

核医学部会誌

CONTENTS

Vol. 47 No.1 (通巻 92) 2026 年 4 月

☆巻頭言

島根大学医学部附属病院 矢田 伸広

☆お知らせ

1. 核医学部会 入会のお誘い
2. SNS の活用について
3. 文献データベース紹介
4. 日本核医学専門技師認定機構からのご案内

☆第 81 回総会学術大会 教育講演発表前抄録

「¹⁷⁷Lu-PSMA を用いた去勢抵抗性前立腺がんの核医学治療:現状と今後の展望」 東北大学大学院 神宮 啓一

☆第 91 回核医学部会ミニシンポジウム

「核医学治療フロンティア — 病室運用からイメージング・線量評価まで」発表前抄録

1. 放射性リガンド療法における特別措置病室運用の実践と最適化 横浜市立大学附属病院 尾川 松義
2. 黒船襲来?! やってきた PSMA-PET 診療 大阪大学医学部附属病院 神谷 貴史
3. PSMA 治療におけるイメージングの役割 福島県立医科大学 宮司 典明
4. Dosimetry の必要性和課題 -核医学医の視点- 北海道大学病院 渡邊 史郎

☆第 89 回核医学部会ミニシンポジウム

「連携のチカラが生む新たな価値 ～研究と技術が拓く社会への貢献～」発表後抄録

1. 医工「連携」から「融合」へ: 理工系研究者の視点から 秋田県立循環器・脳脊髄センター 茨木 正信
2. 産学連携による頭部・乳房用 PET 装置の臨床評価 島津製作所 水田 哲郎
3. 教員が紡ぐ産学医工連携 金沢大学 澁谷 孝行

☆第 90 回核医学部会ミニシンポジウム

「核医学と AI が奏でるハーモニー: 技術と臨床が織りなす新たな調和」発表後抄録

1. RWD サイエンスで加速する心臓核医学 九州大学 河窪 正照
2. 生成 AI による PET 検査の被ばく低減-他分野からの挑戦- 岡山大学 福井 亮平
3. AI 技術を応用した PET 画像再構成の使用経験 旭川医科大学病院 宇野 貴寛

☆Topics

セラノスティクスおよび PSMA 標的治療の現状と展望

ノバルティス ファーマ株式会社 木谷 幸介

☆編集後記

大阪大学医学部附属病院 神谷 貴史

核医学部会からのお知らせ

JSRT では会員カードでの参加履歴記録システムを導入しています。
入門講座・専門講座・部会の参加には会員カードをご持参ください。

核医学技術学の本質と新技術の融合

島根大学医学部附属病院 矢田 伸広

近年、PET 検査や核医学治療を取り巻く環境は、大きく変化しています。新しい PET 検査薬や核医学治療薬が次々と臨床に導入され、核医学は、大きな活気に包まれているように感じます。

核医学技術学は、学術研究における正確な計測と画像化を基盤とし、臨床において正確な検査結果の提供、適切な放射性医薬品や機器の管理、そして安心して検査を受けてもらうことを目的として発展してきました。そのために、画像工学、計測学、シミュレーションなど他分野との融合を重ねながら進化を遂げてきました。画質向上、定量化、QA/QC、標準化といった取り組みは、すべてこの目的に連なるものです。

AI 技術の急速な発展は、核医学においても大きな変化をもたらしています。画像ノイズ低減、画質向上、解析や診断支援など応用範囲は広く、検査や治療の質向上が期待されます。AI 技術は、他分野融合の延長線上にありながら、これまでにない新しい発想をもたらし得る技術です。私は、AI 技術を単なる新技術として受け入れるのではなく、核医学の本質的課題を解決するための手段としてどのように活用するかを考えることが重要だと考えています。これまで核医学技術学が、他分野との融合によって発展してきた歩みを踏まえ、新しい技術を用いて学術的成果を着実に生み出していく必要があります。基盤研究で新たな知見や手法を構築し、それを臨床研究へ展開・検証し、最終的に臨床応用へつなげる。この過程を推し進めることは、我々の重要な役割であり、正確な計測と画像化により臨床に貢献するという本質を忘れず、新しい技術を核医学に融合していくことが大切であると感じています。

しかしながら、現状では AI 技術が臨床核医学にどれほど役立つのか、十分に実感できていないのではないのでしょうか。急速に高まった AI 技術への期待と、臨床応用されるまでの時間との差を感じています。私は、学会活動がこの差を縮めることができる場であると考えています。核医学部会には、核医学技術学を担う人材が集い、多様な視点から議論を交わせるという強みがあります。先進性の高い横断的学術成果を提案・議論し、臨床研究へつなげる。学会への参加は、視野を広げ、気づきとつながりを生み、新たな研究や臨床成果を育みます。こうした交流は、新しいアイデアの源泉であり、核医学技術学の発展へとつながるのではないのでしょうか。

最後に、巻頭言掲載の機会を賜り、誠にありがとうございました。核医学部会が、核医学技術学のさらなる発展と、より質の高い医療の実現に寄与する場であり続けることを心より願っております。

お知らせ

核医学部会 入会のご案内

核医学部会会長 孫田 恵一(北海道大学病院)

平素より公益社団法人日本放射線技術学会核医学部会の活動に対してご支援、ご指導を賜り、会員の皆様に心より感謝し御礼申し上げます。

核医学部会は、日本放射線技術学会の専門分科会として1980年に設立され、今日まで核医学検査技術学の向上を目指す多くの会員により構成されてきました。2015年からは名称を核医学分科会から核医学部会へ変更し、さらに皆様のお役に立てるような企画、運営を目指して活動しております。

日本放射線技術学会は、専門部会への入会を促進するために、2022年3月より **1つ目の専門部会は無料**、2つ目以降は1部会につき1,000円で入会できるようになりました。これまで以上に気軽に入会いただけるようになりました。是非この機会に、周りの皆様にお声がけ頂き、核医学部会への入会をご検討いただければと思います。部会の活動を通じて核医学検査技術を究め、日常の臨床業務、研究活動に活かしていただければと思います。

核医学部会入会のメリット

1. 核医学検査技術に関する最新情報や、臨床に役立つ情報が入手できます
 2. 核医学部会誌の優先閲覧（部会会員は3か月前倒し）ができます
- なお、核医学部会には、学会ホームページにある部会入会申し込みサイトから、いつでもご入会いただけます <http://nm.jsrt.or.jp/index.html>

核医学部会の主な活動

1. 総会学術大会および秋季大会での核医学部会の開催
(教育講演、基礎講演、ミニシンポジウム、技術討論会など)
2. 核医学部会誌（電子版）の発行（年2回）
3. 核医学技術研修会の開催
4. 核医学検査技術関連の叢書の発刊
5. 研究活動の支援（デジタルファントムなどの提供）

JSRT核医学部会【公式】 Facebookのご案内



- ✓ 部会誌やHPよりもいち早く情報をお届け
- ✓ ここだけの情報もあります
- ✓ 写真や画像での情報提供が盛りだくさん
- ✓ 核医学部会に未入会のJSRT会員もフォロー可能



地方支部のお知らせ等も掲載可能
です！ご希望の方は、部会委員ま
でご連絡ください 😊

<https://www.facebook.com/jsrt.nm/>

Please Follow Me !



お知らせ

論文データベースの紹介

学会発表，論文作成をする上で，実験方法や解析結果の妥当性を確認するために類似した過去の研究を調べたいが，時間がない・面倒と思う方は少なくないと思います．MEDLINE や Google scholar, PubMed などの文献検索ツールは豊富にありますが，「リストされる膨大な文献を精査するのは大変．しかも英語だと理解しづらいし・・・」との声も聞かれます．

そこで核医学部会では，研究の初学者向けに核医学技術に関する論文データベースを作成しました．核医学研究をするための核医学論文データベースは核医学部会 HP から無料で閲覧・ダウンロードを可能にしています．是非ご活用ください．

本データベースは部会の専門性を活かして以下の特長があります．

- ・論文の特徴，最新研究，臨床動向との関連性など有用なコメントを付加
- ・英語論文でも，その主たる内容は日本語で解説
- ・核医学（技術・治療）に関する古典から最新技術の基礎まで厳選された論文をリストアップ
- ・文献名，著者名，出典(雑誌)名，キーワード，概要文による検索が可能．

本データベースは核医学部会 HP の論文紹介から無料で PDF を閲覧・ダウンロードすることができます．

現在、厳選した 200 編程の論文を掲載しております。初学者から熟練者まで，会員の皆様の研究活動の一助になれば幸いです．

日本核医学専門技師認定機構からのご案内

日本核医学専門技師認定機構
理事長 對間 博之

2026年度の日本核医学専門技師認定機構の事業日程（予定）についてご案内します。詳細につきましては、随時、機構のホームページにてお知らせしますのでご参照いただき、ご応募いただけますようお願いいたします。

記

1. 第17回 核医学専門技師養成講座（対象：認定試験受験予定者）

開催期間 2026年5月25日（月）～7月30日（木）
実施形式 e-learning
受講料 8,000円（テキスト代含む）
申込期間 2026年3月6日（金）～5月22日（金）

※申し込み・ご入金から受講用URL送付までお時間をいただきますので、受講の際は早めにお申し込みください。

2. 第19回 核医学専門技師研修セミナー（対象：核医学専門技師）

開催期間 2026年4月27日（月）～6月29日（月）
実施形式 e-learning
受講料 11,000円（テキスト代含む）
申込期間 研修セミナー2026年3月6日（金）～7月4日（土）

※申し込み・ご入金から受講用URL送付までお時間をいただきますので、受講の際は早めにお申し込みください。

3. 第21回 核医学専門技師認定試験

開催日 2026年8月1日（土）
会場 東京（順天堂大学）・名古屋（名鉄病院）・大阪（住友病院）
申込期間 2026年4月1日（火）～5月1日（金）
受験料 10,000円

4. 2026年度 核医学専門技師認定更新

対象 第1回、第6回、第11回、第16回の認定試験合格者
（認定者番号：1～242, 420～461, 633～683, 819～856）
申込期間 2026年6月1日～2026年7月31日まで

5. 核医学治療セミナー

e-learning

実地研修

申込期間や参加費については現在調整中です。

6. 核医学専門技師認定機構設立 20 周年記念講演会・祝賀会

開催日 2026年11月21日（土）

会場 ザ・ロイヤルクラシック姫路

申込期間や参加費については現在調整中です。

*上記は、あくまで事業日程（予定）ですので、会場等が変更になる可能性があります。よって、受講希望の方はホームページに掲載される詳細情報をご確認のうえお申込ください。

日本核医学専門技師認定機構（ホームページ：<https://www.jbnmt.org>）

¹⁷⁷Lu-PSMA を用いた去勢抵抗性前立腺がんの核医学治療：現状と今後の展望
Radionuclide therapy for castration-resistant prostate cancer using
¹⁷⁷Lu-PSMA: current status and future prospects

東北大学大学院
神宮 啓一

前立腺特異的膜抗原 (prostate-specific membrane antigen: PSMA) を標的とした放射性リガンド療法 (radioligand therapy: RLT) は、去勢抵抗性前立腺がん (castration-resistant prostate cancer: CRPC) に対する革新的治療として注目されている。特に ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 は PSMA 発現腫瘍に高選択的に集積し、全身病変に対して放射線治療効果が期待され、2025 年に日本でも薬事承認を受けた。

VISION 試験では、標準治療に ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 を加えることで全生存期間 (OS) および画像的無増悪生存期間 (rPFS) が有意に延長し、本治療が後治療ラインの新たな標準となった。さらに TheraP 試験ではカバジタキセルとの比較において、治療効果と毒性プロファイルの観点から PSMA PET を用いた適切な患者選択の重要性が示された。

近年は、RLT のより早期ラインへの導入が国際的に議論されており、PSMAfore 試験がその代表例である。PSMAfore 試験は、タキサン未治療の mCRPC 患者を対象に、アンドロゲン受容体作動薬 (ARPI) 再治療と ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 を比較した第 III 相試験であり、¹⁷⁷Lu-PSMA-617 は主要評価項目である rPFS を有意に改善した。特に PSMA 高発現症例における効果増強が注目され、治療ラインの前倒しによる臨床的利益が期待されている。一方、OS に関してはクロスオーバーの影響が大きく、慎重な解釈が求められる。

本講演では、

- ① PSMA 生物学と RLT の基礎概念、
- ② ¹⁷⁷Lu-PSMA-617 の薬理特性、
- ③ VISION/TheraP を中心とした確立されたエビデンス、
- ④ PSMAfore 試験に示された“早期ライン RLT”の意義と課題、
- ⑤ 治療効果予測と PSMA PET の役割、
- ⑥ 安全性と支持療法、
- ⑦ α線核種 (²²⁵Ac-PSMA)

など次世代治療の展望について概説する。

PSMA 標的 RLT は、核医学・放射線腫瘍学・泌尿器腫瘍学を横断する新しい治療領域であり、多職種連携による最適な治療選択が求められる。本講演を通じ、最新エビデンスに基づく CRPC 治療戦略のアップデートと、本邦における臨床導入の方向性を示したい。

放射性リガンド療法における特別措置病室運用の実践と最適化
Operational Practices and Optimization of Special Isolation Rooms
in Radioligand Therapy

横浜市立大学附属病院
尾川 松義

近年、アルファ線放出核種やベータ線放出核種をはじめとする核医学治療の適応が拡大されている。また、法令が整備され特別措置病室の運用が可能となった。病室管理には、放射線防護、導線設計、廃液・環境線量管理、多職種連携など多面的な要素が含まれ、これらを安全かつ効率よく実施するためには、現場で機能する安全管理マニュアルの整備が不可欠である。その実践においては、病室運用フローの標準化、チェックリストの作成、測定プロトコルの統一、新規スタッフ教育の体系化など、運用改善が必須である。本講演では、特別措置病室の基本要件を整理し、入院前準備から投与当日の業務、退院判定に至るまでの実務ポイントを示すとともに、実際の改善事例を基に、効率化と安全性向上を両立させるための具体的方策を解説する。核医学治療の発展に伴い、病室運用の標準化と継続的改善はますます重要となる。核医学担当者が中心となって構築する運用体制は、治療の質と患者安全を高める重要な基盤となる。

黒船襲来?! やってきた PSMA-PET 診療 Here comes the PSMA-PET examination

大阪大学医学部附属病院
神谷 貴史

2025 年 9 月 19 日付で、「PSMA 陽性の遠隔転移を有する去勢抵抗性前立腺癌」に対する新たな治療が承認された。対象は治療薬としてルテチウムビピボチドテトラキセタン(Lutetium (^{177}Lu) vipivotide tetraxetan: ^{177}Lu -PSMA-617), 診断薬としてガリウムゴゼトチド (Gallium (^{68}Ga) gozetotide: ^{68}Ga -PSMA-11) となるが, ^{68}Ga 標識の放射性医薬品が保険承認されるのは本邦初であるため, 撮像を担う際には物理的特性を ^{18}F と比較して理解することが望ましい。また, PSMA を対象としたセラノスティクスに関しては, 保険承認を目指した治験もいくつか検討されており, ^{64}Cu 標識の放射性診断薬(^{64}Cu -PSMA-I&T)も候補製剤である。

いただいた時間では従前の ^{18}F -FDG で知見が積み重ねられた PET 診断をふまえた PSMA-PET 診療に関して, ^{18}F 標識の放射性診断薬(^{18}F -PSMA-1007, ^{18}F -DCFPyL)を上記の放射性診断薬とともに情報共有し, 新しい核種を用いた PSMA-PET 診断に有用な時間にできれば幸いである。

PSMA 治療におけるイメージングの役割 The Role of Imaging in PSMA-Targeted Radioligand Therapy

福島県立医科大学
宮司 典明

2025 年 11 月に PSMA 標的治療が保険収載され、我が国では多くの施設で運用が始まり、導入準備も進んでいる。PSMA PET イメージングは前立腺癌診療の各段階で重要性が高く、腫瘍が「どこに存在し、どの程度広がっているか」を高い精度で把握できる点が大きな特徴である。特に ^{68}Ga -PSMA PET は再発部位の特定や進展範囲の評価に優れ、治療方針の決定に大きく寄与する。また、 ^{177}Lu -PSMA による targeted radioligand therapy においては、治療適応の判断に不可欠な情報を提供する。さらに、total tumor volume や SUVmean などの定量指標は、治療反応性や予後の推定に有用であることが報告されている。PSMA イメージングを臨床で適切に活用するためには、撮像手順や評価方法の一貫性を確保し、得られた所見を正確に解釈できる体制整備が重要である。本講演では、 ^{68}Ga -PSMA から ^{177}Lu -PSMA までの PSMA 標的治療におけるイメージングの役割と、その臨床的価値について概説する。

