

核医学治療時の線量管理

～ AIによる臓器のセグメンテーションにより再現性が向上した ～



金沢大学附属病院



米山 寛人 先生

金沢大学附属病院 放射線部

◆ はじめに

核医学治療における線量評価(Dosimetry)は、患者ごとに最適な放射エネルギーを決定し、治療効果を最大化しながら副作用を最小限に抑えるために非常に重要である。個々の臓器や病変が受ける放射線の量を正確に評価することで、標的組織に対して十分な治療効果を発揮しつつ、正常組織への不要な被ばくを避けることができる。特に放射性医薬品を用いる治療では、患者ごとの個体差が大きいため、個別の線量評価が治療結果に直結する。Dosimetryに基づく治療計画により、より安全かつ効果的な治療を提供でき、核医学治療における重要な要素となっている。

核医学におけるDosimetryによる治療計画は、正確な臓器のセグメンテーションが非常に重要である。Xeleris Vは、ディープラーニングを用いた臓器の自動セグメンテーションにより、従来の手法に比べて再現性と効率性を大幅に向上させる技術が搭載された。本稿では、Xeleris Vの使用経験と、臨床現場での評価について述べる。

◆ Xeleris Vの特長

核医学装置ワークステーションであるXeleris Vの最大の特長は、AI(人工知能)を利用した臓器のセグメンテーションである。ディープラーニング技術により、複雑な臓器の形状を正確に捉え、再現性の高い自動セグメンテーションが可能となった。特に、肝臓や腎臓などの大きな臓器においては、従来の手動セグメンテーションと比較して作業量の減少だけでなく精度が大幅に向上した。Xeleris VにはMedical Internal Radiation Dose (MIRD)法に基づく患者内部被ばく線量を推定するソフトウェアであるQ.Thera AIが搭載されている。Q.Thera AIは核医学画像を用いたDosimetryを一つのアプリケーション内で完結できるパッケージである。



Xeleris Vの外観

◆ Q.Thera AIの特長

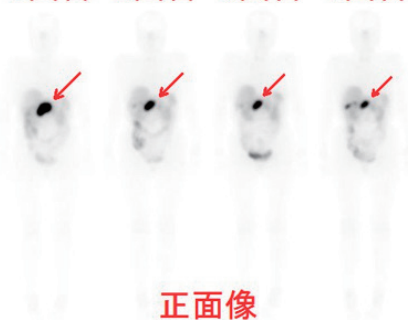
Q.Thera AIは、核医学治療における治療計画支援ツールとして設計されている。特に、Lu-177 DOTA-TATEやI-131 MIBG等の放射性医薬品を用いた治療において、適切な投与量の計算をサポートするために開発された。Q.Thera AIのアルゴリズムは、個々の患者に合わせた治療計画をリアルタイムで提供し、治療効果の予測や副作用のリスク管理にも活用されている。また、Xeleris VのAIセグメンテーション技術と組み合わせることで、より高精度な臓器のボリューム解析や放射線の分布予測が可能になる。

◆ 症例 1 Lu-177 DOTA-TATE が奏功した症例 ◆

80歳代女性 膵神経内分泌腫瘍G2 投与量7,238MBq
 治療1回目の腫瘍の吸収線量42.2Gy、両腎臓の吸収線量3.8Gy

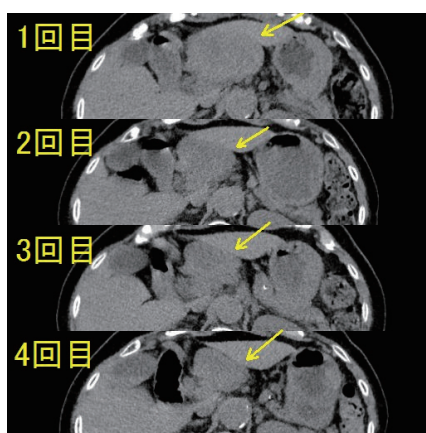
本症例は膵神経内分泌腫瘍G2に対してLu-177 DOTA-TATEを用いたPeptide Receptor Radionuclide Therapy (PRRT) が実施された。1回目のPRRT後から徐々に腫瘍は縮小した。4回目治療後のRECISTによる評価は部分奏功(腫瘍の縮小率39%)であった。

