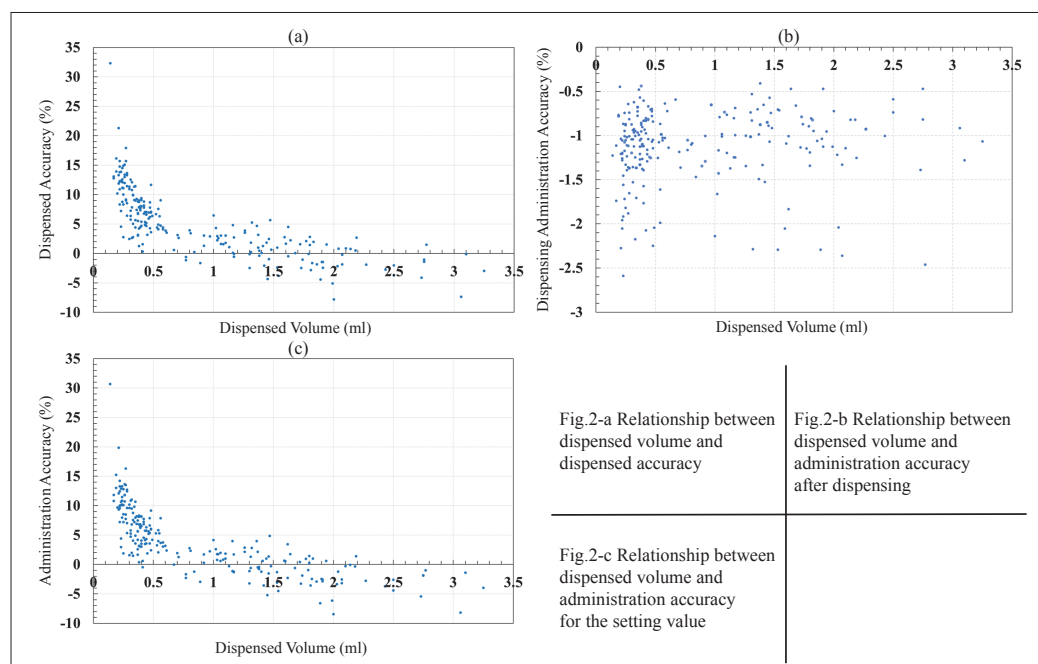


Fig.2 Dispensed accuracy and administration accuracy of manufactured FDG in our facility

As the dispensing liquid volume increased, both the dispensing accuracy (Fig.2-a) and the cyclotron dosing accuracy (Fig.2-c) improved. The dispensing dosing accuracy did not depend on the volume dispensed into the intermediate vial (Fig.2-b).

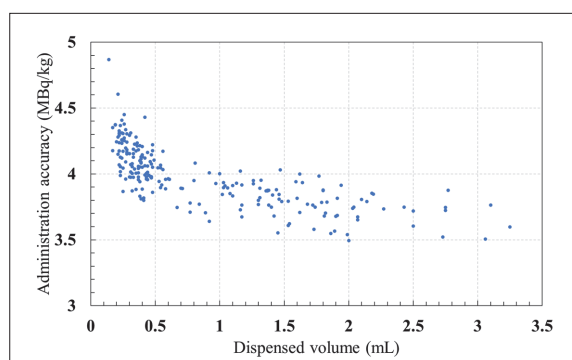


Fig.3 Relationship between dispensed volume and administration accuracy for the setting value of manufactured FDG in our facility

As the dispensed volume increased, the administration accuracy relative to the setting value improved.

2. 結 果

2-1 自施設製造

2-1-1 分注精度（原液－中間）と分注投与精度（中間－投与）および投与精度（原液－投与）

式 (1) より, 自施設製造の分注精度（原液－中間）は $5.16 \pm 5.57\%$, 分注投与精度（中間－投与）は $-1.13 \pm 0.43\%$, サイクロ投与精度（原液－投与）は $3.96 \pm 5.45\%$ であった。

Fig.2 に, 自施設で製造された放射性医薬品の分注精度および分注投与精度, サイクロ投与精度を示した。

分注精度（原液－中間）とサイクロ投与精度（原液－投与）は, 原液から分注する液量が大きくなるにつれて改善したが, 分注投与精度（中間－投与）は中間バイアルに分注された液量に依存しなかった。