Dosimetry の必要性と課題 -核医学医の視点-
The Need for and Challenges of Dosimetry
- From a Clinician's Perspective -

北海道大学病院
渡邊 史郎

核医学によるがん治療の特徴は、腫瘍細胞への選択的な放射線照射により副作用を最小限にして高い抗腫瘍効果を得ることである。ルタテラ®やプルヴィクト®が保険承認され、その臨床使用が広まりつつある。さらに Imaging を利用することで個人の体内動態に合わせた個別化医療が可能になる。しかし、現時点の投与量は固定され、その実現には至っていない。個別化医療を実現させるためには Dosimetry に基づいて、最適な投与量・方法を求める必要がある。ところが、Dosimetry は病変や臓器それぞれの動態をもとに算出するため、経時的かつ定量的なデータが不可欠である。したがって、検査装置による放射線検出そのものから画像処理、Dosimetry の解析方法に至るまで、そのすべての品質管理、標準化、精度向上が達成されなければならず、全職種にわたる努力や各学会や企業のサポートが必要である。本講演では Dosimetry の基本的な現状と必要性、課題について共有し、その発展が加速することを期待する。

医工「連携」から「融合」へ：理工系研究者の視点から

秋田県立循環器・脳脊髄センター 茨木 正信

はじめに

理工系研究者の視点から、多職種連携を考えたい。筆者所属施設の放射線部門には自分を含め数名の理工系研究者も所属し、臨床業務に携わりながら研究活動を行っている。筆者自身は、PET を興味を中心に MR, CT を含めた脳画像研究を行ってきた。理工系研究者が「理工学研究」ではなく「医学研究」を行うには、医師、放射線技師との連携が必要である。研究アイデアを見つけ内容を深めていく過程は、医工「連携」よりは「融合」が適当と考える(図 1)。

“協働のチカラで広がる研究のフロンティア”

シンポジウムのテーマ

- ▶ 多職種連携 ~ 研究の拡がり、深み、新たな視点、論文化

自分が考える「多職種連携」

- ▶ 「理工系研究者」としての自分 → 「理工学研究」
- ▶ 「医学研究」には医師、放射線技師との協働が必須
- ▶ 「理工系研究者」が居なくても「医学研究」は進んでいくが、異なる視点を持ち込むことで、同じ題材から異なる研究テーマが派生される
- ▶ 異なる立場間の「連携」ではなく、同じ題材を扱う「融合」でありたい

図 1 医工「連携」から「融合」へ

本稿では PET 研究紹介を通して、視点が異なる者の協働による研究の発展について考えたい。前半は酸素 15 (^{15}O) ガス PET に関する研究紹介で、協働の重要性が見える例と考える。後半は最新臨床 PET 装置を使った研究紹介であるが、現在進行形であり客観的に多職種連携、協働を語るのは難しく、個人的意見を示すだけになることを予め記しておく。

1. 酸素 15 ガス PET に関する研究

酸素 15 (^{15}O) ガス PET では、主要脳循環パラメータを定量的にマッピングできる(図 2)。閉塞狭窄症例の OEF 上昇は、CBF と CMRO_2 のバランスの崩れを意味し(貧困灌流)、脳卒中再発高リスクとされる。検査施設は世界的には非常に少ないが、日本では保険診療として検査可能であり、現在当施設含め 10 施設程度で検査が行われている。

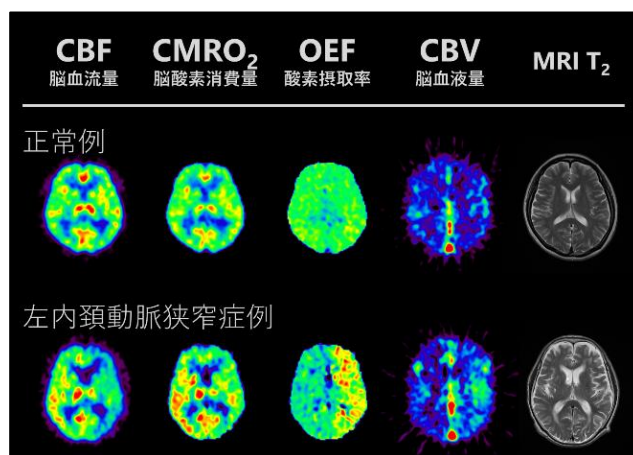


図 2 ^{15}O PET による脳循環酸素代謝検査例

PET 検査の前提は、その物理的定量性である。2000 年代には高感度な 3D 収集が主流となったが、酸素 15 ガス PET には散乱同時計数や視野外放射能起因の偶発同時計数増加など、技術的な問題が存在した。理工系研究者としては物理的評価が最重要で、物理的実験・シミュレーション研究を考えていた。一方、医師、放射線技師はより実践的な検証が必要と考え、新旧 PET 装置による直接比較研究へと進んだ¹⁾。妥当な散乱補正により 3D 収集装置 (^{15}O ガス供給量、被ばく量が 1/4) でも従来同等の定量値が得られることが直接的に示された(図 3)。より実践的な検証により、3D 装置の定量性検証という理工学的な面を持ちつつ、

医学研究として完遂できたと考える。

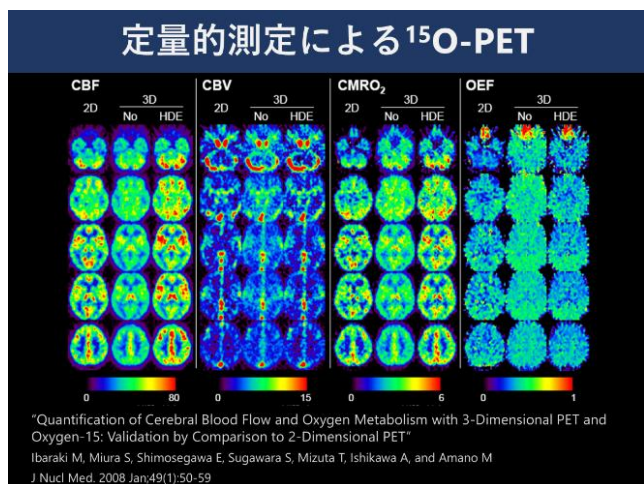


図 3 ^{15}O PET における 3D 収集装置の定量性検証

臨床現場での疑問から研究テーマが見つかる場合もあり、多職種の見点が研究を生む好例と考える。検査後、放射線科医から OEF が高値すぎると指摘があり、放射線技師、自分らが各種確認を行う機会があった。これが契機となり脳循環研究へと進んだ²⁾。CBF と OEF はそれぞれ Hb と逆相関して、その傾きは CMRO_2 が一定になるよう決まる(図 4)。放射線技師や理工系研究者が PET 装置の安定性、定量性を見ている中で、放射線科医の疑問から出てきた研究であった。

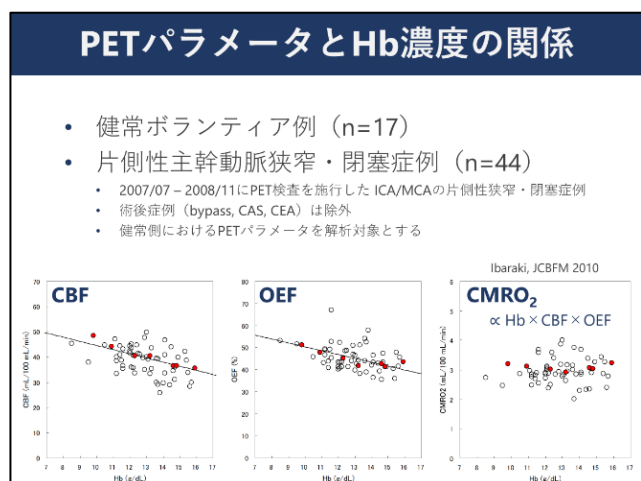


図 4 PET パラメータと Hb 濃度の関係

酸素 15 ガス PET は、他モダリティによる脳循環測定法開発におけるリファレンスという役割もある。MRI による完全非侵襲 CBF 測

定法である動脈血スピラベリング法 (ASL) では、健常人では妥当な CBF マップが得られるものの、血管障害など血流速が遅い状況でアーチファクトが出現する。これに対しアーチファクト低減手法を検討していたが、放射線科医からはむしろアーチファクトを積極的に利用するアイデアが出され、アーチファクトの見え方を関心領域内ボクセル分散で評価する手法を用いた研究へと進んだ³⁾。ボクセル分散が大きいほど灌流圧低下 (PET MTT 延長) が示された(図 5)。異なる視点の他者が加わることで研究の広がりにつながったと感じている。

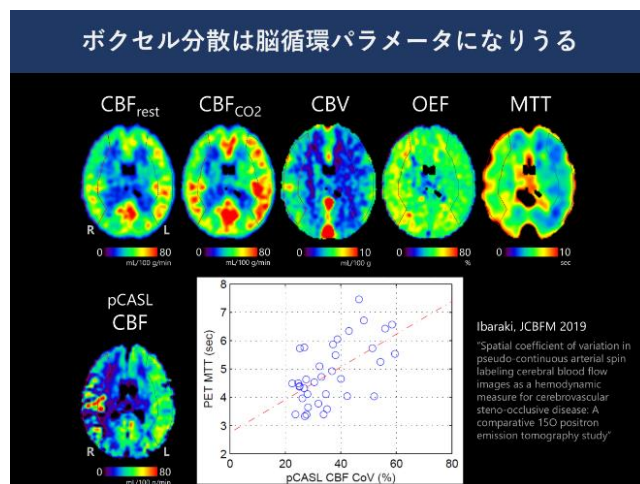


図 5 ASL MRI のボクセル分散は脳循環パラメータ

2. 最新臨床 PET 装置を使った研究

近年の装置性能、特に空間分解能と測定感度の大幅な向上は、新しい応用を拓く。脳 PET を考えると大脳皮質の厚さは約 2~3 mm であり、前世代装置の空間分解能 5~6 mm では不十分であったが、近年は 3 mm 付近の臨床装置が登場している。測定感度も向上し、加えて画像再構成、deep learning 技術の発展により、新しい応用が可能となってきた。当施設における最新臨床 PET 装置 (Biograph Vision) を用いた研究紹介を通して、今回のテーマを考えたい。

健常人の脳 FDG 画像例を示すが(図 6)、再構成条件最適化により高分解能画像が得ら

れる。分解能効果を組み込んだ画像再構成 (PSF 再構成) では、再構成繰り返し数を増加させることで、装置分解能を超えた高分解能画像が生成できる (低ノイズ重視, 低繰り返し数が標準的設定)。MR 画像による大脳皮質と FDG 集積が良く対応している。理工学研究としての興味から、PSF 画像再構成と従来手法である MR 画像ベース部分容積効果補正との比較検討をまとめることが可能であった⁴⁾。

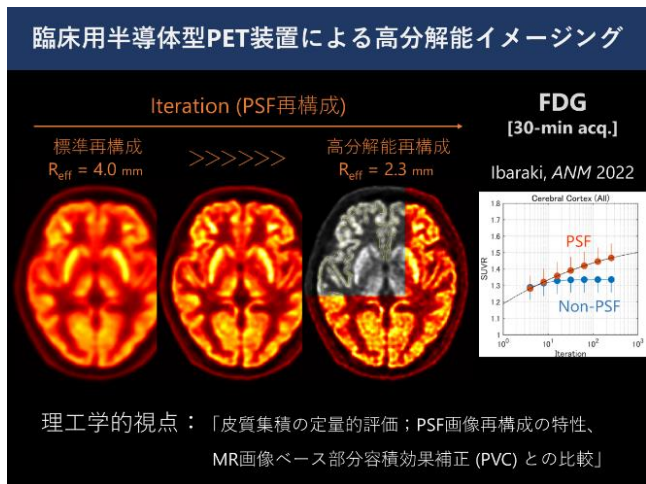


図 6 高分解能臨床 PET 装置による脳 FDG 画像

一方、放射線科医は神経放射線的な視点から、脳幹などの局所 FDG 集積がより興味深いと考え、微小神経核描出のための画像再構成最適化研究へと進んだ⁵⁾。神経核描出が最も良好な再構成条件では、従来装置では明確でなかった FDG 集積が観測され、また FLAIR 低信号部位と非常に良い対応を示す (図 7)。健康人 20 半球の平均画像だけではなく、個人レベル(1 例)画像でも FDG 高集積が視認でき、最新臨床 PET 装置の性能の高さがうかがえる。理工系研究者とは異なる視点で画像を見ることで、新しい研究に繋がった例と考える。

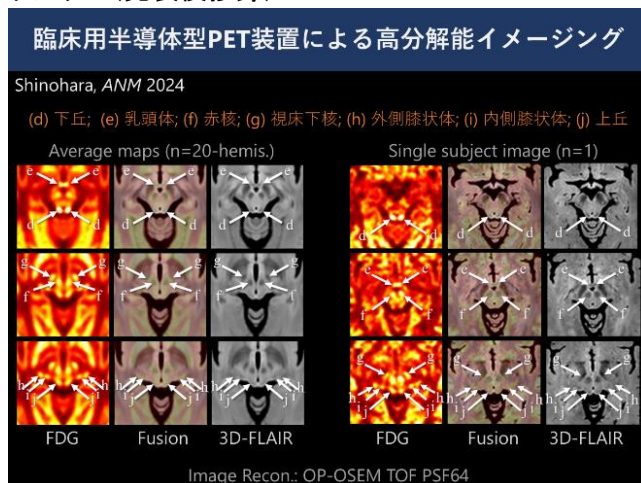


図 7 微小神経核イメージング

酸素 15 ガス PET でも最新装置の性能向上、特に測定感度および計数率特性の向上による恩恵を受ける。低ノイズダイナミック再構成画像により、従来困難であった到達時間マッピングが可能である (図 8)⁶⁾。今後、PET で得られる到達時間情報が臨床的に有効であるかの臨床研究に進むことを期待する。

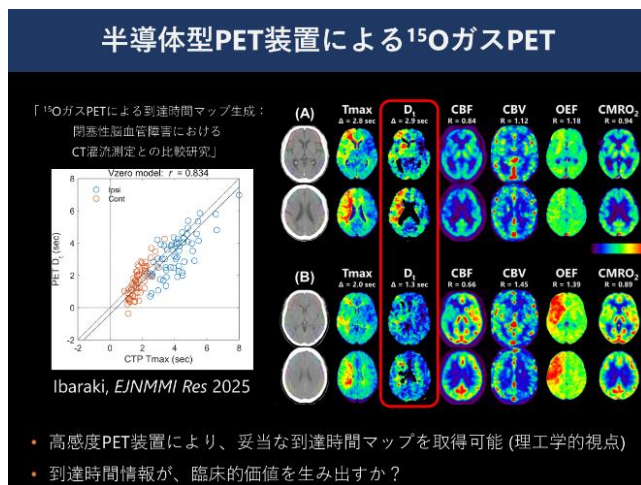


図 8 ¹⁵O ガス PET による到達時間マッピング

おわりに

PET 研究の実例紹介を通して、異なる視点による研究テーマの広がりを目指すことを目指した。筆者の特殊な状況下での研究紹介であるが、読んで頂いた方々の今後の研究活動に少しでも資するものがあれば幸いである。一連の研究は、当施設放射線科メンバー (医師、放射線技師、理工系研究員) に全面的に依存し

ており、また PET 装置メーカーの協力が必要不可欠であったことを記しておく。

参考文献

- 1) Ibaraki M, Miura S, Shimosegawa E, Sugawara S, Mizuta T, Ishikawa A, et al. Quantification of cerebral blood flow and oxygen metabolism with 3-dimensional PET and ^{15}O : validation by comparison with 2-dimensional PET. *J Nucl Med.* 2008;49(1):50-9.
- 2) Ibaraki M, Shinohara Y, Nakamura K, Miura S, Kinoshita F, Kinoshita T. Inter-individual variations of cerebral blood flow, oxygen delivery, and metabolism in relation to hemoglobin concentration measured by positron emission tomography in humans. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2010;30(7):1296-305.
- 3) Ibaraki M, Nakamura K, Toyoshima H, Takahashi K, Matsubara K, Umetsu A, et al. Spatial coefficient of variation in pseudo-continuous arterial spin labeling cerebral blood flow images as a hemodynamic measure for cerebrovascular steno-occlusive disease: A comparative ^{15}O positron emission tomography study. *J Cereb Blood Flow Metab.* 2019;39(1):173-81.
- 4) Ibaraki M, Matsubara K, Shinohara Y, Shidahara M, Sato K, Yamamoto H, et al. Brain partial volume correction with point spreading function reconstruction in high-resolution digital PET: comparison with an MR-based method in FDG imaging. *Ann Nucl Med.* 2022;36(8):717-27.
- 5) Shinohara Y, Ibaraki M, Matsubara K, Sato K, Yamamoto H, Kinoshita T. Visualization of small brain nuclei with a high-spatial resolution, clinically available whole-body PET scanner. *Ann Nucl Med.* 2024;38(2):154-61.
- 6) Ibaraki M, Shinohara Y, Watanabe A, Sato K, Ohmura T, Yamamoto H, et al. Arrival time mapping with ^{15}O -gas PET for cerebrovascular steno-occlusive diseases: a comparative study with CT perfusion. *EJNMMI Res.* 2025;15(1):20.