1回目 2回目 3回目 4回目

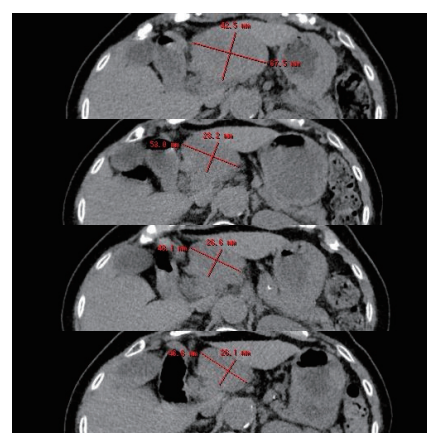


正面像

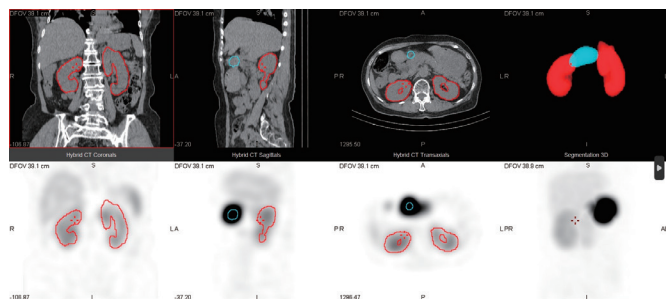
1～4回治療時の前面像



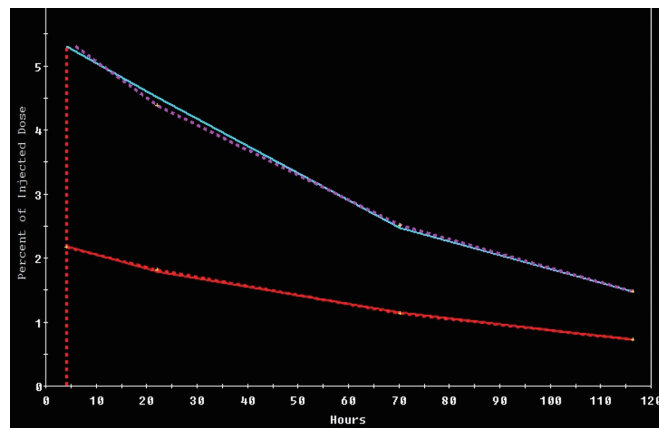
1～4回治療時のCT画像



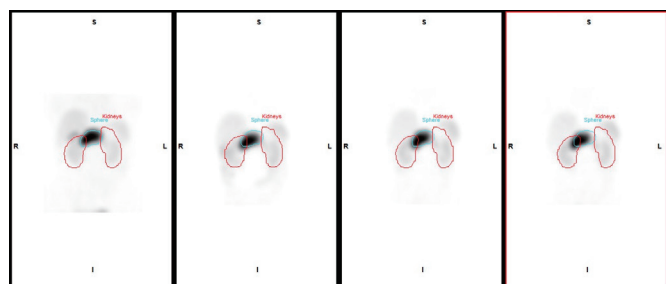
腫瘍の縮小が確認された



腫瘍と腎臓のセグメンテーション



時間放射能曲線



腫瘍と腎臓のセグメンテーション

Organ	Volume (CC)	Residence Time (hours)	Absorbed Dose (mGy)	Organ Effective Dose (mSv)
Sphere	72.90	4.96	42230.14	
Kidneys	376.50	2.32	3833.49	35.386