2-1-2 設定投与放射能量（3.7 MBq/kg）

自施設製造の設定投与放射能量に対するサイクロ投与精度（原液－投与）は 3.98 ± 0.22 MBq/kg であり, 分注液量が大きくなるにつれて改善した (Fig.3)。

2-2 デリバリー

2-2-1 分注精度（原液－分注）と分注投与精度（分注－投与）およびデリバリー投与精度（原液－投与）

式 (1) より, デリバリーの分注精度（原液－分注）は $3.35 \pm 3.36\%$, 分注投与精度（分注－投与）は $-0.03 \pm 0.20\%$, デリバリー投与精度（原液－投与）は $3.32 \pm 3.33\%$ であった。デリバリーにおいては分注精度, 分注投与精度およびデリバリー投与精度は分注する液量に依存しなかった (Fig.4)。

2-2-2 設定投与放射能量（3.7 MBq/kg）

デリバリー投与精度は 4.10 ± 0.44 MBq/kg であった。さらに分注液量は 0.82 mL から 1.51 mL の間となったが, デリバリー投与精度（原液－投与）は液量には依存しなかった (Fig.5)。

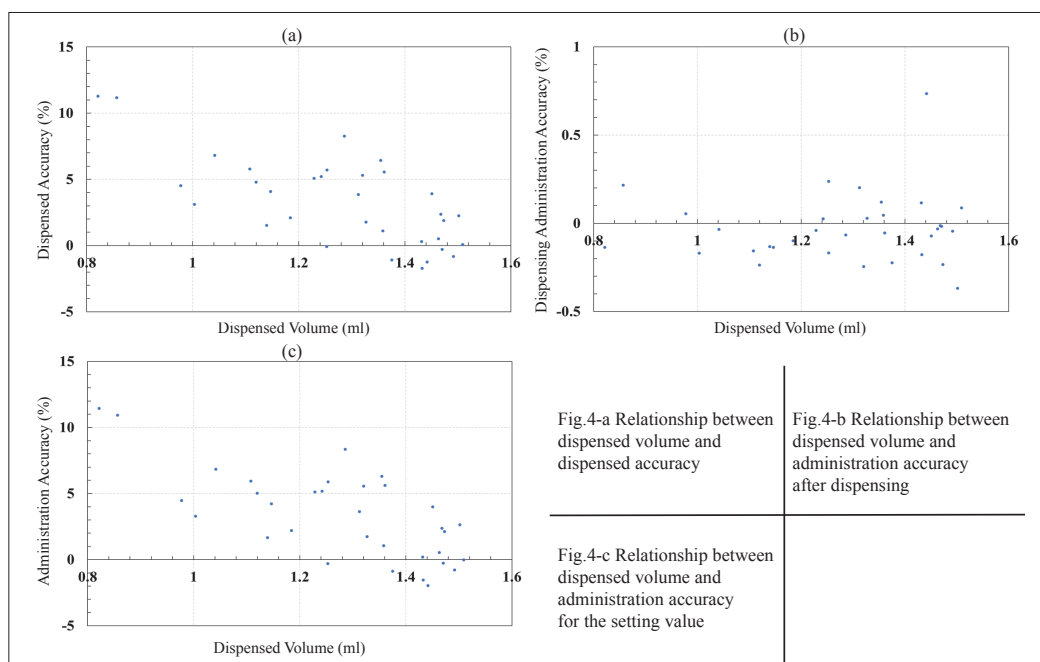


Fig.4 Dispensed accuracy and administration accuracy of delivered FDG

Each accuracy was not dependent on the dispensed volume.