産学連携による頭部・乳房用 PET 装置の臨床評価(近畿大学様との共同研究)

(株) 島津製作所 水田 哲郎

はじめに

PET は腫瘍イメージングを目的として広く普及しているが、脳疾患の診断に有用とされるトレーサ開発も進められ、アルツハイマー型認知症の原因物質とされるアミロイド β やその神経病理であるタウタンパクを可視化の有用性が認知されるようになってきた。全身 PET は開口径を大きくする必要のあることから空間分解能に原理的に限界があるが、著者らはこの限界を超えるために、検出器に用いるシンチレータサイズを小さく、被写体に検出器を近づけることができる頭部・乳房用 PET 装置 (本 PET 装置) を開発した¹⁾。

本稿では本 PET 装置のプロトタイプを用いた近畿大学医学部・島津製作所の共同研究事例 (2020~2022 年) を報告する。

1. 本 PET 装置のプロトタイプ開発

本 PET 装置の開発着手時には 3 つのコンセプトを掲げ、これらを実現するための検出器構成、頭部撮像モードと乳房撮像モードを切り替える検出器移動機構、ML-ACF 法による減弱補正を開発した²⁾。

頭部・乳房用 TOF-PET の開発コンセプト・課題

① 頭部・乳房両方の検査が 1 台で可能

頭部・乳房の両検査に対応できる開口径・システムデザイン
高価な検出器をチルト・移動させる機構



② 高空間分解能 TOF-PET

Elmammo と同等の空間分解能 (Mini Derenzo)



③ 低被ばく

外部照射を必要としない、ポジショニング・減弱補正

図 1 頭部・乳房用 TOF-PET の開発コンセプト・課題

検出器には小型結晶と半導体受光素子 (SiPM) を組み合わせることで高空間分解能を実現した。

検出器構成

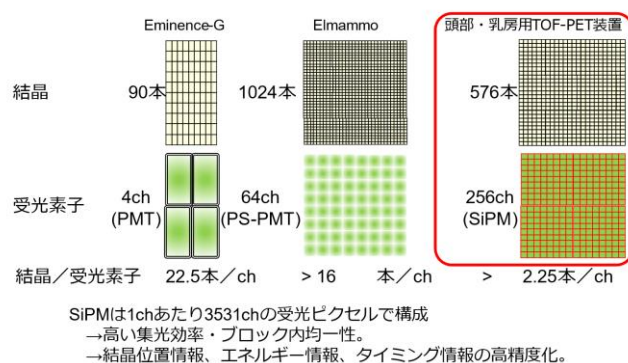


図 2 検出器構成

検出器を 90 度チルトさせる機械制御設計を行い、二種類の撮像モードの切り替えに対応した。

検出器移動機構

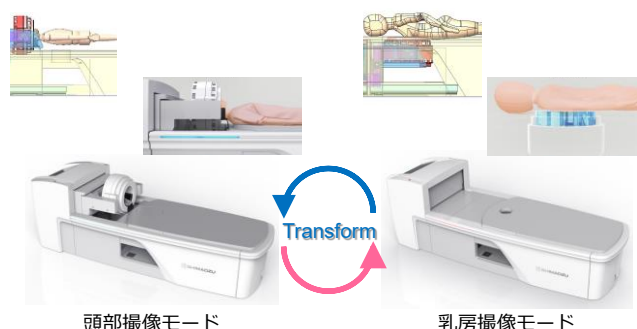


図 3 検出器移動機構

2. 近畿大学様との共同研究

一般的に PET 装置の性能は NEMA 等の物理学的指標値やファントム実験による検証で

示されるが、臨床診断においてどのようなインパクトを与えるかは予測しにくいという課題がある。そこで、本共同研究では、この両面からの検証を行った。

国際性能評価指針 NEMA NU 2 の指針に従い物理性能を評価した結果、高空間分解能を始めとする高い物理性能を有していることを確認した。また小動物 PET を評価する Mini Derenzo ファントムを用いて微小構造描出能を評価した結果、1.6mm の分布を明瞭に分離できることを確認した³⁾。

微小構造描出能の確認

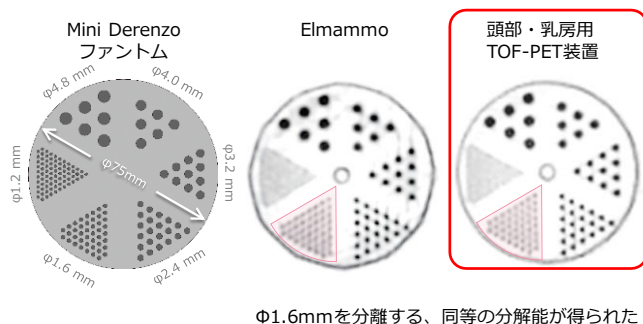


図 4 微小構造描出能の確認

減弱補正法として、CT データや透過データを用いずにエミッションデータのみから不均一吸収体を推定する、ML-ACF に基づく減弱補正を搭載した。本研究の中ではファントム測定による各種パラメータの最適化後の評価²⁾、及びトレーサが異なる場合の減弱補正精度の比較を検証し⁴⁾、良好な結果を得た。

臨床評価に関しては、従来型全身 PET 装置での標準的な撮像プロトコルの後に本 PET 装置での撮像を行い、得られた 2 つの PET 画像を比較することで、新たな知見が得られるかどうかを検討した。その結果、従来型全身 PET では分離が困難であった薬剤分布構造を明瞭に描出し、診断精度の向上に寄与する可能性があることが示唆された⁵⁾。

共同研究概要 (臨床研究実施計画番号 jRCTs052200055)

- 研究課題名
_ 頭部・乳房用 TOF-PET 装置を用いた PET 検査の有用性に関する研究
- 研究の目的と意義
_ 頭部・乳房用 TOF-PET 装置及び従来型の全身用 PET 装置を用いて頭部又は乳房(乳腺・腋高リンパ節)の PET 画像を取得し、両装置で得られた同一被検者に関する PET 画像の比較によって本 PET 装置の画質上昇による臨床的有用性を確認すると共に、全身用 PET 装置では描出されず、本 PET 装置で描出される情報が得られるかを探索する。
- 研究責任医師
_ 近畿大学医学部・放射線医学教室放射線診断学部門 石井一成教授
- 研究期間
_ 2020年9月1日~2022年3月31日



図 5 共同研究概要

研究プロトコル

- 対象
_ 従来型 PET 装置での撮像の適用となる被検者に対して本 PET 装置を用いた撮像の同意を得られた頭部疾患患者 (30症例以上) および乳癌患者 (25症例以上)。
- 方法
_ 従来型 PET 装置での標準的な撮像プロトコルの後に、本 PET 装置での撮像を行い得られた 2 つの PET 画像を比較する。



図 6 研究プロトコル

これらの評価に加え、学会認証基準への適合性の学術的手段での公表⁶⁾や発展的な研究テーマの創出⁷⁾にもつなげることが出来た。

2. まとめ

本臨床評価を通して、臨床研究法に従った特定臨床研究の実施によって、新しいソリューションの有効性を医学・技術の両面から証明し、研究成果として社会に還元していくことができた。また装置を臨床現場でお使いいただく前段階において、臨床的・医学的見地からいただいた助言を反映・評価する取り組みを反復的に実施できたことも大きな成果であったと考える。

まとめ～産学連携による臨床評価の意義～

- ✓ 臨床研究法に従った特定臨床研究の実施
 - ✓ 認定臨床研究審査委員会での審査対応
 - ✓ 病態を有する被検者の協力を得た臨床データの取得
 - ✓ 撮像・画像処理に関する臨牀的・医学的見地からの助言
- ✓ 臨床及び性能等に関する、口演・論文等での公表
 - ✓ 高解像度PET画像の臨牀的有用性の公表
 - ✓ 独自アルゴリズムや学会認証基準に対する証明法の指導
 - ✓ 臨床における減弱補正方法の普遍性の証明と公表

社会課題解決に向けたソリューションの有効性を
医学・技術の両面から証明し、研究成果として還元する

図 7 まとめ～産学連携による臨床評価の意義～

謝辞

本臨床研究の推進にご尽力をいただきました近畿大学医学部 放射線診断学部門 石井一成先生, 甲斐田勇人先生, 外科 乳腺・内分泌部門 菰池佳史先生, 近畿大学高度先端総合医療センター 花岡宏平先生, 渡邊翔太先生, 石川大介先生, 山田誉大先生, 島津製作所の関係各位に深く感謝の意を表する。

また関連学術論文の公表にあたりご助言をいただいた福島県立医科大学 伊藤浩先生, 京都医療科学大学 松本圭一先生にも心より御礼申し上げる。(研究実施時点の所属を記載)

参考文献

- 1) 山川 善之, 大谷 篤, 宇田川 晴英, 他. TOF-PET 装置 BresTome™ の性能評価と画像の視覚評価. 島津評論 2021; 78 (3・4): 169-176.
- 2) Mizuta T, Kobayashi T, Yamakawa Y, et al. Initial evaluation of a new maximum-likelihood attenuation correction factor-based attenuation correction for time-of-

flight brain PET. Ann Nucl Med. 2022; 36:420-426.

- 3) Morimoto-Ishikawa D, Hanaoka K, Watanabe S, et al. Evaluation of the performance of a high-resolution time-of-flight PET system dedicated to the head and breast according to NEMA NU 2-2012 standard. EJNMMI Phys. 2022; 16:9(1):88.
- 4) Yamada T, Hanaoka K, Morimoto-Ishikawa D, et al. Crossover evaluation of time-of-flight-based attenuation correction in brain 18F-FDG and 18F-flutemetamol PET. Ann Nucl Med. 2025; 39:189-198.
- 5) Ishii K, Hanaoka K, Watanabe S, et al. High-resolution silicon photomultiplier time-of-flight dedicated head PET system for clinical brain studies. J Nucl Med. 2023; 64:153-158.
- 6) Mizuta T, Yamakawa Y, Minagawa S, et al. Attenuation correction for phantom tests: an alternative to maximum-likelihood attenuation correction factor-based correction for clinical studies in time-of-flight PET. Ann Nucl Med 2022; 36:998-1006.
- 7) Kobayashi T, Shigeki Y, Yamakawa Y, et al. Generating PET Attenuation Maps via Sim2Real Deep Learning-Based Tissue Composition Estimation Combined with MLACF. J Digit Imaging. Inform. med. 2024; 37:167-179.

教員が紡ぐ産学医工連携

金沢大学医薬保健研究域保健学系量子医療技術学講座 澁谷 孝行

1. はじめに

大学構内に核医学施設を有さない大学において、臨床および基礎研究を継続するためには、産学医工連携が必要不可欠である。本学では、核医学施設が学内に存在しない制約のもと、附属病院との医療連携、企業との産学連携および異分野との医工連携を活用することで、研究活動を展開している。本稿では、本専攻が紡ぐこれら三つの連携体制とその具体的な研究成果について述べる。

2. 医療連携

本学は隣接地に附属病院があり、SPECT-CT装置 3 台および SPECT 装置 2 台が導入されている。これらの装置を活用し、医師および診療放射線技師との協力体制のもと、臨床および基礎研究を実施している。これまで企業との共同研究も実施しており、いくつかの成果を挙げている。新装置導入時などが共同研究の好機であり、本専攻も積極的に参画してきた。本稿ではその一部を紹介する。

Siemens 社とは IQ・SPECT の ^{201}Tl 心筋血流 SPECT の収集および画像再構成条件の最適化と臨床検証を実施し、その成果を報告した¹⁻⁵⁾。その後、 ^{123}I へ展開し有用性を評価した⁶⁾。さらに、IQ・SPECT で planar 像が撮像できない課題に対し、SPECT 像からの疑似 planar 像とファントムキャリブレーションによる定量アルゴリズムを開発した⁷⁾。これらは、多職種連携により実現した。現在はその延長線上で、新しい多焦点コリメータである SMARTZOOM high resolution extended (SZHRX) コリメータを用いた脳および心筋 SPECT 研究が進行中で、成果を積極的に発信している。また、近隣研究会参加を通じ、学内

外とのネットワークで共同研究も進めており、いくつかの成果を報告した^{8,9)}。

3. 産学連携

大学教員にとって企業との共同研究は重要なステータスとなる。企業連携は学外研究者からの誘いや紹介、本学の実績を基にした打診で実現する。その一例が EIZO 株式会社との共同研究で、石川県本社という近接性も寄与し契約に至った。EIZO 社とは color standard display function (CSDF) と従来の gray-scale standard display function (GSDF), $\gamma 2.2$ を比較し、脳血流・心筋血流 SPECT 診断能への影響を視覚評価で証明した¹⁰⁾。

ファントム開発では企業の工学的視点が重要である。2016年の小動物用 SPECT-PET/CT 導入でニーズが生じ、北陸イーピー社と共同で安価・高精度な小動物用心筋ファントムを製作した(図 1)。他社よりも 1/5 のコストで、心臓・肝臓・胆嚢模擬や再現性を改善し、その研究の一部は科研費獲得へとつながった¹¹⁾。



図 1 小動物用心筋ファントム

4. 医工連携

本学工学部の研究室と共同で生成 AI に関する共同研究や AI による臓器セグメンテーションに関連する研究を進めている。これらは、現在継続中であるが、AI 技術を用いて、

短時間収集画像の画質改善や臓器の自動 ROI および VOI 設定技術 (図 2) などに取り組んでいる¹²⁾。これらの研究は、医工それぞれの知識不足を補完しつつ、一つの成果に向け取り組みを続けている。

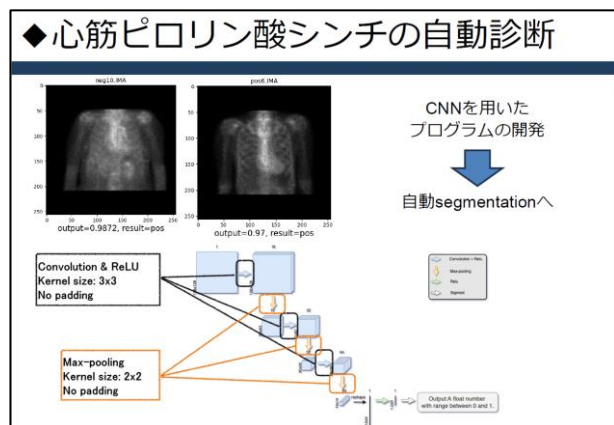


図 2 H/CL 比計測のための自動 ROI 設定

5. 終わりに

本稿では、産学医工連携の経緯と取り組みを紹介した。教員が紡ぐこの体制は、限定資源下での高度研究に不可欠であり、今後も継続し研究フィールドを広げたい。本講演の機会を与えていただいた核医学部会諸先生方に厚く御礼申し上げます。