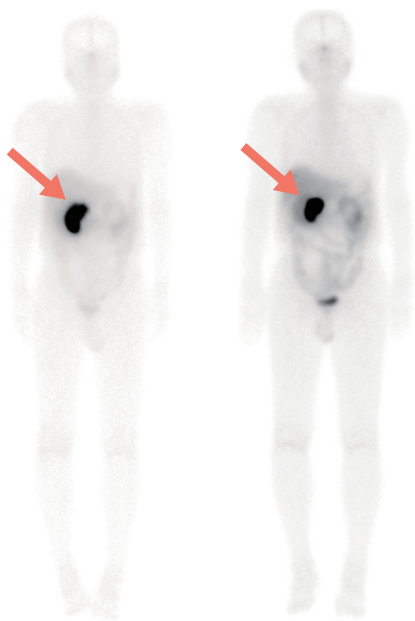
腫瘍と腎臓の体積・滞留時間・吸収線量

◆ 症例 2 Lu-177 DOTA-TATE が奏功した症例 ◆

70歳代男性 膵神経内分泌腫瘍G2 投与量7,399MBq

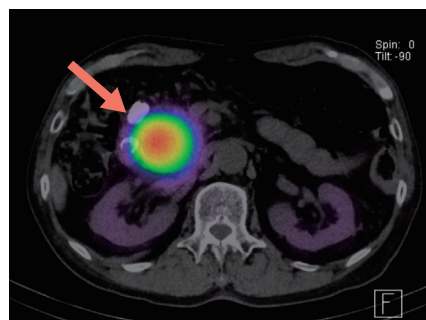
治療1回目の腫瘍の吸収線量50.4 Gy、両腎臓の吸収線量3.2Gy、肝臓の吸収線量1.2Gy

本症例は膵神経内分泌腫瘍G2の治療のためにLu-177 DOTA-TATEが投与された。1回目のPRRT後から徐々に腫瘍は縮小し、4回目治療後のRECISTによる評価は部分奏功(腫瘍の縮小率38%)であった。