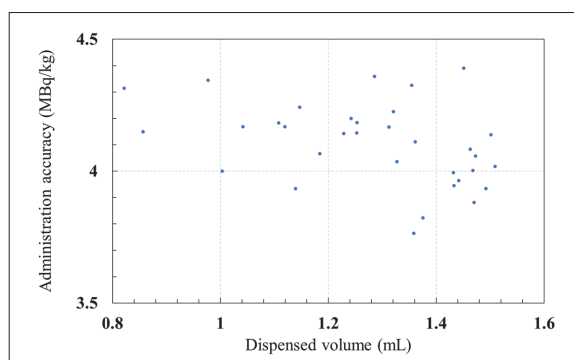


Fig.5 Relationship between dispensed volume and administration accuracy for the setting value of delivered FDG

2-3 分注精度と分注投与精度および投与精度の関係性

Anderson-Darling 検定の結果, 5%有意水準の臨界値 (0.902) に対して, 各統計量は分注精度 (原液-中間) では0.88, 分注投与精度 (中間-投与) では5.7, サイクロ投与精度 (原液-投与) では0.83となり, 分注投与精度 (中間-投与) は正規分布に従わない. このため分注投与精度 (中間-投与) とサイクロ投与精度 (原液-投与) はSpearmanの順位相関係数を用い, 分注精度 (原液-中間) とサイクロ投与精度 (原液-投与) はPearsonのカイ二乗検定を用いた. その結果,

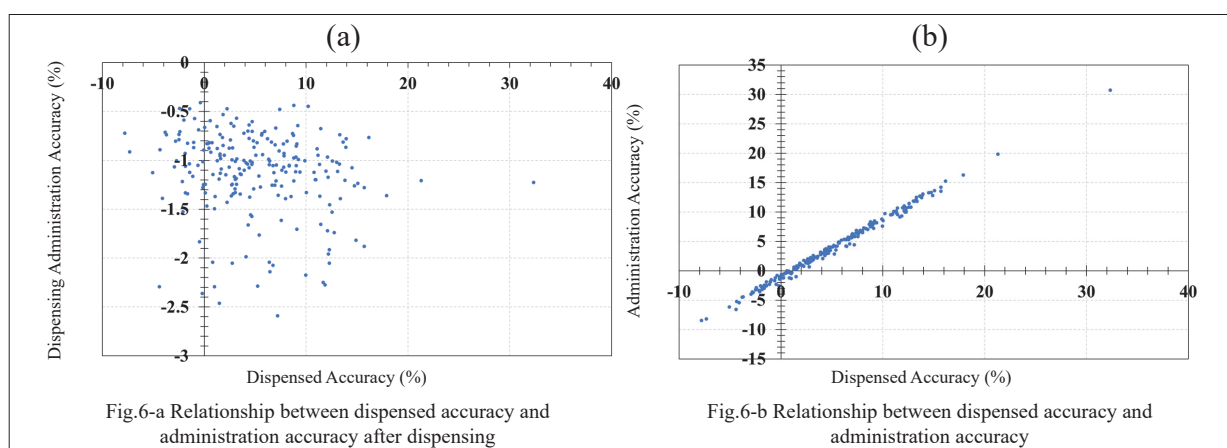


Fig.6 Relationship between dispensed accuracy, administration accuracy after dispensing and administration accuracy

There was no correlation between dispensing accuracy and administration accuracy (Fig.6-a). Dispensing accuracy and dosing accuracy showed a strong positive correlation (Fig.6-b).

分注投与精度（中間-投与）とサイクロ投与精度（原液-投与）は相関係数 $r_s = -0.12$ で $p = 0.064$ と有意差は見られなかった（Fig.6-a）。一方、分注精度（原液-中間）とサイクロ投与精度（原液-投与）は相関係数 $r_s = 0.99$ で、 $p < 0.0001$ と正の相関があり有意差が見られた（Fig.6-b）。