6. 謝辞

本稿で紹介したデータにご協力いただきました金沢大学の小野口昌久氏、中嶋憲一氏、萱野大樹氏、渡辺悟氏、米山寛人氏、小西貴広氏、今村幸祐氏、張嘉樹氏、元倉敷中央病院の長木昭男氏、浜松赤十字病院の坪井孝達氏、新潟医療福祉大学の市川肇氏、Siemens Healthineers の清水威志氏、Hans Vija 氏、Francesc Massanes 氏、GE Healthcare Japan の菅野貴之氏、北陸イーピー社の明栄一郎氏、EIZO 株式会社の斉藤慎治氏、伴場裕介氏に厚く御礼申し上げます (順不同・敬称略)。

参考文献

- 1) Shibutani T, Onoguchi M, Yoneyama H, et al. Characteristics of single- and dual-photopeak energy window acquisitions with thallium-201 IQ-SPECT/CT system. *Ann Nucl Med.* 2017; 31: 529-535.
- 2) Konishi T, Nakajima K, Okuda K, et al. IQ-SPECT for thallium-201 myocardial perfusion imaging: effect of normal databases on quantification. *Ann Nucl Med.* 2017; 31: 454-461.
- 3) Yoneyama H, Shibutani T, Konishi T, et al. Validation of Left Ventricular Ejection Fraction with the IQ-SPECT System in Small-Heart Patients. *J Nucl Med Technol.* 2017; 45: 201-207.
- 4) Nakajima K, Okuda K, Momose M, et al. IQ-SPECT technology and its clinical applications using multicenter normal databases. *Ann Nucl Med.* 2017; 31: 649-659.
- 5) 澁谷孝行, 小野口昌久, 船山理沙, 他. ²⁰¹Tl 心筋 SPECT における多焦点コリメータを用いた散乱・減弱補正と画像再構成条件の最適化. *日放技学誌.* 2015 ; 71 : 1103-1112.
- 6) Shibutani T, Onoguchi M, Yoneyama H, et al. Characteristics of iodine-123 IQ-SPECT/CT imaging compared with conventional SPECT/CT. *Ann Nucl Med.* 2019; 33: 103-111.
- 7) Shibutani T, Nakajima K, Yoneyama H, Konishi T, Okuda K, Onoguchi M, Kinuya S. The utility of heart-to-mediastinum ratio using a planar image created from IQ-SPECT with Iodine-123 meta-iodobenzylguanidine. *J Nucl Cardiol.* 2021; 28: 2569-2577.
- 8) Sugiura A, Shibutani T, Onoguchi M, et

- al. Relationship between physical parameters and visual analysis for assessment of image quality: a multi-center and multi-vendor phantom study in brain SPECT. *Asia Ocean J Nucl Med Biol.* 2025; 13(1): 42-52.
- 9) 澁谷孝行, 村川圭三, 木村徹, 他. ガンマカメラにおける日常点検の現状. *核医学技術.* 2010 ; 30 : 193-201.
- 10) Shibutani T, Onoguchi M, Yoneyama H, et al. Impact of calibration methods for color medical displays on interpreting brain SPECT images. *Med Phys.* 2019; 46: 2580-2588.
- 11) Shibutani T, Onoguchi M, Kanno T, et al. Development of a novel small-animal myocardial phantom can evaluate the image quality of dual-isotope simultaneous acquisition (DISA). *Ann Nucl Med.* 2022; 36: 1031-1038.
- 12) Zhang J, Imamura K, Shibutani T, et al. Deep Learning-Based Classification of Planar ^{99m}Tc Pyrophosphate Scintigraphy for the Diagnosis of Cardiac Amyloidosis. *The 10th International Conference on Image, Vision and Computing.* 2025; 88-92.

RWD サイエンスで加速する心臓核医学

九州大学 河窪 正照

はじめに

近年, 日々の診療で生じる医療情報である **real-world data (RWD)** を, 単なる個人記録として埋没させることなく, 次世代の医療に活用することの重要性が強く認識されている. 膨大なデータから有益な知見を創出するデータサイエンスは, この鍵として期待される技術である. 一方で, 多くの臨床研究者や医療従事者にとって, データサイエンス技術の習得は高い壁に感じられることが多く, 思うように **RWD** の活用が進んでいない現状がある.

低侵襲に客観的な生体情報を得られる画像検査は, 心筋症においても重要な役割を担っている. 心臓核医学検査 (SPECT あるいは PET) は, 心筋血流 (MBF)に加えて, 負荷耐容能を意味する血流予備能 (MFR)の視覚化と定量化が可能な唯一の保険適応検査として, 国内だけでなく世界的にも広く実施されている. つまり, 心臓核医学検査で得られる SPECT や PET の画像情報は, データサイエンスとの親和性が高い魅力的な RWD であると考えられる. 本稿では, 心臓核医学領域における RWD サイエンスに基づく臨床研究の成果を示し, 次世代の心臓核医学の展望を述べる.

1. PET による心筋ストレイン解析

虚血心筋では虚血部の局所的な心筋運動機能が低下することが報告されているものの¹⁾, これまでは PET 画像の空間分解能や時間分解能の限界によって心筋の運動機能評価は左室容量計測に基づく左心室駆出率に限定されてきた. しかし, 近年の PET 装置では, **time-of-flight** システムの技術向上によって鮮明な心電図同期像が得られるようになった.

心筋の局所運動機能の評価には超音波検査やMRI検査によるストレイン解析が広く用いられている. 我々はこれまでに, 高画質な PET の心電図同期像からテンプレートマッチングアルゴリズムに基づく **feature-tracking** 処理によって, 心筋ストレインを計算するコンピュータプログラムを開発し, 臨床研究に応用してきた²⁾. この研究成果は, 米国心臓核医学会(ASNC)の 2022 年における **Best Technical Paper Award** に選出され, 1 度の PET 検査で, 従来の心筋虚血評価に加えて局所心筋運動評価が可能となることを期待させる技術として注目されている³⁾. さらに, 心臓核医学検査の大きな利点である安静時と負荷時のデータセットを最大限活用し, 安静時に対する負荷時のストレイン値と MFR とを組み合わせた **myocardial energy (ME)**を定義し, **major adverse cardiac event (MACE)**の予測能を検討した (図 1).

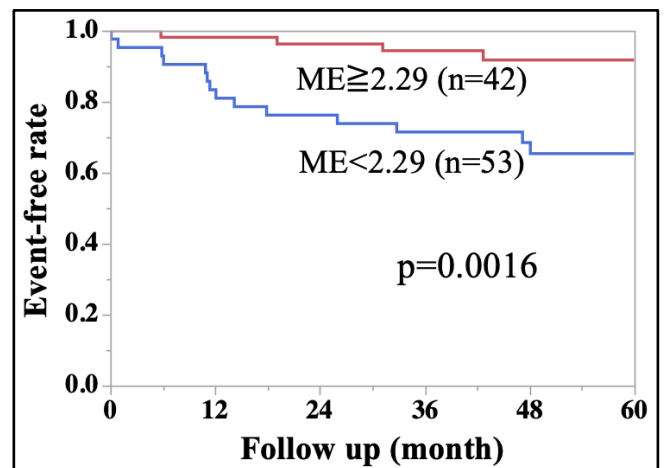


図 1

本後ろ向き研究では 95 名の心疾患患者を対象とし, ME のカットオフ値 2.29 により MACE 発生群を層別化できることを報告した. また, 約 400 例を対象とした後ろ向き研究では, 右室心筋の長軸ストレイン比が⁴⁾, MACE のリ

スク層別化の独立因子であることも報告している⁵⁾。我々の開発したストレイン解析法は、拡張末期において任意の心筋領域を設定するだけで実行可能な半自動解析であり、再現性が高いだけでなく、同一患者における MRI によるストレイン値との高い一致性も示されている^{6, 7)}。

2. 深層学習による SPECT 減弱補正

SPECT は非侵襲的に局所心筋の虚血を検出することが可能であり、米国心臓協会 (AHA) の 17 セグメントモデルに応じたポーラーマップ表示によって、虚血の責任冠動脈病変を同定することができる。しかしながら、主に下壁領域において観察される偽虚血症像によって、虚血診断の特異度が低いことが依然として臨床の課題であった。一方で ¹³N アンモニアをトレーサーとする PET 検査は、偽虚血を生じない高空間分解能の画像データが得られるため、虚血診断のリファレンススタンダードとして位置付けられている。しかし、10 分と短半減期の各種である ¹³N-ammonia を PET 検査に用いるためには、自施設で高額なサイクロトロンを運用する必要があるため、実施可能な施設に限られ、普及が進んでいないのが現状である。

そこで我々は、同一者の SPECT および PET の画像データを深層学習することで、SPECT 画像を仮想的に PET 画像に変換するモデルを開発した⁸⁾。この後ろ向き研究では、SPECT および PET の両検査が実施された 71 人の患者を対象とした。SPECT-to-PET モデルは、敵対的生成ネットワークを用いて、31 症例の SPECT および PET 画像ペアを用いた学習データセット (負荷: 979 画像ペア, 安静: 987 画像ペア) および検証データセット (負荷: 421 画像ペア, 安静: 425 画像ペア) で構築された。また、残りの 40 例で SPECT-to-PET モデルの画像変換性能を評価した。図 2 は、AHA17 セグメント領域における PET の %uptake 値

に対する、SPECT および仮想 PET の %uptake 値の差を示している。

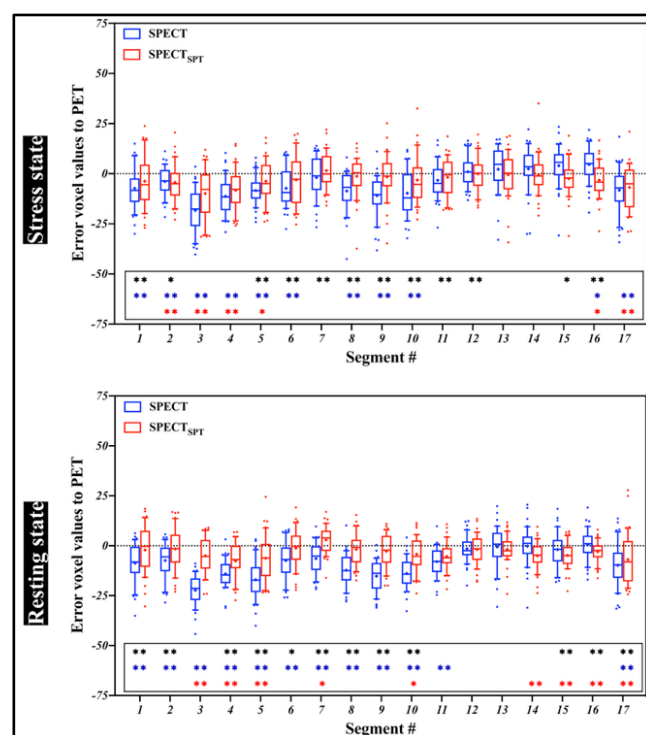


図 2

下壁領域に相当するセグメント#4 や#10 において観察される、PET に対する SPECT の %uptake 値の過小評価 (青) が、仮想 PET (赤) では改善していることが確認できる。さらに読影に基づく虚血スコアリングにおいても、SPECT では PET よりも有意に高スコアであった下壁領域の summed stress score (SSS) および summed rest score (SRS) が、仮想 PET では PET と同等に補正されることも示した。

まとめ

本稿では、PET による心筋ストレイン解析および深層学習を用いた SPECT 減弱補正に関するコンピュータ解析技術を紹介した。

心筋ストレイン解析のアルゴリズムは、MRI で用いられている feature-tracking 法を応用したものである。筆者自身の診療放射線技師としての経験に基づけば、日本の診療放射線技師は RWD サイエンスを実践しやすい

恵まれた環境にあると考えている。日常診療において多様な画像検査に関与できる環境を活かすことで、モダリティに依存せず統合的に活用可能な画像解析手法を発想・実装することが可能であり、これは医療の進歩に貢献し得る大きなやりがいである。さらに、深層学習による SPECT 減弱補正技術は、SPECT 検査と PET 検査が同一施設で実施されたという、まさに RWD の活用に基づく研究である。

核医学画像は、特異的集積に基づく放射能分布を反映しており、背景信号が少ないという特徴を有するため、コンピュータ処理との親和性が高い。また、放射能集積は人体の生理機能や病態に基づいていることから、説明可能性の高い有力な特徴量を抽出しやすい。すなわち、核医学検査情報はデータサイエンスの対象として極めて適していると筆者は考えている。データサイエンス技術は、自身のアイデアを具現化するための有効な手法の一つであり、RWD は本部会員の多くが比較的容易にアクセス可能な、アイデア検証に適した情報源である。本稿が、RWD サイエンスを基盤とする核医学研究のさらなる加速の一助となることを願う。

謝辞

本研究にご協力いただきました東京女子医科大学画像診断学・核医学講座および循環器内科諸氏、並びに同大学病院放射線部諸氏に深く感謝致します。

本研究は、JST AIP 加速課題 (JPMJCR25U3), JST ACT-X (JPMJAX21A7), JSPS 科研費 (JP20K16729) の支援を受けたものです。公益財団法人福田記念医療技術振興財団ならびに公益財団法人中谷財団より研究助成を賜りましたことを心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Konstantinos Stathogiannis, Victor Mor-Avi, Nina Rashedi, et al.: Regional myocardial strain by cardiac magnetic resonance feature tracking for detection of scar in ischemic heart disease. *Magnetic Resonance Imaging* 2020;68:190-196.
- 2) Kawakubo M, Nagao M, Yamamoto A, et al. ^{13}N -ammonia positron emission tomography-derived endocardial strain for the assessment of ischemia using feature-tracking in high-resolution cine imaging. *J Nucl Cardiol*. 2022;29(5):2103-2114.
- 3) Spinelli L. Left ventricular strain analysis by positron emission tomography: Beyond myocardial perfusion. *J Nucl Cardiol*. 2022;29(5):2115-2118.
- 4) Kawakubo M, Nagao M, Yamamoto A, et al. ^{13}N -ammonia PET-derived right ventricular longitudinal strain and myocardial flow reserve in right coronary artery disease. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2022;49(6):1870-1880.
- 5) Yamamoto A, Nagao M, Kawakubo M, et al. Risk Stratification Using Right Ventricular Longitudinal Strain Ratio Derived from ^{13}N -Ammonia PET in Patients with Ischemic Heart Disease. *Radiol Cardiothorac Imaging*. 2024;6(3):e230298.
- 6) Kawakubo M, Nagao M, Kikuchi N, et al. ^{13}N -ammonia positron emission tomography-derived left-ventricular strain in patients after heart transplantation validated using cardiovascular magnetic resonance feature tracking as reference. *Ann Nucl Med*. 2022;36(1):70-81.

- 7) Katahira M, Fukushima K, Endo K, et al.
Feasibility of position emission tomography derived endocardial wall strain: direct comparison with magnetic resonance using hybrid ^{13}N ammonia PETMR system. *Ann Nucl Med.* 2025;39(3):285-294.
- 8) Kawakubo M, Nagao M, Kaimoto Y, et al.
Deep learning approach using SPECT-to-PET translation for attenuation correction in CT-less myocardial perfusion SPECT imaging. *Ann Nucl Med.* 2024;38(3):199-209.

生成 AI による PET 検査の被ばく低減-他分野からの挑戦-

岡山大学 福井 亮平

はじめに

陽電子放出断層撮影法 (Positron Emission Tomography: PET) は核医学検査の一種であり, 国内では 2-deoxy-2 [F-18] fluoro-deoxy glucose (^{18}F -FDG) を投与薬剤とした検査が広く実施されている. FDG-PET では減弱補正 (Attenuation Correction: AC) を目的として, 同時に Computed Tomography (CT) も撮影されている. CTAC は非常に簡便かつ正確な減弱補正を実現しているが, CT を追加撮影することにより患者の被ばくは増大する問題を抱えている. 本シンポジウムでは, 長い間, 別の部署で撮影業務や研究を行っていた私が核医学検査室の配属になり, PET 検査の被ばく低減について取り組んだ試みを紹介した. なお, 本記事で紹介する研究内容は日本放射線技術学会誌に掲載された内容である¹⁾.