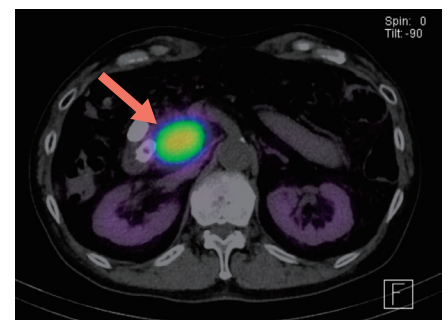


PRRT
1回目
前面像

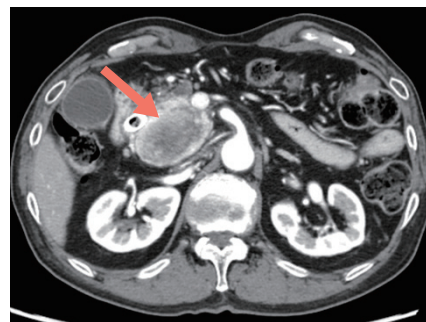
PRRT
4回目
前面像



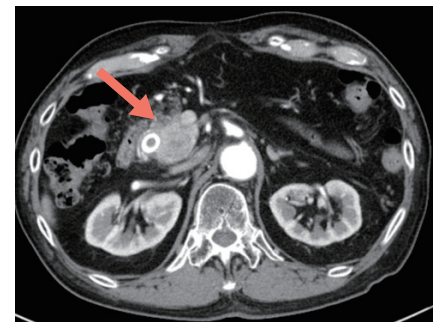
PRRT1回目SPECT/CT像



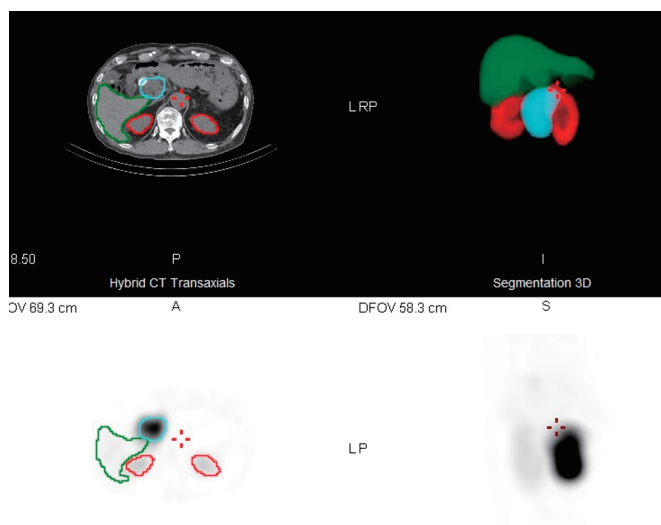
PRRT4回目SPECT/CT像



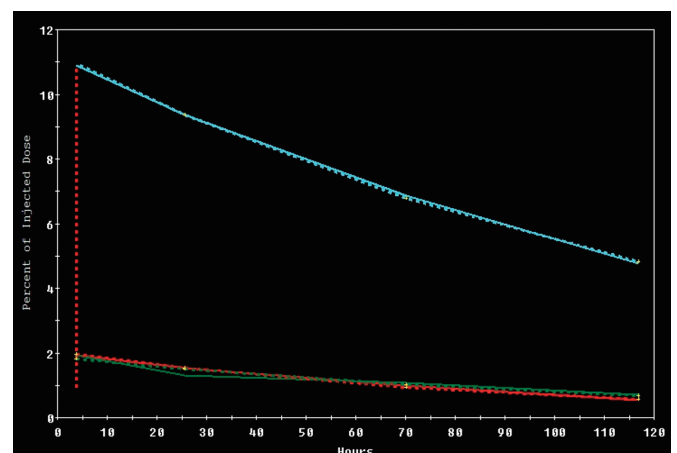
治療前の造影CT像



治療後の造影CT像



腫瘍、腎臓、肝臓のセグメンテーション



時間放射能曲線

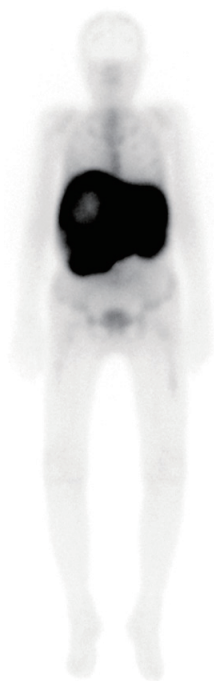
Organ	Volume (CC)	Residence Time (hours)	Absorbed Dose (mGy)	Organ Effective Dose (mSv)
Sphere	197.30	15.55	50430.05	
Kidneys	363.10	1.84	3246.18	29.965
Liver	1200.00	2.20	1202.78	48.111

腫瘍、腎臓、肝臓の体積・滞留時間・吸収線量

◆ 症例 3 高度の骨髄抑制を来した症例 ◆

80歳代女性 肝原発神経内分泌腫瘍G2、肝内多発転移、多発骨転移 投与量7,301MBq
赤色骨髄の吸収線量1.38Gyで、治療後にグレード4の骨髄抑制となり治療を中止した。

