

## 【助成 40-05】

### 食道癌リンパ節転移を見落とさず検知する PET を応用した術中計測支援機器の開発

研究者 千葉大学フロンティア医工学センター 准教授 川村 和也

#### 〔研究の概要〕

食道癌治療は、広範囲に渡るリンパ節郭清により根治率を維持している一方、年々増加傾向にある術後合併症が課題である。先行研究では、食道癌に対する FDG 特異性を利用し、これを術中に計測することで転移を特定する鉗子型ミニ PET の開発を進めてきた。本研究では、鉗子型ミニ PET の抱える課題のとして、検出器と線源の相対的位置の違いによる放射線検出感度のばらつきに着目し、ロボット技術を利用した適切な食道癌の切除範囲をヒトの技量に依存せず術中に決定する支援システムの試作を目的とした。計測方向に応じた感度分布を計測・評価した結果から、ロボットアームを用いて検出感度最大点と線源位置を一致させる手法を構築した。

#### 〔研究経過および成果〕

内視鏡手術やロボット支援手術の進歩にともなう、外科の「取る」技術が進歩を続ける今、「術中に見る」技術が求められている。特に、術中における食道癌のリンパ節転移の見極めは、術前の画像診断を用いても、術前・術中での患者の体位差や呼吸運動の影響などから非常に難しい。術中にリンパ節転移を目視することはほぼ不可能であるため、現状の外科治療では、転移する可能性のあるリンパ節をすべて切除する治療を標準とし、根治性を高めてきた。しかし、高侵襲な治療となるにも関わらず、切除後の病理検査で転移が認められたものは極めて僅かであると報告されている。術後の死亡率の高さも指摘されていることから、術中において適切な切除範囲の決定が課題となっている。先行研究として、陽電子放出断層撮像 (PET) を小型化し、術中利用する鉗子型ミニ PET の開発を行い、PET 機能を応用した癌検知の可能性を確認した。しかし、鉗子構造を模したことで、検知精度が対象部位の大きさや使用者の技量に大きく依存することが確認され、術中に安定かつ正確

に計測することが課題となっている。そこで、鉗子型ミニ PET を基本構造とし、体内自由度の拡張と計測動作を支援するロボット技術を利用した適切な食道癌の切除範囲をヒトの技量に依存せず術中に決定する手法の実現を目指す。本研究では、実験的検討段階として、提案システムに必要な機構面と制御面における仕様選定と試作開発を目的とした。

安定かつ正確に計測するために鉗子型ミニ PET の抱える課題として、検出器と線源間の角度・距離の違いによる放射線検出感度のばらつきがあること、検出器と線源の相対的位置の違いによる放射線検出感度のばらつきがあることの二つが挙げられる。前者の課題は先行研究にて、リアルタイムに計測した鉗子先端角度を用いた感度補正により改善できることが確認されている。そこで、検出器表面上の放射線検出感度分布を計測した (Fig.1)。この結果から、検出器表面上の水平方向(x 軸)、長軸方向(y 軸)方向でそれぞれ放射線検出感度のピーク値が発生し、それらピーク値の交点で放射線検出感度が最大になることがわかった (Fig.2)。これは、検出器中心部の方が、

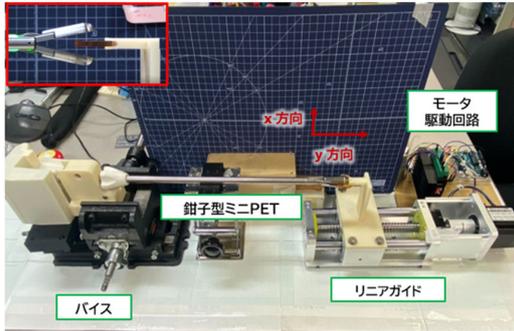


Fig.1 計測実験のセットアップ

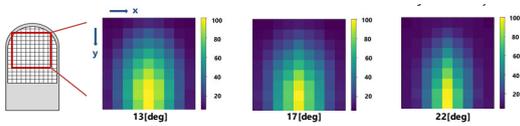


Fig.2 鉗子先端角度に応じた検出感度分布

放射線を検出できる立体角が広く、放射線が通過できる結晶内距離が長いことに起因する。

この結果に基づき、それぞれの方向に対して放射線量のピーク値を探索し、その交点が理論的には線源位置と一致する。この検出器特性を踏まえると、検出器の感度最大点と線源位置が一致した状態で放射線計測を行うことができれば、検出器と線源の相対的位置の違いによる感度のばらつきを排除できると考えられる。これにより、放射線検出感度の補正係数は鉗子先端角度にのみ依存して決定されることとなり、鉗子型ミニPETにおける2点の課題を解決できると考えた。これに加えて、鉗子型ミニPETの操作では、計測対象の臓器を牽引した状態での計測が必要となる。清潔環境内における人員やタスク、医療従事者への被ばく抑制といった観点も含めて、

本研究では放射線量のフィードバックに基づいて鉗子型ミニPETを自動制御することで、正確な位置制御とそれに基づく線源探索が可能なシステムとすることとした。現在は、Fig.3に示すシステム試作を行

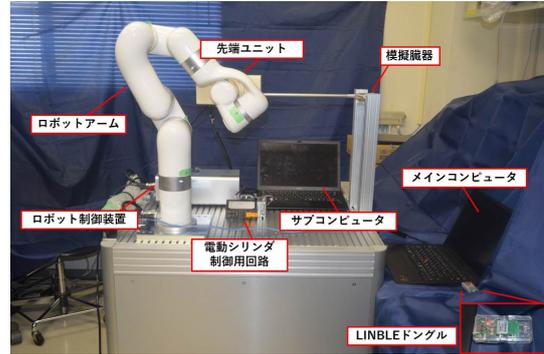


Fig.3 支援システムの試作

っている。動作精度を検証しつつ、その評価を進めている。

[発表論文]

1. 中島彩乃, 川村和也, 伊藤繁記, 高橋美和子, 山谷泰賀, "鉗子型ミニPETにおける放射線検出感度の位置依存性評価", 日本コンピュータ外科学会誌, vol. 25, no. 3, p.87, 第32回日本コンピュータ外科学会(JSCAS2023), 鹿児島県鹿児島市, 12月, 2023
2. 中島彩乃, 川村和也, 伊藤繁記, 高橋美和子, 山谷泰賀, "鉗子型ミニPETにおける放射線検出感度補正システムの開発", Proceedings of the 2023 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Nagoya, Japan, June 28-July 1, 2023
3. 中島彩乃, 川村和也, 伊藤繁記, 高橋美和子, 山谷泰賀, "鉗子型ミニPETの開発 / 検出感度補正法に関する検討", 未来PET創造研究ユニット「第2回 Bench to Clinical シンポジウム, July 12-13, 宮城県仙台市, 2023  
(現在英文誌へ投稿中1件)