1. 核医学研究テーマとの出会い

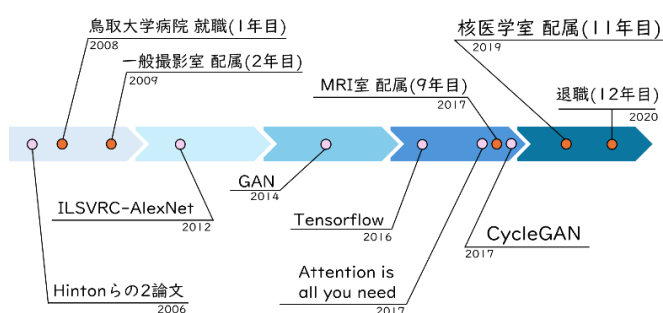


図 1 配属年表と深層学習の発展

私は 2008 年 3 月に岡山大学を卒業して, 同年 4 月に鳥取大学医学部附属病院の放射線部へ診療放射線技師として入職した (図 1). 就職 1 年目では当直業務を目指した研修を行っていたが, 2 年目から一般撮影室配属となり, その後, 9 年目で MRI 室配属になるまで撮影室配属であった. したがって, 業務だけでなく

研究についても一般撮影系のテーマに取り組んでいた. しかし, 11 年目で初めて核医学検査室の配属となり, 結果的に 1 年間だけ核医学検査を担当することになった.

配属当初, まずは PET 検査を担当することになり, 学生時代以来の PET 検査について勉強することになった. PET 検査の研修が始まって初めて気づくことになったのは, PET 検査内で CT 撮影が多いことであった. 図 2 は当時の鳥取大学病院における PET 検査の protocols である. まず全身 PET を撮像し, 同じ範囲で CT を撮影する. さらに, 追加で胸部だけの CT を撮影する. PET 検査で胸部 CT を撮影する施設は少ないかもしれないが, 鳥取大学病院では他の画像検査を行わずに PET 検査を実施する症例があり, 胸部 CT の撮影がルーチン化していた. また, 後期相も積極的に撮像しており, その際も撮影範囲に合わせた CT を追加撮影していた. 1 検査で最大 3 回の CT 撮影があり, この撮影を削減できないかということが研究テーマに繋がった.

- 早期相 -



- 後期相 -



図 2 PET 検査の protocols

2. 深層学習と CycleGAN

人工知能研究は 1950 年代から行われているが, 2 度のブームと 2 度の冬の時代を経て, トロント大学の Geoffrey. E. Hinton らが 2006 年に発表した論文により深層学習の有用性が周知された. さらに, 同じくトロント大学のチ

ームが画像認識の大会 ILSVRC2012 で圧勝したことで 3 度目のブームに突入し、これが現在まで続いている。その後、2014 年に Ian Goodfellow が敵対的生成ネットワーク (GAN) を発表、2016 年に Google が Tensorflow を発表するなど、今でも活用されているモデルやツールが発表されてきた。そんな中、2017 年に GAN を発展させた CycleGAN が発表され²⁾、その性能の高さが注目された頃が、ちょうど私が核医学の研究テーマに取り組むタイミングと合致した。

3. 研究テーマの設定

PET 検査において CTAC を目的として CT を撮影する場合、患者の被ばくは補正だけを目的とした低線量撮影で 1.4~3.5 mSv、診断にも活用できるノイズレベルでは 10 mSv 程度とされ³⁾、被ばくを増大させている。そこで、CTAC 前の PET 画像から CycleGAN を用いて疑似的に CT 画像を生成し、この疑似 CT で CTAC することで CT レスな PET 検査構築を目標とした (図 3)。

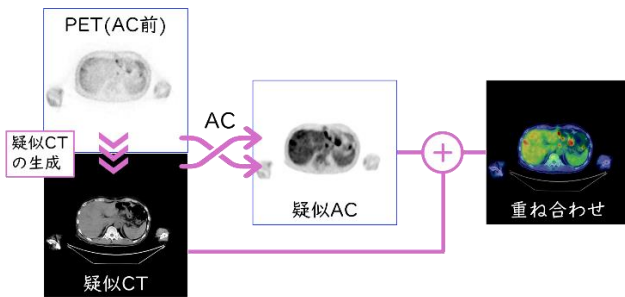


図 3 研究のフローチャート

4. 開発環境

開発環境としたコンピュータのスペックは、OS : Windows 10, CPU : Core i7-7820X, GPU : GeForce GTX 1080Ti, RAM : 64 GB であった。深層学習モデルの実行はオープンソース統合環境である Anaconda 環境下の Jupyter Notebook を用いた。記述言語は Python, 深層学習フレームワークに PyTorch を用いた。

5. CycleGAN

CycleGAN の学習プロセスを図 4 に示す。オリジナルの GAN では生成器 (Generator) と識別器 (Discriminator) と呼ばれる 2 つのネットワークが存在し、これらが競合して学習することで、精度の高い教師なし学習を実現している。一方、GAN の派生モデルである CycleGAN では生成器と識別器が 2 対存在する。相互のドメインを変換したい画像を入力すると、これらが生成器を通してドメイン変換されて出力される。これを入力 (正解) 画像と比較し Adversarial Loss と呼ばれる損失を出力し、これを小さくする方向へ学習が進められる。また、ドメイン変換された画像を、さらに生成器によりドメイン変換前の画像へ変換し正解画像と比較することで Consistency Loss を計算する。加えて、正解画像から正解画像へ変換することで Identity Loss を算出し、ドメイン変換しない部分の特徴を維持できるようにすることで、高い生成精度を担保している。

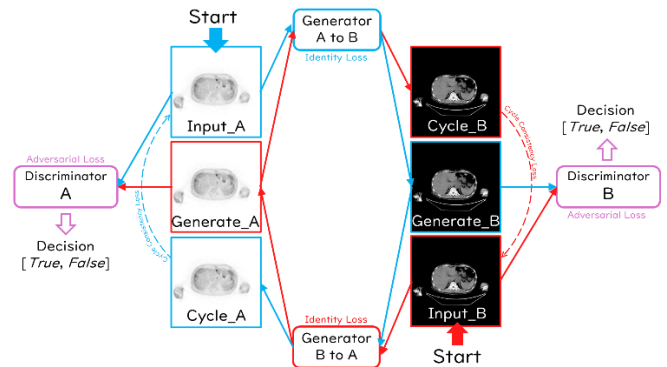


図 4 CycleGAN の模式図

6. 学習用データとアウトライン

モデルの学習用のデータは、鳥取大学病院で 2019 年 5 月~6 月に診療を目的として PET 検査を実施した 56 症例を用いた。内訳は男性 36 例、女性 20 例 (72.0±16.0 歳) である。平均投与量は 230.2 MBq であった。使用した PET/CT 装置は GE 社の Discovery MI-DR である。これらの症例から実際に撮影された CT 画像 (real_CT)、減弱補正前の PET 画像

(noac_PET), 補正後の画像 (real_PET) を取得した. これを訓練用, 検証用, テスト用に分け, 画像数はそれぞれ約 15,000 枚, 約 1,500 枚, 300 枚となった. なお, 臨床画像の使用については鳥取大学医学部倫理審査委員会の承認を得た (承認番号 19A062).

疑似的な CT 画像 (pseudo_CT) の生成からこれを使用した減弱補正 (pseudo_PET) を得るまでのアウトラインを図 5 に示す. 入力画像は 8 bit の Jpeg 画像へ変換した. また, PET と CT 画像ではマトリクスサイズが異なったため, 128×128 ピクセルにリサイズした. これらを CycleGAN モデルへ入力し, 最適化したハイパーパラメータで学習を行った. 学習済みのモデルへテスト用画像を入力し, pseudo_CT を得た. これを 512×512 ピクセルへリサイズ, CT 値の補正を行い, DICOM ヘッダを付けることで DICOM 形式の画像とした. この pseudo_CT を PET/CT 装置のコンソールへインポートし, noac_PET 画像の減弱補正を行うことで pseudo_PET を得た.

生成された pseudo_CT や pseudo_PET を評価するため, real_CT と real_PET との類似度を評価した. 類似度には Peak signal-to-noise ratio (PSNR), Structural similarity (SSIM) および Dice 係数 (Dice) を用いた (4-6).

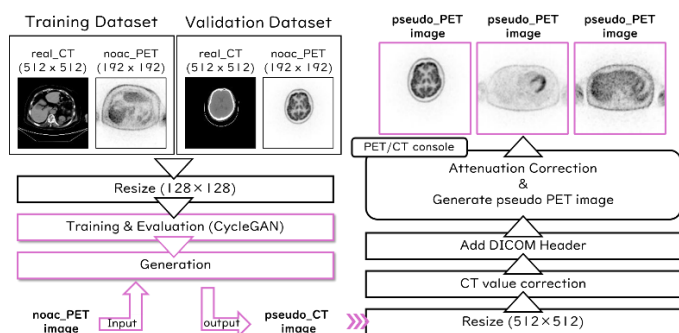


図 5 アウトライン

7. 生成結果

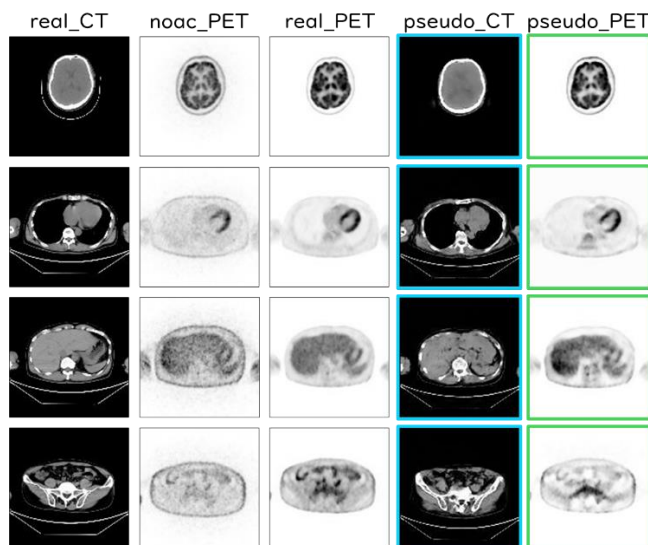


図 6 正解画像と生成画像

検証用に用いた real_CT, real_PET および生成された pseudo_CT と pseudo_PET の一部を図 6 に示す. pseudo_CT では real_CT に比べ微細な構造の生成はやや不良であったが, 大まかな臓器, 骨構造は生成可能であった. 各類似度指標の平均値は PSNR 32.5 dB, SSIM 0.84, Dice 0.85 であった. また, pseudo_CT で減弱補正を行った pseudo_PET は, real_PET に比べると均一に補正できていない箇所があったが, noac_PET に比べ体深部の減弱の補正や臓器コントラストを向上させることが可能であった. 各指標の平均値は PSNR 35.9 dB, SSIM 0.89, Dice 0.95 であったことから, 正解画像と見分けられないほどの疑似 CT 画像は得られなかったが, 減弱補正には効果の認められる画像が得られた.

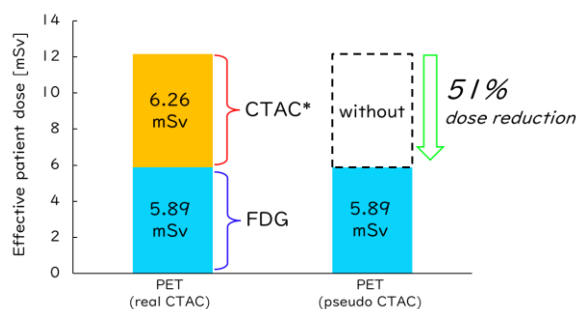


図 7 FDG-PET 検査の被ばく例 7)

ある報告によると FDG-PET 検査による患者被ばくは、FDG 薬剤による被ばくが 5.89 mSv、CT による被ばくが 6.26 mSv と見積もられている⁷⁾。したがって、本研究の成果により CT 撮影をスキップできれば、51%程度の被ばく低減効果が発生する(図 7)。しかし、本検討で得られた疑似画像のクオリティは臨床応用には十分ではないため、生成精度をさらに追及する必要がある。

8. 類似研究について

本研究を発表する前後で類似の研究がいくつか報告されている⁸⁻¹²⁾。いずれも疑似 CT を生成して減弱補正へ転用する目的であるが、近年の報告では PET/MR 装置を用いた報告が多い傾向にある。MR 画像は形態的な構造が CT 画像と酷似しているため、非常に正確な疑似 CT 画像を出力できている。また、私の研究室では単一光子放射断層撮影法 (SPECT) 画像から pseudo_CT を得て、これを減弱補正に用いることで良好な結果を得ている¹³⁾。最近の報告を横断的に見ると、ChatGPT で有名になった基盤モデルや拡散モデルといったアーキテクチャを使用した報告は無いため、これらモデルを使用したさらに高精度な研究成果の登場が期待される。

9. 単純 X 線画像と核医学画像

最後に単純 X 線画像 (X-p) と核医学画像 (NM) を扱う上での相違点について触れたい。まず、最も大きな両者の違いはマトリクスサイズである。X-p は半切サイズで 3,000×4,000 ピクセル程度の画像が出力されるが、NM では 256×256 ピクセル程度で出力されることが多い。当然、NM はピクセルサイズも大きい。また、NM はデータ量が小さくなる。また、ピクセル値 (カウント値) についても、X-p では 12 bit や 14 bit で出力されるが、NM のカウント値は 255 までに収まることもあり、8 bit 画像として出力可能である。加えて、X-p では

基本的に 1 症例につき 1 枚の画像しか得られないが、NM ではプラナー像を除けば 1 症例あたり複数枚の画像を収集可能である。したがって、NM は X-p に比べるとデータ量の小さな画像を少ない症例数でも多く収集することが可能であり、深層学習研究に適した研究分野であるといえる。

10. まとめ

本シンポジウムでは他分野から核医学検査室へ配属された筆者がクリニカルクエッションに出会い、深層学習モデルによる解決を試みた過程について解説した。臓器や組織の機能や代謝を可視化できる核医学は画像診断の中でも魅力的な分野であり、深層学習研究との親和性も高い。本報告が国内研究の一助となれば幸いである。

謝辞

末筆になりましたが、本発表の準備にあたりご支援を頂いた鳥取大学医学部附属病院の崎本翔太 先生、川崎医科大学総合医療センターの宮井将宏 先生および発表の機会を提供頂いた核医学部会の諸先生方に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 福井亮平, 藤井進, 二宮宏樹, 他. 深層学習を用いた PET 画像の減弱補正を目的とした疑似 CT 画像の作成. 日放技学誌. 2020; 76(11): 1152-1162.
- 2) Zhu JY, Park T, Isola P, et al. Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks. 2018. arXiv:1703.10593v6.
- 3) 日本核医学会. FDG PET, PET/CT 診療ガイドライン. 2020: 21-22.
- 4) Sethi D, Bharti S, Prakash C. A comprehensive survey on gait analysis: History, parameters, approaches, pose

- estimation, and future work. *Artif Intell Med.* 2022; 129: 102314.
- 5) Wang, Z, Bovik AC, Sheikh HR, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity. *IEEE Trans Imag Proc.* 2004; 13(4): 600-612.
- 6) Bieth M, Peter L, Nekolla SG, et al. Segmentation of skeleton and organs in whole-body CT images via iterative trilateration. *IEEE Trans Med Imaging.* 2017; 36(11): 2276-2286.
- 7) Kwon HW, Kim JP, Lee HJ, et al. Radiation dose from whole-body F-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography: nationwide survey in Korea. *J Korean Med Sci.* 2016; 31: 69-74.
- 8) Torrado-Carvajal A, Vera-Olmos J, Izquierdo-Garcia D, et al. Dixon-VIBE deep learning (DIVIDE) pseudo-CT synthesis for pelvis PET/MR attenuation correction. *J Nucl Med.* 2019; 60(3): 429-435.
- 9) Dong X, Wang T, Lei Y, et al. Synthetic CT generation from non-attenuation corrected PET images for whole-body PET imaging. *Phys Med Biol.* 2020; 64(21): 215016.
- 10) Ahangari S, Beck Olin A, Kinggård Federspiel M, et al. A deep learning-based whole-body solution for PET/MRI attenuation correction. *EJNMMI Phys.* 2022; 9: 1-15.
- 11) Rajagopal A, Natsuaki Y, Wangerin K, et al. Synthetic PET via domain translation of 3-D MRI. *IEEE Trans Radiat Plasma Med Sci.* 2023; 7(4): 333-343.
- 12) Wyatt JJ, Kaushik S, Cozzini C, et al. Evaluation a raditheraphy deep learning synthetic CT algorithm for PET-MR attenuation correction in the pelvis. *EJNMMI Phys.* 2024; 11: 1-16.
- 13) Miyai M, Fukui R, Nakashima M, et al. Accuracy of deep learning-based attenuation correction in ^{99m}Tc-GSA SPECT/CT hepatic imaging. *Radiography (Lond).* 2025; 31(1): 112-117.