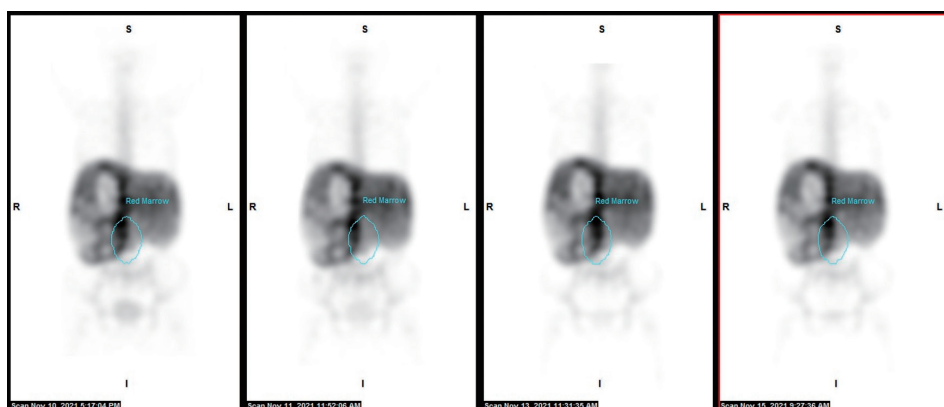
本症例は肝原発神経内分泌腫瘍G2で肝内多発転移、多発骨転移があり、治療時の全身シンチグラフィではびまん性の骨転移に著明な高集積が認められた。治療後にグレード4の血小板減少を来した。塩化インジウム (In-111) による骨髄シンチグラフィでは骨髄機能の高度低下を認め、ルタテラによる副作用が疑われた。



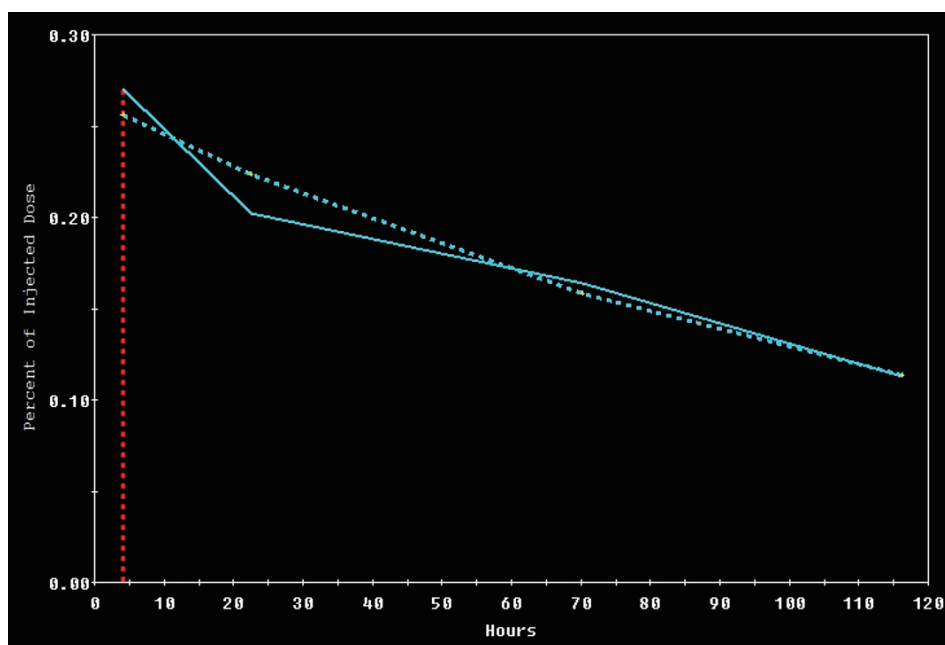
Lu-177 DOTA-TATEの前面像



塩化インジウム (In-111) の前面像



赤色骨髄のセグメンテーション
(腰椎箇所でのセグメンテーションによる吸収線量算出アプローチ)