2-4 装填時の原液の放射能濃度

自施設で製造された¹⁸F-FDG溶液の放射能濃度は 1143.8 ± 37.1 MBq/mL、測定時刻は午前8時51 ± 5分であった。

3. 考 察

自施設で製造した¹⁸F-FDGは、時刻により原液の放射能濃度が変化するため、設定した放射エネルギーに対する投与放射エネルギーの精度は分注量に依存する（Fig.2-c）。バイアル分注結果のRI液量 [mL] である分注量とサイクロ投与精度の関係は、液量の減少とともにやや悪化した（Fig.2-c）。分注量が0.3 mL以上の精度保障の範囲内ではサイクロ投与精度（原液-投与）は $2.13 \pm 4.02\%$ であったが、精度保障範囲外では $10.78 \pm 4.55\%$ と悪化した。サイクロ投与精度（原液-投与）は分注精度（原液-中間）が大きく関与することが明らかであった（Fig.6-b）。サイクロ投与精度（原液-投与）は -8.47% から 30.7% と症例により異なった。 30.7% の過大投与となった症例の設定放射エネルギーは 137.3 MBq (3.7 MBq/kg)、投与放射エネルギーは 180.6 MBq (4.87 MBq/kg) であった。その時の分注量は 0.14 mL で、投与時刻は9:14、原液の放射能濃度は 1003 MBq/mL（朝の装填時は 1183.9 MBq/mL）、分注放射エネルギーは 189.9 MBq であり、分注精度（原液-中間）は 32.3% 、分注投与精度（中間-投与）は -1.23% であった。 -8.47% の過小投与となった症例の設定放射エネルギーは 198.7 MBq (3.7 MBq/kg)、投与放射エネルギーは 187.7 MBq (3.50 MBq/kg) であった。その時の分注量は 2.0 mL で、投与時刻は15:15、原液の放射能濃度は 198.5 MBq/mL（朝の装填時は 1142 MBq/mL）、分注放射エネルギーは 193.9 MBq であり、分注精度（原液-中間）は -7.81% 、分注投与精度（中間-投与）は -0.72% であった。上記2つの症例で分注量（ 0.14 mL と 2.0 mL）と分注精度（原液-中間）は違いが顕著であった。一方、分注投与精度（中間-投与）は安定していた（ -1.23% と -0.72% ）。このことと Fig.2 より、これらに分注量に関与しているこ

と、原液からの分注量が精度に影響するのは分注精度（原液-中間）であり、分注投与精度（中間-投与）は中間バイアルの液量に依存しないことが分かった。サイクロ投与精度（原液-投与）は -0.07% と良かった症例の設定放射エネルギーは 237.9 MBq (3.7 MBq/kg)、投与放射エネルギーは 243.8 MBq (3.79 MBq/kg) であった。その時の分注量は 2.14 mL で、投与時刻は14:56、原液の放射能濃度は 111.0 MBq/mL（朝の装填時は 1162.2 MBq/mL）、分注放射エネルギーは 252.1 MBq であり、分注精度（原液-中間）は 0.75% 、分注投与精度（中間-投与）は -0.82% であった。Miyajiらは、本研究で使用した自動分注投与装置（UG-05）を用いて複数回の分注操作を行い、分注精度は -0.13% から 6.37% であったことを報告している⁷⁾。この結果は、分注量が精度保障を下回る 0.26 mL のとき投与精度が 6.37% であったが、放射能濃度が 200 MBq/mL と本研究で使用した1日の検査分の原液の放射能濃度（朝の時点で 1143.8 MBq/mL）とは大きく異なっていた。そのため原液の放射能濃度が高く、かつ分注量が少ない場合の分注精度に大きくバラツキが見られたと考える。分注量が 0.3 mL 以上の場合、自施設で製造した放射性医薬品の分注精度が $\pm 5\%$ を達成したのは約 65% であった。

次に、設定投与放射エネルギー (3.7 MBq/kg) に対する投与精度について、自施設製造のサイクロ投与精度（原液-投与）は 3.98 ± 0.22 MBq/kg であった（Fig.3）。分注量がUG-05の精度保障範囲外である 0.3 mL 以下ではサイクロ投与精度（原液-投与）は 4.23 ± 0.17 MBq/kg であり、 0.3 mL 以上では 3.91 ± 0.18 MBq/kg であった。分注量が 0.8 mL から 1.6 mL であるデリバリー投与精度は 4.10 ± 0.44 MBq/kg であり、自施設製造の投与精度（原液-投与）と比較すると、分注量が 0.8 mL 以下では 4.11 ± 0.17 MBq/kg、 0.8 mL から 1.6 mL では 3.84 ± 0.12 MBq/kg、 1.6 mL 以上では 3.74 ± 0.13 MBq/kg であった。分注量に依存する自施設製造の投与精度は、分注量が 0.8 mL 以下ではデリバリー製剤と有意差は見られなかった ($p = 0.94$)。 0.8 mL 以上の場合には有意差が見られ ($p < 0.0001$)、自施設製造の方が優れていた。以上のことにより、原液の放射能濃度が高い朝の検査では必要となる分注量が少ないために投与誤差も大きくなることが考えられるため、原液の放射能濃度の調整が必要であると考えられる。