AI 技術を応用した PET 画像再構成の使用経験

旭川医科大学病院 宇野 貴寛

はじめに

近年, CT, MRI などの画像検査機器に人工知能 (AI) 技術応用画像再構成法が搭載されるようになってきた。

当院で 2024 年に新規導入した PET-CT 装置 (キヤノンメディカルシステムズ株式会社製 Cartesion Prime PCD-1000A) には deep learning 技術を用いて設計された画像再構成 AiCE-i (Advanced intelligent Clear-IQ Engine-integrated) が搭載されており, CT および PET 画像再構成に使用可能である。

本稿では, 自験例をもとに PET 画像再構成法 AiCE-i について特徴などを記す。

1. AiCE-i 再構成について

PET 画像再構成法 AiCE-i は, 十分な収集時間をかけて得られたデータを教師データとして, ノイズと信号を識別するトレーニングが実施され, ニューラルネットワークが構築されている。構築されたニューラルネットワークを用いて, 本再構成法はコントラスト低下を抑えつつ統計ノイズを選択的に除去することが可能であり, Non-Filter 画像に比して分解能を上昇させることや SUV を増大させることはない。

また, AiCE-i 再構成は Iteration, Subset, PSF 補正の有無といったパラメータをユーザーで設定することが不可能となっている。

執筆時現在において AiCE-i が適用可能な PET リガンドは ^{18}F -FDG のみとなっている。

2. リカバリー曲線

PET 画像再構成法として AiCE-i, 3D OSEM PSF+, 3D OSEM PSF- を用いたときのリカバリー曲線を図 1 に示す。AiCE-i に

おいて, 3D OSEM PSF+ と同様に PSF 補正特有の 13mm ホット球における SUV_{max} のオーバーシュートが見られることから, 本再構成法は PSF 補正が組み込まれていることがわかる。

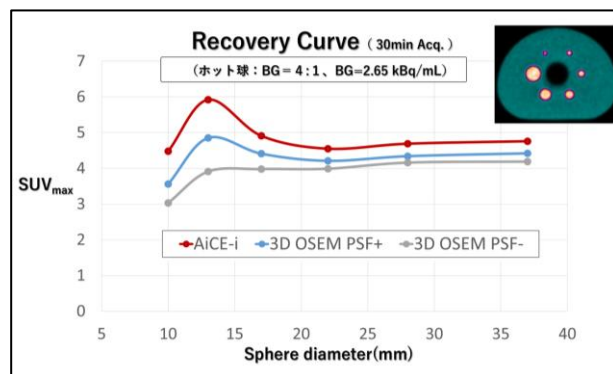


図 1

図 1 で示したリカバリー曲線のうち AiCE-i および 3D OSEM PSF+ のみを 37mm ホット球で規格化したリカバリー係数を図 2 に示す。

AiCE-i において 10mm ホット球のリカバリー係数が 37mm ホット球とほぼ同等の値を示すことから, 本再構成法は微小球の描出が非常に優れることがわかる。また, 本再構成法は 13mm ホット球における SUV のオーバーシュートがやや過剰となる傾向があるが, これは PSF 補正組み込み型再構成において平滑化を抑えた場合の挙動と一致する¹⁾。

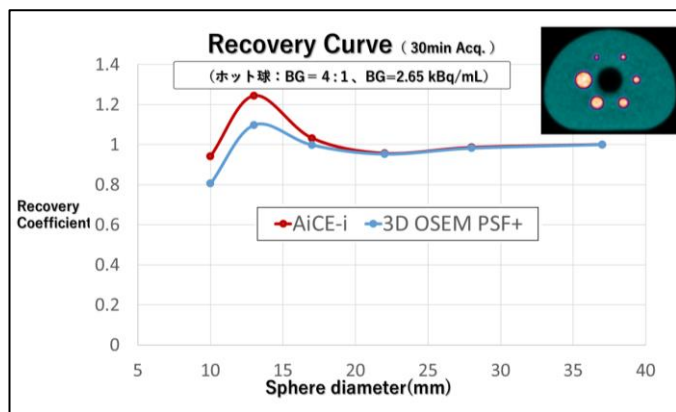


図 2

3. 収集時間ボトムラインについて

がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン第 2 版²⁾に沿って 3.7MBq/kg の投与を想定し、バックグランド放射能濃度を 2.65kBq/mL、ホット球とバックグランドの放射能濃度比を 4 対 1 としてファントム第二試験撮像を実施した。

スキャン時間の切り出しを 30 秒～300 秒まで変化させ、AiCE-i および CaLM standard PSF+ (以下、CaLM PSF+) 再構成を実施し、第二試験評価に沿って物理指標の基準値 ($N_{10mm} < 5.6\%$, $Q_{H,10mm}/N_{10mm} > 2.8\%$) を満たす収集時間を求めた。

各切り出しスキャン時間画像を図 3, 図 4 に示す。

物理指標 $Q_{H,10mm}/N_{10mm}$ は AiCE, CaLM PSF+ とともに 30 秒切り出し画像で基準値の 2.8% を満たしたが、 N_{10mm} の基準値 5.6% を満たしたのは、AiCE で 90 秒、CaLM PSF+ で 120 秒であった。

以上のことから、1 ベッドあたりの収集時間ボトムラインは 3.7MBq/kg の投与量において、AiCE-i では 90 秒、CaLM PSF+ では 120 秒と求められ、AiCE-i は CaLM PSF+ に比して短時間収集が許容されることがわかった。

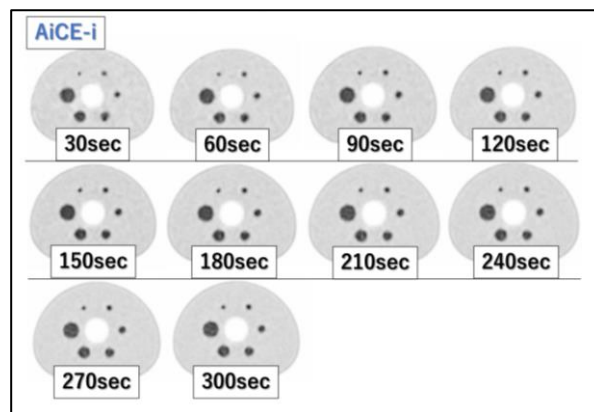


図 3

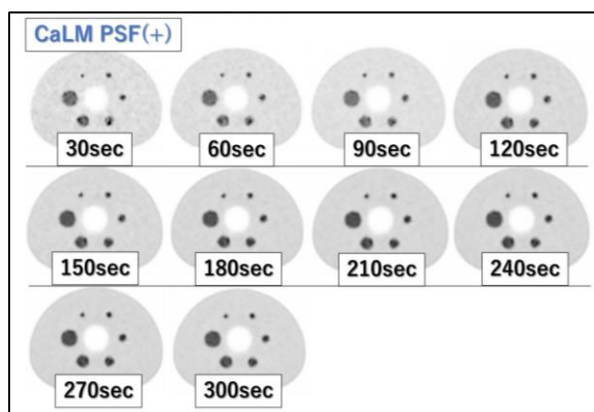


図 4

4. AiCE-i におけるデノイズの特徴について
肝臓に異常集積のない自験例 2 症例において、切り出しスキャン時間を変化させたときの肝 SNR を図 5 に示す。

AiCE-i は短時間収集でのデノイズが CaLM PSF+ に比して優れており、30 秒の切り出しスキャン時間において AiCE-i における肝 SNR は高い値を示す。

CaLM PSF+ において切り出しスキャン時間を延長していくと肝 SNR は上昇していくが、AiCE-i においては肝 SNR の頭打ち現象がみられ、収集カウントが増加しても CaLM PSF+ のような SNR 上昇が継続しない。その結果、切り出しスキャン時間 180 秒において、AiCE-i と CaLM PSF+ における肝 SNR が逆転する現象が生じている。このように AiCE-i は SNR の上限が決まってくる。

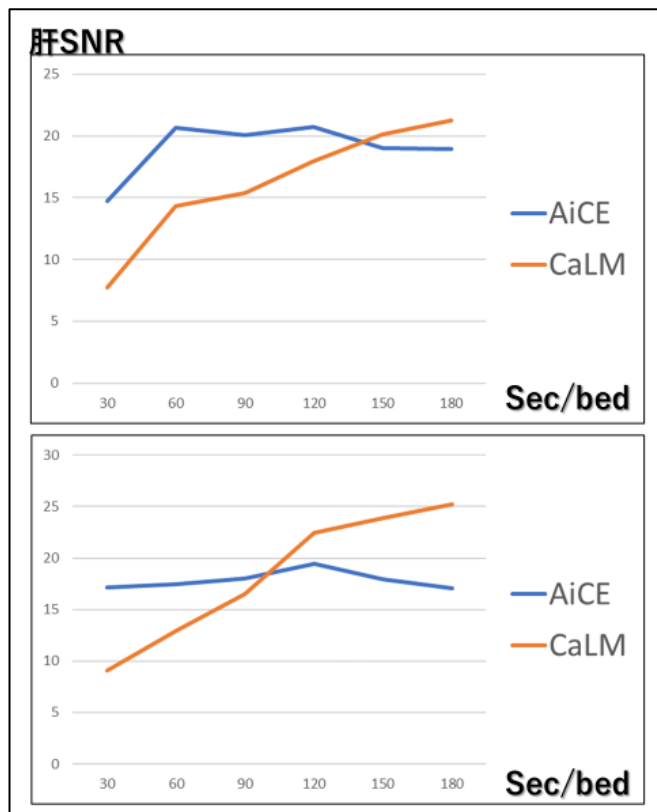


図 5

5. 自験例

下行結腸癌術後で腫瘍マーカーが上昇しているが、CT で病変が指摘出来ず、全身精査目的に PET 撮像を実施した 1 症例を図 6 に示す。従来型再構成法である 3D OSEM(図 6 左)と比較し、AiCE-i (図 6 右) は明瞭に肝転移を捉えることが出来ており、微小病変の描出が優れていることがわかる。

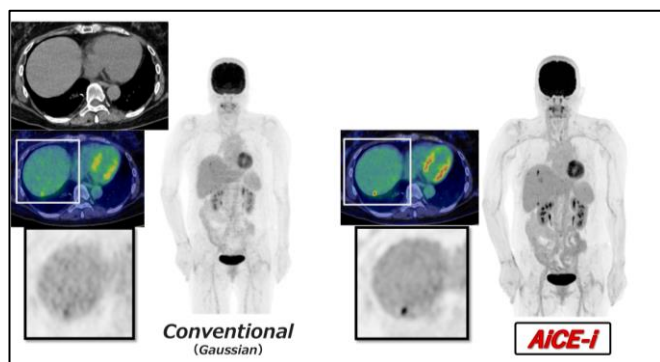


図 6

6. ピットフォールについて

1 で述べたとおり AiCE-i は PSF 補正組み込み型再構成であるため、脳 PET において

Gibb アーチファクトによる偽陽性が生じる可能性がある。脳 PET 画像の 1 例を図 7 に示す。この例では AiCE-i において左側頭部に偽陽性所見が認められる。よって、脳への本再構成適用は推奨されない。

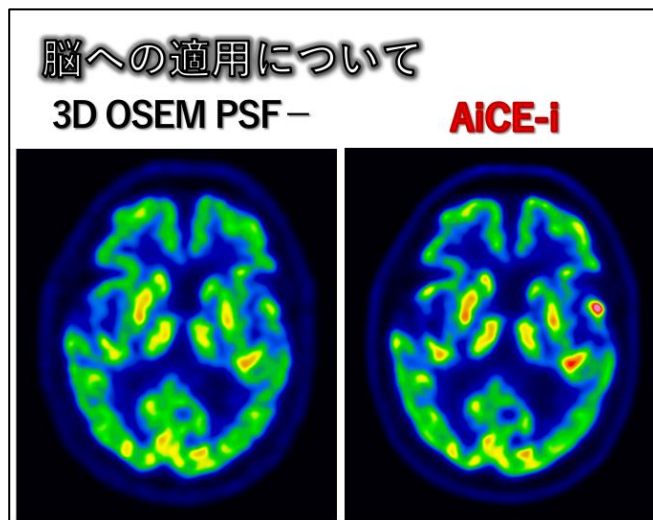


図 7

4 で述べたとおり AiCE-i は短時間収集におけるデノイズが非常に優れた画像再構成法である。

図 8 に示すとおり、収集カウントが非常に少なく統計ノイズの多いローデータに対して、従来法の 3D OSEM 再構成を使用すると SN 比の低下した画像となる為、すぐに収集カウント不足に気づくことが出来る (図 8 左上)。

一方、AiCE-i を適用すると、その優れたデノイズパワーによって収集カウントが不足しているのか否か視覚的な判断が難しい(図 8 右上)。理想画像 (図 8 下) と比較することで AiCE-i は 10mm ホット球の再現が不完全である為、収集カウントが不足しているという判断が可能となるが、理想画像の提示がなく AiCE-i 画像の参照のみで、収集カウントが不足しているか否かの判断は難しいと思われる。

このことから、得られたデータが十分であるか否かについて、AiCE-i については特に視覚的な判断のみに頼ることは避けた方が良いと思われ、3 で示した収集時間ボトムラインの

意識は重要となってくる.

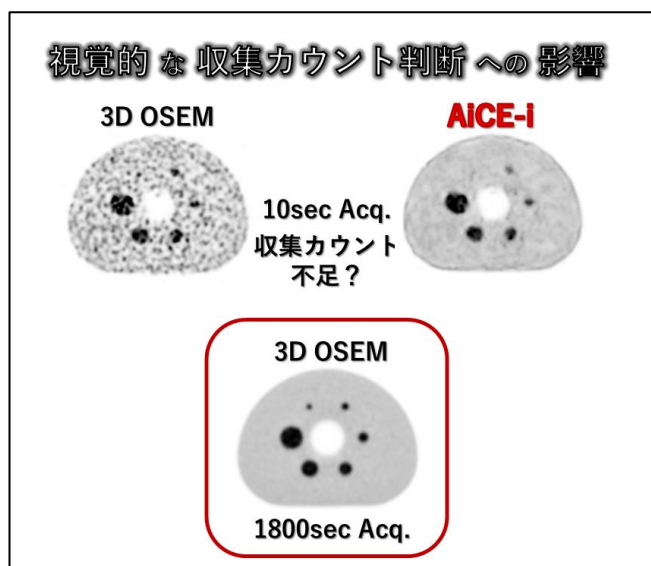


図 8

まとめ

AiCE-i は分解能を保持したままデノイズが可能な再構成であり, そのデノイズパワーは非常に優れている.

また, 他の画像再構成法と比較して, より短時間, あるいは低投与量で良好な画質が得られ, 算出される SUV は安定している.

参考文献

- 1) O.L.Munk, L.P.Tolbod, S.B.Hansen et al. Point-spread function reconstructed PET images of sub-centimeter lesions are not quantitative. EJNMMI Physics. 2017; 4(5).
- 2) 福喜多, 織田, 白石, 他. がん FDG-PET/CT 撮像法ガイドライン第 2 版. 核医学技術 2013 ; 33(4) : 377-420.