時間放射能曲線

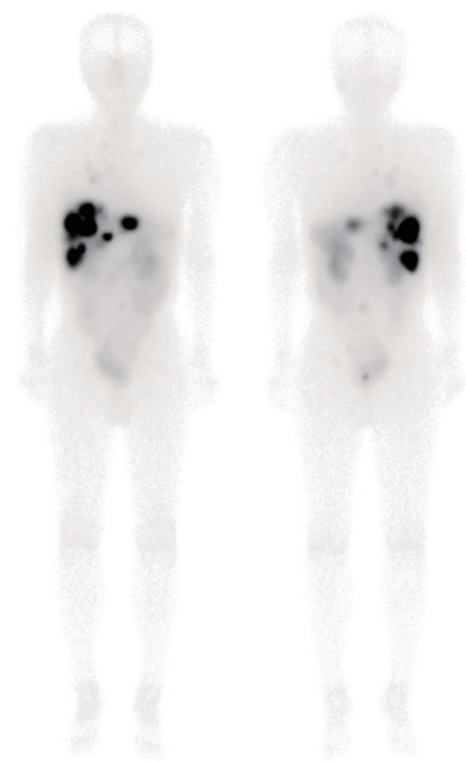
Organ	Volume	Residence	Absorbed	Organ
	(CC)	(hours)	(mGy)	Effective Dose
				(mSv)
Red Marrow	87.80	0.36	1380.29	165.634

赤色骨髄の体積・滞留時間・吸収線量

◆ 症例 4 腎機能低下を来した症例 ◆

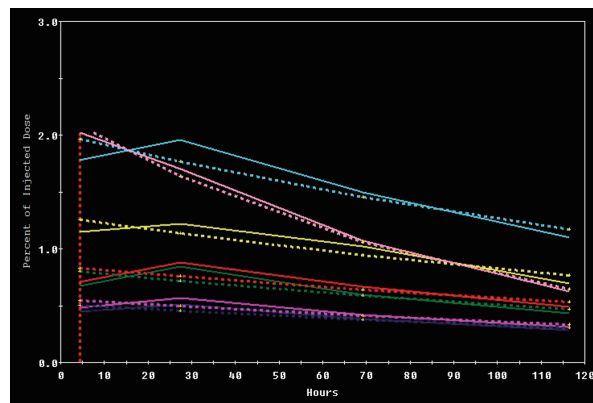
50歳代男性 肝内胆管原発神経内分泌腫瘍G2 投与量7,550MBq
治療1回目の腫瘍の吸収線量42.4～56.4Gy、両腎臓の吸収線量4.6Gy

本症例は肝内胆管原発の神経内分泌腫瘍G2に対してLu-177 DOTA-TATEが投与された。4回目投与後に腫瘍は縮小したがeGFRが治療前59から治療後32mL/min/1.73m²に低下したため、要経過観察となった。RECISTによる評価は部分奏功（腫瘍の縮小率58%）であった。



前面像

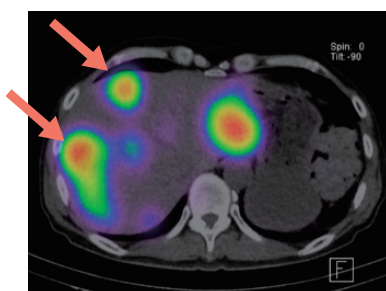
後面像



時間放射能曲線

Organ	Volume (CC)	Residence Time (hours)	Absorbed Dose (mGy)
Sphere	51.40	4.32	50411.99
Sphere(1)	23.30	2.12	54242.99
Sphere(2)	19.40	1.72	52828.18
Sphere(3)	13.30	1.27	56736.59
Sphere(4)	30.20	2.87	56880.83
Sphere(5)	15.50	1.12	43063.81
Kidneys	276.40	2.09	4566.56