本研究の限界の一つとして、実投与量の算出においてUG-05に備わる補正係数を使用した点が挙げられ

る。この方法では、投与ラインの残量（RI残量）の正確な測定ができないため、投与精度が限られる可能性がある。今後の研究では、キュリーメーターを用いて投与ライン中の残量を直接測定することで、より高精度な投与が実現できると期待できる。

4. 結 語

自施設で製造した ^{18}F -FDGの投与において、時刻により原液の放射能濃度が変化することを考慮して、設定した放射エネルギーに対する投与放射エネルギーの精度を検討した。自動分注投与装置（UG-05）において、（原液－中間）および（中間－投与）の工程のうち、投与放射エネルギーの精度に関与するのは原液バイアルから中間バイアルへ分注する精度であり、設定放射エネルギーに対する投与放射エネルギーの精度は原液から分注された液量に依存する。

利益相反

筆頭著者および共著者全員に開示すべき利益相反はない。

謝 辞

本研究に際し、ご協力いただきました京都府立医科大学附属病院放射線技術課の吉野菜織看護師に感謝申し上げます。

なお、本研究の要旨はPETサマーセミナー（2022年、甲府）で発表した。

表の説明

Table 自動分注投与装置（UG-05）の主な技術的特徴

図の説明

- Fig.1 自動分注投与装置（UG-05）の測定および投与過程の構造
5 mlのシリンジを用いて原液バイアルから ^{18}F -FDGが分注され半導体センサーで分注放射エネルギーと分注時刻が測定される。患者へ投与する際、20 mlのシリンジで ^{18}F -FDGが分注され、30 mlのシリンジを用いて生理食塩水で後押しを行う。
- Fig.2 自施設製造の分注精度と投与精度
分注液量が大きくなるにつれて分注精度（Fig.2-a）およびサイクル投与精度（Fig.2-c）は改善した。分注投与精度は中間バイアルに分注された液量に依存しなかった（Fig.2-b）。
- Fig.3 自施設製造の分注液量と設定放射エネルギーに対する投与精度
分注液量が大きくなるにつれて設定放射エネルギーに対する投与精度は改善した。
- Fig.4 デリバリーの分注精度と投与精度
各精度は分注液量に依存しなかった。
- Fig.5 デリバリーの分注液量と設定放射エネルギーに対する投与精度の関係
- Fig.6 分注精度と分注投与精度および投与精度の関係
分注精度と分注投与精度には相関が見られなかった（Fig.6-a）。分注精度と投与精度は強い正の相関を示した（Fig.6-b）。

参考文献

- 1) Fletcher JW, et al.: Recommendations on the use of ^{18}F -FDG PET in oncology. J Nucl Med, 49, 480-508, 2008.
- 2) Jiang C, et al.: Assessment of the prognostic capacity of pretreatment, interim, and post-therapy ^{18}F -FDG PET/CT in extranodal natural killer/T-cell lymphoma, nasal type. Ann Nucl Med, 29, 442-451, 2015.
- 3) 添付文書：放射性医薬品基準フルデオキシグルコース（ ^{18}F ）注射液 承認番21700AMZ00697000.
- 4) Sánchez RM, et al.: Evaluation of an automated FDG dose infuser to PET-CT patients. Radiat Prot Dosimetry, 165, 457-460, 2015.
- 5) 日本核医学会 PET撮像施設認証制度委員会：放射性薬剤自動投与機の精度確認試験手順書。2019.
- 6) 小島巧也, 他： ^{18}F -FDG PET検査における自動分注投与装置の投与精度についての調査。日放技学誌。Vol.77 No.7, 726-730, 2021.
- 7) Miyaji N, et al.: Comparison of 3 devices for automated infusion of positron-emitting radiotracers. J Nucl Med Technol, 45(2), 91-95, 2017.
- 8) 自動分注取扱装置（UG-05）取扱説明書 Ver. 2.22. 株式会社ユニバーサル技研.