セラノスティクスおよび PSMA 標的治療の現状と展望

ノバルティス ファーマ株式会社 木谷 幸介

はじめに

セラノスティクス (Theranostics) は、治療 (Therapy) と診断 (Diagnostics) を融合させた革新的なアプローチで、患者個別の治療最適化を目指す。前立腺特異的膜抗原 (PSMA) を標的とするセラノスティクスは、診断薬「ロカメッツ®キット」(以下、ロカメッツ) と治療薬「プルヴィクト®静注」(以下、プルヴィクト) の組み合わせによって実現する。

ロカメッツは、「ガリアファーム®⁶⁸Ge/⁶⁸Ga ジェネレータ」(以下、ガリアファーム) から抽出したガリウム (⁶⁸Ga) をゴゼトチドに標識し、PSMA 陽性の前立腺癌細胞を高精度に可視化する PET 画像診断を可能にする。この診断により、プルヴィクトによる治療適応を判定できる。

プルヴィクトは、ルテチウム-177 (¹⁷⁷Lu) を標識したビピボチドテトラキセタンを用いた放射性リガンド療法 (RLT) で、PSMA 陽性細胞に選択的に結合し、β 線を放出して DNA 損傷を誘発し、腫瘍細胞を死滅させる。これにより転移性去勢抵抗性前立腺癌 (mCRPC) 患者に新たな治療選択肢を提供する。

この治療戦略は、診断と治療の一体化による精密医療の実現を意味し、患者にとっては不要な治療を避け、適切な効果を得ることが可能となる。PSMA は前立腺癌患者の約 80% 以上に発現しており¹⁾、対象患者層は広範に及ぶ。さらに、プルヴィクトは海外第Ⅲ相試験 (VISION 試験, PSMAfore 試験) で有効性と安全性が確認され²⁾、日本では A11201 試験を経て承認に至った。

2025 年 9 月、日本でプルヴィクト、ロカメッツ、およびガリアファームが同時承認され、診断精度の向上と治療効果を両立させる新たな治療パラダイムを提示し、アンメットニー

ズの高い前立腺癌領域に新たな選択肢をもたらす。今後は、施設の RLT 環境整備や適正使用教育を通じて、より多くの患者にタイムリーなアクセスを提供することが一層重要となる。

各製剤の開発の経緯

プルヴィクト®静注³⁾

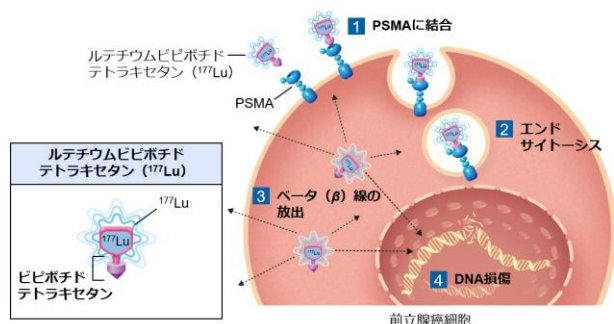
ルテチウムビピボチドテトラキセタン (¹⁷⁷Lu) は、前立腺特異的膜抗原 (PSMA) 陽性の遠隔転移を有する去勢抵抗性前立腺癌 (mCRPC) の治療薬として開発された国内初のセラノスティクスに用いる放射性医薬品である。PSMA は、葉酸加水分解酵素 I 又はグルタミン酸カルボキシペプチダーゼ II としても知られる II 型膜貫通タンパク質で、ほぼすべての前立腺癌に高発現が認められる一方、正常組織での発現は限定的で^{4,5)}、PSMA の過剰発現と進行性で悪性度の高い mCRPC への進展には相関が認められており^{4,6,7)}、前立腺癌の画像診断や治療の標的として確立されている⁷⁾。

本剤は、PSMA 標的部位とキレート剤 1,4,7,10-テトラアザシクロドデカン-四酢酸 (DOTA)、及びこれらをつなぐリンカーから成るビピボチドテトラキセタンを、放射性ルテチウム 177 (¹⁷⁷Lu) で標識した放射性リガンド治療薬で、標的である PSMA に結合した後、エンドサイトーシスを介した内在化により腫瘍細胞内に取り込まれ、¹⁷⁷Lu により抗腫瘍活性を示す。¹⁷⁷Lu は半減期が 6.647 日のベータ線放出核種で、ベータ線が腫瘍細胞に照射され DNA 損傷を引き起こすことで細胞増殖抑制作用を発揮する。¹⁷⁷Lu の放出するベータ線の最大エネルギー (E_{max}) は 498 keV で、組織中での飛程は最大で約 2.2 mm (平均 0.67 mm) であるため、周辺の正

常組織への傷害が抑えられ、腫瘍への効率的な放射線照射が可能である。

海外では、タキサン系抗悪性腫瘍剤既治療の mCRPC 患者を対象とした海外第Ⅲ相試験 (A12301/VISION 試験) で有効性及び安全性が示され、この結果に基づき、2022年3月、米国において新規アンドロゲン受容体シグナル阻害薬 (ARSI) 及びタキサン系抗悪性腫瘍剤による化学療法を含む治療歴がある PSMA 陽性の mCRPC を有する成人患者に対する治療薬として承認を取得し、同年12月には欧州で承認された。その後、タキサン系抗悪性腫瘍剤未治療の mCRPC 患者を対象とした海外第Ⅲ相試験 (B12302/ PSMAfore 試験) の第3回中間解析 (2024年2月27日データカットオフ) の結果に基づき、2025年3月、米国においてタキサン系抗悪性腫瘍剤による治療歴がない PSMA 陽性 mCRPC の成人患者に対する治療薬として承認を受けた。

日本では、タキサン系抗悪性腫瘍剤既治療又は未治療の PSMA 陽性 mCRPC 患者を対象とした国内第Ⅱ相試験にて有効性及び安全性が確認され、2025年9月に「PSMA 陽性の遠隔転移を有する去勢抵抗性前立腺癌」を効能又は効果として承認を取得した。



ロカメッツ®キット 8)

ロカメッツ (有効成分: ゴゼトチド) を用いて調製したガリウム (⁶⁸Ga) ゴゼトチドは、前立腺癌における前立腺特異的膜抗原 (PSMA) 陽性病変を同定し、PSMA 標的療法の適応となる前立腺癌患者を選択するため

に開発された、国内初のセラノスティクスに用いる放射性診断薬である。

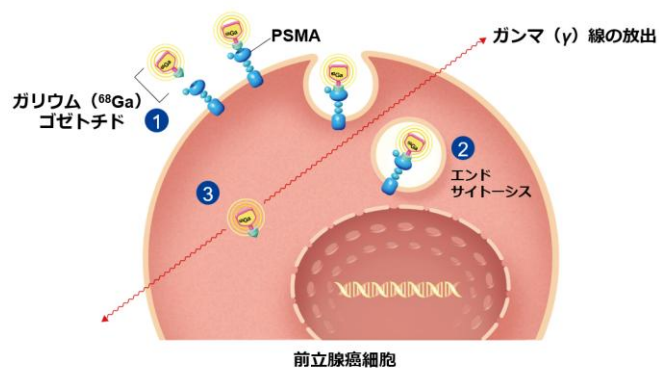
2011年からドイツがん研究センター及びハイデルベルク大学病院で開発され、2017年から Endocyte 社、その後 Advanced Accelerator Applications 社及びノバルティス社により開発が進められた。

本剤は、有効成分であるゴゼトチドを ⁶⁸Ge/⁶⁸Ga ジェネレータから溶出した塩化ガリウム (⁶⁸Ga) 溶液で標識して用いる注射剤 (バイアルキット) である。ガリウム (⁶⁸Ga) ゴゼトチドは、PSMA のリガンド部分であるグルタミン酸-尿素-リジン構造とキレート剤である N, N' - bis[2- hydroxy- 5-(carboxyethyl) benzyl] ethylenediamine- N, N'- diacetic acid (HBED- CC) から成るゴゼトチドに放射性核種 ⁶⁸Ga がキレート化しており、静脈内投与後、PSMA に結合してエンドサイトーシスを介した内在化により腫瘍細胞内に取り込まれ、⁶⁸Ga から放出される放射線 (ガンマ線) が画像化される。

海外では、PSMA 陽性の遠隔転移を有する去勢抵抗性前立腺癌 (mCRPC) 患者を対象に、PSMA 標的療法プルヴィクトの有効性及び安全性を標準治療と比較する海外第Ⅲ相試験 (A12301/VISION 試験) において、被験者の適格性確認のためガリウム (⁶⁸Ga) ゴゼトチドが用いられた。その結果、ガリウム (⁶⁸Ga) ゴゼトチド陽電子放出断層撮影/コンピュータ断層撮影 (PET/CT) スキャンにより PSMA 陽性が確認された患者での主要評価項目が達成され、安全性についても忍容性は良好であることが示されたことから、これら試験成績、並びに A12301/ VISION 試験でガリウム (⁶⁸Ga) ゴゼトチド PET/CT 画像評価の読影者間のばらつき及び読影者内の再現性を評価した Reviewer variability study、及び公表論文等に基づき、欧米ではゴゼトチド (商標名: Locametz) として承認申請が行われ、米国で 2022年3月、欧州で同年12月に、ガリウム (⁶⁸Ga) を用いた標識後、前立腺癌患者での PSMA 陽性病変を検出する PET 用放射性診断薬として承認を取得した。なお、

ガリウム (^{68}Ga) ゴゼトチド PET/CT スキャンは、2011 年以降、多くの文献に記載されており、外国の各種ガイドライン^{9,10)}において放射性リガンド療法の PSMA 陽性の患者選択などに使用が推奨されている、確立された画像診断法である。

日本では、タキサン系抗悪性腫瘍剤既治療又は未治療の PSMA 陽性 mCRPC 患者を対象にプルヴィクト静注の有効性及び安全性を評価する国内第 II 相試験において、被験者の適格性確認のためガリウム (^{68}Ga) ゴゼトチドが用いられ、ガリウム (^{68}Ga) ゴゼトチド PET/CT スキャンにより PSMA 陽性が確認された患者での主要評価項目が達成された。これら国内外の臨床試験成績に基づき、本剤は 2025 年 9 月に「PSMA 標的療法の前立腺癌患者への適応判定の補助」を効能又は効果として承認を取得した。



ガリアファーム® $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ジェネレータ 1)

ガリアファームは、Eckert&Ziegler Radiopharma GmbH 社 (ドイツ) が開発した $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ジェネレータである。本剤は、ガリウム 68 (^{68}Ga) の親核種であるゲルマニウム 68 (^{68}Ge) (半減期 270.95 日) をガラスカラムに充填した二酸化チタンに吸着させ、カラムに溶出用 0.1mol/L 塩酸溶液を通じることにより塩化ガリウム (^{68}Ga) 溶液を溶出するジェネレータである。得られた塩化ガリウム (^{68}Ga) 溶液を用い、陽電子放出断層撮影 (PET) イメージングのために被標識用製

剤を放射性同位体 ^{68}Ga (半減期 67.71 分) で標識する。

^{68}Ga は、1960 年代初めに診断薬としての利用が始まった。最初に報告された臨床応用はガリウム (^{68}Ga) エチレンジアミン四酢酸 (EDTA) で、主に脳病変の診断に用いられた (現在は使用されていない)。その後、血小板、アルブミン又は抗体等を標識し画像診断に有用な複合体を開発する試みを経て、キレート剤である 1,4,7,10-テトラアザシクロドデカン-四酢酸 (DOTA) を用いた神経内分泌腫瘍や髄膜腫の画像診断のためのガリウム (^{68}Ga) DOTA 標識ペプチドや、前立腺特異的膜抗原 (PSMA) 陽性の前立腺癌の画像検査を目的としたガリウム (^{68}Ga) ゴゼトチドが開発され、臨床でこれら ^{68}Ga 標識分子の合成を容易にするため $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ ジェネレータが開発された。本剤は 2014 年 9 月 9 日にイタリアで最初に製造販売承認を取得した。2025 年 6 月現在、本剤は欧州、英国、カナダなど 8 つの国又は地域で承認されており、米国ではドラッグマスターファイル (DMF) 制度に登録されている。

日本では、ノバルティス ファーマ株式会社がガリアファームの製造販売承認申請を行った [PSMA 陽性転移性去勢抵抗性前立腺癌 (mCRPC) の PSMA 標的療法薬であるプルヴィクト及び PSMA 標的療法の適応となる前立腺癌患者を選択する放射性診断薬ロカメツツと同時申請]。日本人の PSMA 陽性 mCRPC 患者を対象とした国内第 II 相試験 (A11201 試験) において、被験者の適格性確認のためのガリウム (^{68}Ga) ゴゼトチド PET/コンピュータ断層撮影 (CT) スキャン実施にあたり、ゴゼトチドの標識に本剤が使用されている。なお、今回の申請の非臨床試験の部分については、EU 指令 2001/83/EC Article 8 (3) に従って、最初の承認に先立ち実施されたラットを用いた非臨床試験 [塩化ガリウム (^{68}Ga) 溶液が誤って注射された場合の ^{68}Ga と ^{68}Ge の分布と線量を評価した GERGA 試験] の試験成績及びその他公表文献の知見を用いた。2025 年 9 月に「陽電子放

出断層撮影 (PET) イメージングのために承認された被標識用製剤のガリウム (^{68}Ga) 標識」を効能又は効果として承認を取得した。

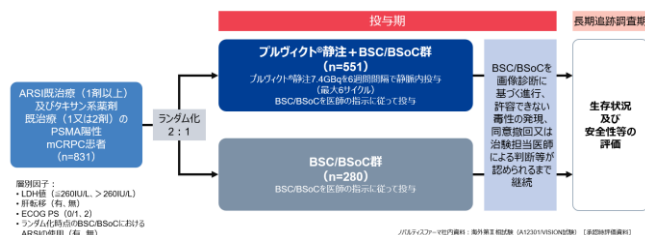
プルヴィクトの臨床データ 2)

海外第Ⅲ相試験 (A12301/VISION 試験)

1 剤以上の ARSI 及び 1 又は 2 剤のタキサン系抗悪性腫瘍剤による治療歴のある PSMA 陽性の mCRPC 患者 (目標症例数: 814 例) を対象に、本薬と BSC/BSoC との併用の有効性及び安全性を BSC/BSoC と比較することを目的とした無作為化非盲検比較試験が、海外 86 施設で実施された。また、同一の対象患者 (目標症例数: 30 例) を対象に、本薬と BSC/BSoC との併用の被曝線量、PK、安全性等を検討する非盲検非対照コホートが、サブスタディとして海外 4 施設で実施された。

PSMA 陽性が確認され、他のすべての適格性が確認された患者を本薬 + BSC/BSoC 群又は BSC/BSoC 群に 2 : 1 の割付比で無作為化することとされた。本薬の用法・用量は、7.4 GBq を Q6W で最大 6 回静脈内投与することとされた。本薬の投与は、 ^{68}Ga -PSMA-11 を用いた PET/CT 検査の実施後 7 日以降に開始することとされた。BSC/BSoC は本試験開始前から実施中の治療を含み、試験期間を通じて変更可能とされた。本試験の主要評価項目として、試験開始時点では OS が設定されたが、試験開始後に、米国での早期の承認申請を目的として、PCWG3-modified RECIST ver.1.1 に基づく BICR 判定による rPFS 及び OS が主要評価項目として設定され、いずれか一方で統計学的に有意な延長が認められた場合に本薬の有効性が示されたと判断することとされた (治験実施計画書第 2 版 (2019 年 1 月 16 日付け))。また、rPFS の主要解析時点において、OS の中間解析を有意水準 (片側) 0.001 で実施することとされた。さらに、BSC/BSoC 群において同意撤回による脱落割合が高いことが明らかとなり、特に BSC/BSoC 群に割り付けられた患者の多

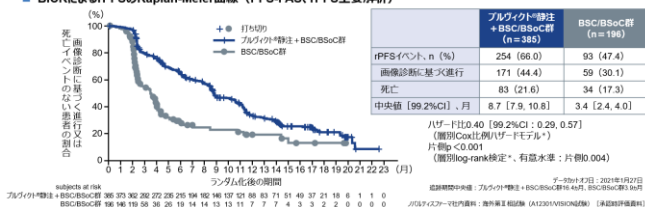
くは治験実施計画書では許容されていない他の治療法 (タキサン系抗悪性腫瘍剤等) を希望したため、選択基準から 2 種類目のタキサン系抗悪性腫瘍剤による治療を受ける意思がない患者の組入れを許容する規定を削除した (治験実施計画書第 3 版 (2019 年 4 月 1 日付け))。加えて、同意撤回をした患者の rPFS に係るデータを収集できないことから、治験実施医療機関への教育等の対応策を実施した 2019 年 3 月 5 日以降に無作為化された患者を PFS-FAS として、rPFS の解析対象集団とする解析計画に変更した (治験実施計画書第 4 版 (2019 年 7 月 8 日付け))。