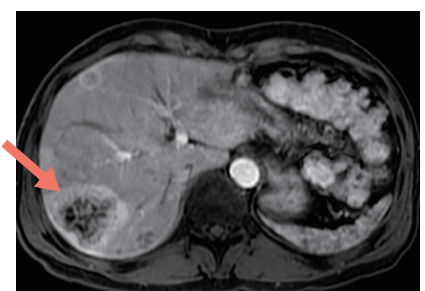
体積・滞留時間・吸収線量



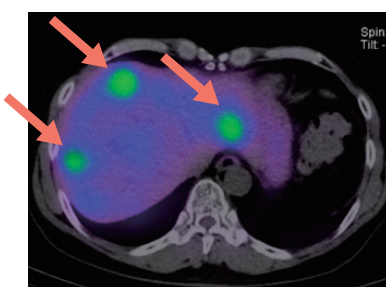
PRRT1回目SPECT/CT像



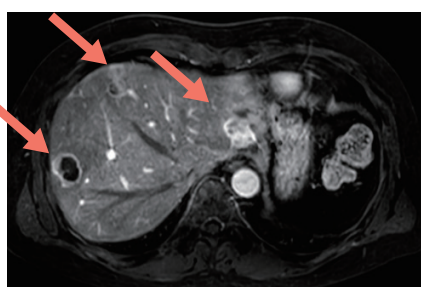
治療前MRI



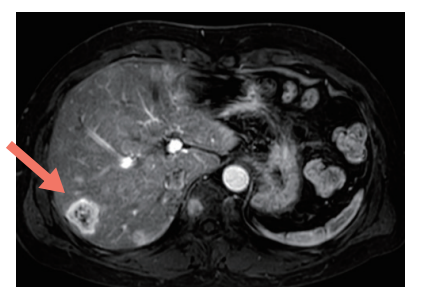
治療前MRI



PRRT4回目SPECT/CT像



治療後MRI



治療後MRI

◆ Q.Thera AIの課題

一部の症例で自動セグメンテーションがうまくいかないことを経験した。まず、腎臓については、腫瘍が近くにある場合や痩せていて腎臓の周囲に脂肪が少ない場合、水腎症で腎盂が拡張している場合などが挙げられる。肝臓の自動セグメンテーションでは、心臓や脾臓など周辺の臓器を誤認識することがあり、手作業での修正が必要となることがあった。また、多発肝転移など、多発している病変は、集積の識別が困難であった。

◆ 核医学医師からの評価

臨床現場において、核医学医師からはXeleris VとQ.Thera AIの連携に対して高い評価が寄せられている。自動セグメンテーションにより、従来の手動操作に比べて作業効率が向上し、医師の負担が軽減されただけでなく、治療計画の精度も向上した。また、再現性が高いため、同じ患者に対する繰り返しの治療でも一貫した結果を得ることができ、臨床的な信頼性が向上している。核医学医師たちは、これらの技術が次世代の核医学治療に不可欠なツールになると期待している。

◆ 今後の展望について

Q.Thera AIがLu-177 DOTA-TATEやI-131 MIBG以外の治療薬にも応用できる可能性がある。α線放出核種などの新治療薬にも対応できるようにするためには、Q.Thera AIのアルゴリズムやデータベースを拡充することが必要だと思われる。新治療薬の開発に合わせて適切な対応策やデータセットを追加していくことで、さらに多くの患者に有益な治療を提供できることが期待できる。



絹谷 清剛 先生

金沢大学附属病院 核医学診療科 教授

本稿は、Xeleris VのAIによる臓器セグメンテーション技術が、核医学治療における線量評価に与える影響について詳細に述べています。特に、Q.Thera AIにより、治療計画の精度と効率が向上し、医師や技師の負担軽減に寄与している点が評価されます。症例報告からも、具体的な治療効果が示されており、臨床現場での実用性が裏付けられています。しかし、自動セグメンテーションの課題も明示されており、さらなる技術向上が求められます。今後、Q.Thera AIのアルゴリズムやデータベースの拡充が進むことで、より多くの患者に対する最適な治療が実現されることが期待されます。

GEヘルスケア・ジャパン 株式会社
カスタマー・コールセンター 0120-202-021

gehealthcare.com



※お客様の使用経験に基づく記載であり、仕様値として保証するものではありません。

一般的名称:核医学装置ワークステーション
販売名称:ジニー (GENIE)
類型:ジニーエクセラリス (GENIE Xeleris) シリーズ
医療機器認証番号:20700BZY00161000

記載内容は、お断りなく変更する場合がありますのでご了承ください。
カタログの写真や色は印刷により若干異なる場合があります。

JB11125JA