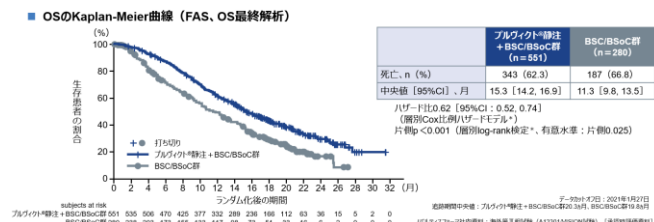
本試験に登録され、無作為化された 831 例 (本薬 + BSC/BSoC 群 551 例, BSC/BSoC 群 280 例, 以下同順) 全例が FAS とされ、有効性の解析対象とされた (うち、581 例 (385 例, 196 例) が 2019 年 3 月 5 日以降に無作為化された PFS-FAS であった)。そのうち、治験薬が投与されなかった 97 例 (18 例, 79 例) を除く 734 例 (529 例, 205 例) が安全性の解析対象とされた。

有効性について、主要評価項目の一つとされた rPFS の主要解析 (2021 年 1 月 27 日データカットオフ) の結果及び Kaplan-Meier 曲線は、それぞれ表及び図のとおりであり、BSC/BSoC 群に対する本薬 + BSC/BSoC 群の優越性が検証された。

■ BICRによるrPFSのKaplan-Meier曲線 (PFS-FAS, rPFS主要解析)



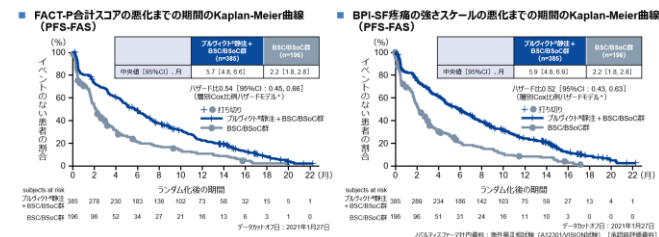
また、もう一つの主要評価項目とされたOSの最終解析（2021年1月27日データカットオフ）の結果及びKaplan-Meier曲線は、それぞれ表及び図のとおりであり、BSC/BSoC群に対する本薬+BSC/BSoC群の優越性が検証された。



主な副次評価項目である評価可能病変を有する（ベースライン時における測定可能病変の有無によらない）患者の軟部組織病変を評価対象としたBICRによるORRは、本薬+BSC/BSoC群で29.8%（95/319例）、BSC/BSoC群で1.7%（2/120例）と、本薬+BSC/BSoC群で有意に良好であることが示された [オッズ比 24.99（95%CI：6.05, 103.24）、両側 p<0.001；層別Waldχ²検定、有意水準 0.05（両側）、多重性の調整あり* 1]。また、BICRによるDCRも、本薬+BSC/BSoC群で89.0%（284/319例）、BSC/BSoC群で66.7%（80/120例）であり、両群間に有意差が認められた [オッズ比 5.79（95%CI：3.18, 10.55）、両側 p<0.001；層別Waldχ²検定、有意水準 0.05（両側）、多重性の調整あり* 1]。

副次評価項目である健康関連QoLは、ベースラインのFACT-P合計スコアの平均値は、本薬+BSC/BSoC群で108.4、BSC/BSoC群で110.1であり、FACT-P合計スコアの悪化までの期間の中央値はそれぞれ5.7ヵ月（95%CI：4.8, 6.6）及び2.2ヵ月（95%CI：1.8, 2.8）であった。また、ベースラインのBPI-SF疼痛の強さスケールの平均値は、本薬+BSC/BSoC群で2.57、BSC/BSoC群で2.65であり、BPI-SF疼痛の強さスケールの悪化までの期間の中央値はそれぞれ5.9ヵ月

（95%CI：4.8, 6.9）及び2.2ヵ月（95%CI：1.8, 2.8）であった。



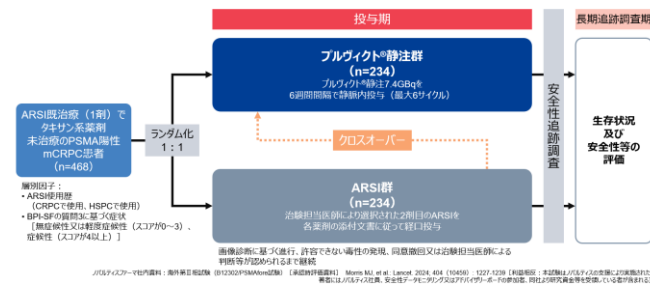
安全性について、無作為化治療下の安全性評価期間中（治験薬投与開始日から投与終了後30日以内）の死亡は、本薬BSC/BSoC群68/529例（12.9%）、BSC/BSoC群19/205例（9.3%）に認められた。疾患進行による死亡例（本薬+BSC/BSoC群45例、BSC/BSoC群14例）を除く患者の死因は、本薬+BSC/BSoC群で敗血症及び不明各4例、硬膜下血腫、汎血球減少症、急性肝不全、骨髄機能不全、COVID-19、大腸菌性敗血症、安楽死、頭蓋内出血、肝不全、虚血性脳卒中、中枢神経系転移、多臓器機能不全症候群、誤嚥性肺炎、疾患進行及びその他（医師報告用語：肺炎）各1例、BSC/BSoC群で硬膜下血腫、動脈硬化症、心肺停止、疾患進行及びその他（医師報告用語：原疾患）各1例であった。このうち、本薬BSC/BSoC群の汎血球減少症、骨髄機能不全、硬膜下血腫及び頭蓋内出血各1例では治験薬との因果関係は否定されなかった。

また、サブスタディにおいて、治験薬投与下での安全性評価期間中（治験薬投与開始日から投与終了後30日以内）の死亡は5/30例（16.7%）に認められた。疾患進行による死亡例（3例）を除く患者の死因は、末期腎疾患及び全身健康状態悪化各1例であり、いずれも治験薬との因果関係は否定された。

海外第Ⅲ相試験（B12302/PSMAfore試験）

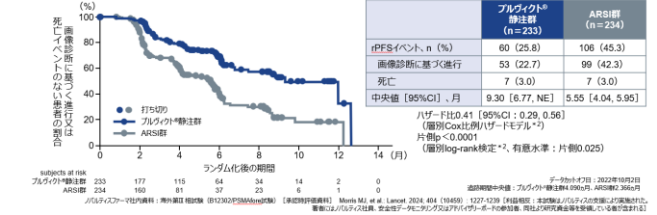
1剤のARSIによる治療歴があり、タキサン系抗悪性腫瘍剤による治療歴のないPSMA陽性のmCRPC患者（目標症例数：450例）を対象に、BSCの併用下で、本薬と治験担当

医師により選択された2剤目のARSI (ABI又はENZ)の有効性及び安全性を比較することを目的とした無作為化非盲検比較試験が、海外72施設で実施された。PSMA陽性が確認され、他のすべての適格性が確認された患者を本薬群又はARSI群に1:1の割付比で無作為化することとされた。本薬の用法・用量は、7.4GBqをQ6Wで最大6回静脈内投与することとされたARSIは各薬剤の添付文書に従って投与し、投与中止基準に該当するまで継続することとされた。また、ARSI群に割り付けられた患者のうち、画像診断のBICR判定により進行と判断され、かつ他のクロスオーバー基準を満たした患者は、本薬へのクロスオーバーが可能とされた。



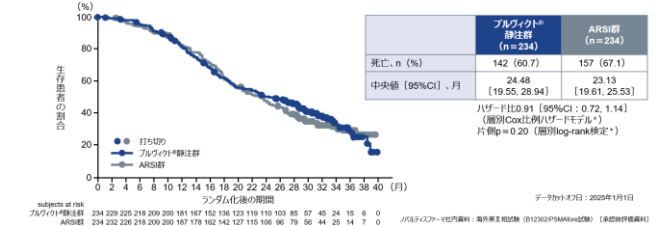
本試験の主要評価項目は、PCWG3-modified RECIST ver.1.1に基づくBICR判定によるrPFSと設定され、約156件のrPFSイベントが観察された時点で主要解析を実施することとされた。本試験に登録され、無作為化された469例(本薬群235例、ARSI群234例、以下同順)のうち、同意取得の手順が適切でなかった本薬群の1例を除く468例(234例、234例)がFASとされ、有効性の解析対象とされた。そのうち、治験薬が投与されなかった9例(7例、2例)を除く459例(227例、232例)が安全性の解析対象とされた。有効性について、主要評価項目とされたrPFSの主要解析(2022年10月2日データカットオフ)の結果及びKaplan-Meier曲線は、それぞれ表及び図のとおりであり、ARSI群に対する本薬群の優越性が検証された。

■ BICRによるrPFSのKaplan-Meier曲線 (FAS, rPFS主要解析)



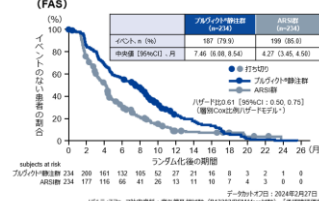
OS最終解析(データカットオフ日: 2025年1月1日)におけるOS中央値は、プルヴィクト群で24.48ヵ月(95%CI: 19.55, 28.94)、ARSI群で23.13ヵ月(95%CI: 19.61, 25.53)であった[ハザード比0.91(95%CI: 0.72, 1.14)。クロスオーバーによる影響を調整した結果、IPCW法(モデル7:フルモデル)による調整後のハザード比は0.59(95%CI: 0.38, 0.91)であった。

■ OSのKaplan-Meier曲線 (FAS, OS最終解析, クロスオーバー未調整)

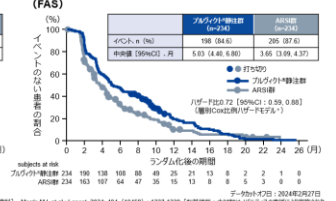


健康関連QoLについて、ベースラインのFACT-P合計スコアの平均値は、プルヴィクト群で115.42、ARSI群で111.15であり、FACT-P合計スコアの悪化までの期間の中央値はそれぞれ7.46ヵ月(95%CI: 6.08, 8.54)及び4.27ヵ月(95%CI: 3.45, 4.50)であった。また、ベースラインのBPI-SF疼痛の強さスケールの平均値は、プルヴィクト群で2.21、ARSI群で2.35であり、BPI-SF疼痛の強さスケールの悪化までの期間の中央値はそれぞれ5.03ヵ月(95%CI: 4.40, 6.80)及び3.65ヵ月(95%CI: 3.09, 4.37)であった。

■ FACT-P合計スコアの悪化までの期間のKaplan-Meier曲線 (FAS)



■ BPI-SF疼痛の強さスケールの悪化までの期間のKaplan-Meier曲線 (FAS)



その他の副次評価項目について、新たな症候性骨関連事象(SSE)発現までの期間の中央値(95%CI)はプルヴィクト群では推定できず、ARSI変更群で17.97ヵ月(95%CI:14.26ヵ月,推定不能)であった。PSA値のベースラインからの最良変化率は、PSA値がベースラインから減少した患者の割合はプルヴィクト群69.95%,ARSI変更群42.99%であった。また、PSA奏効率(PSA値がベースラインから50%以上低下した患者の割合)はプルヴィクト群50.7%,ARSI変更群17.3%であった。PFSの中央値は、プルヴィクト群で6.70ヵ月(95%CI:5.49ヵ月,8.77ヵ月),ARSI変更群で3.12ヵ月(95%CI:3.02ヵ月,3.29ヵ月)であった。

安全性について、無作為化治療下の安全性評価期間中(治験薬の投与開始日から投与終了の来院後30日以内、本薬の投与終了後41日以内若しくはARSIの投与終了後30日以内のいずれか遅い日まで)の死亡は、本薬群4/227例(1.8%),ARSI群9/232例(3.9%)に認められた。疾患進行による死亡例(ARSI群4例)を除く患者の死因は、本薬群で心停止、腸管虚血、COVID-19肺炎及び敗血症各1例、ARSI群で心停止、多臓器機能不全症候群、脳卒中、昏睡及び呼吸困難各1例であった。このうち、ARSI群の脳卒中1例では治験薬との因果関係は否定されなかった。また、クロスオーバー治療の安全性評価期間中(本薬の投与開始日から投与終了の来院後30日以内又は本薬の投与終了後41日以内のいずれか遅い日まで)の死亡は、本薬へのクロスオーバーがされた10/134例(7.5%)に認められた。疾患進行による死亡例(7例)を除く患者の死因は、心肺停止、全身健康状態悪化及び硬膜下血腫各1例であり、いずれも本薬との因果関係は否定された。

おわりに

PSMAを標的としたセラノスティクスは、前立腺癌の診断と治療において革新的な進歩である。プルヴィクトおよびロカメッツは、それぞれ治療と診断の両輪として臨床現場で重要な役割を担うことが期待されており、今後は安全性の更なる評価が待たれている。個別化医療の推進とともに、患者予後へのさらなる貢献が望まれている。

参考文献

- 1) Hupe MC, et al.: Front Oncol. 2018; 8: 623.
- 2) 医薬品医療機器総合機構: プルヴィクト 静注 審査報告書, 2025年.
- 3) ノバルティス ファーマ株式会社. プルヴィクト®静注 インタビューフォーム. 2025年11月改訂.
- 4) Bostwick, D.G. et al. : Cancer 1998; 82(11): 2256-2261 (PMID : 9610707)
- 5) Ghosh, A. et al. : J. Cell Biochem. 2004; 91(3): 528-539 (PMID : 14755683)
- 6) Wright, G.L. Jr. et al. : Urol. Oncol.1995; 1(1): 18-28 (PMID : 21224086)
- 7) Silver, D.A. et al. : Clin. Cancer Res. 1997; 3(1): 81-85 (PMID : 9815541)
- 8) ノバルティス ファーマ株式会社. ロカメッツ®キット インタビューフォーム. 2025年11月改訂.
- 9) National Comprehensive Cancer Network (2024) NCCN Clinical Practice Guidelines in oncology (NCCN Guidelines). Prostate Cancer, Version4.2024.
- 10) Crawford, E.D. et al. : J. Urol. 2019; 201(4): 682-692 (PMID : 30077557)
- 11) ノバルティス ファーマ株式会社. ガリアファーム® ⁶⁸Ge/⁶⁸Ga ジェネレータ インタビューフォーム. 2025年11月改訂.

あなたのこだわりは？

大阪大学医学部附属病院 神谷 貴史

核医学部会誌に最後まで目を通していただきありがとうございます。

今回の部会誌では昨年末に保険承認された去勢抵抗性前立腺がんに対する核医学治療に焦点を当て、Topicsとして「ガリアファーム (ジェネレータ)」、「ロカメッツ (キット)」、「プルヴィクト静注」について供給企業より寄稿をいただきました。また、2026年4月の核医学部会では「核医学治療フロンティア・病室運用からイメージング・線量評価まで」をテーマに掲げ、本核医学治療を中心としたプログラムを企画しております。教育講演では東北大学大学院、医学系研究科放射線腫瘍学分野の神宮啓一教授をお招きし「 ^{177}Lu -PSMA を用いた去勢抵抗性前立腺がんの核医学治療：現状と今後の展望」と題してご講演をいただく予定です。さらに、シンポジウムでは特別措置病室の運用から PSMA PET における診断、 ^{177}Lu -PSMA-617 でのイメージングおよび線量評価 (Dosimetry) に至るまで4人の演者の先生方に講演をお願いしております。近年、メガファーマによる大規模投資が相次いでいることから明らかのように、核医学治療は世界的にも大きな注目を浴びている領域です。核医学部会としても、この重要なタイミングにおいて会員の先生方に本分野の最新情報を広く、かつ深く共有していただきたいと考えております。多くの先生方のご参加を心よりお待ちしております。

さて、今回の編集後記のタイトルは中国・四国支部 核医学研究会の世話人の先生から質問された言葉になります。先日 web 開催されました第55回 核医学研究会プログラム(冬季夢工房)のタイトルである「核医学のこだわりシリーズ」に紐づいているわけですが、私は

「窓造して操像した総像が搜臓しやすい送像か総増して想像し、診療を奏増する送贈をする。また、奏増する相僧と創造を挿蔵するために騒造することで層増、総増する、という双象」を走増する業務に走雑する騒々しい中でもこだわりたいと思っています。

あなたのこだわりは？