

審査の結果の要旨

氏名 西尾 禎治

本研究は、がんの陽子線治療において、患者への陽子線照射によって入射陽子核と患者体内にある標的原子核で起こる原子核破砕反応（標的原子核破砕反応）を利用して陽子線照射領域を可視化し、その可視化情報から腫瘍に対する照射線量を誘導する高精度陽子線治療法に関するものであり、下記の結果を得ている。

1. 患者への陽子線照射によって、体内で起こる標的原子核破砕反応の反応メカニズムを原子核反応のシミュレーションにより、照射領域の可視化の情報因子となる主なポジトロン放出核は主な人体構成要素である、炭素核、酸素核及びカルシウム核を標的核として生成される ^{11}C 、 ^{10}C 、 ^{15}O 、 ^{14}O 及び ^{38}K であることを示した。特に、反応断面積が大きく半減期の短い ^{15}O （約2分の半減期）が陽子線治療における照射領域の可視化において、最も重要なポジトロン放出核であることを推測した。
2. ポリエチレンブロックや水などのターゲット、そして陽子線治療を行った患者に対するコマーシャルベースの PET 及び PET/CT 装置を用いて、陽子線照射によってターゲット中及び患者体内中で生成されたポジトロン放出核を計測し、照射領域を可視化した。陽子線治療を実施した患者では、世界で初めて照射領域の可視化を実現した。得られた照射領域可視化画像の activity 分布を解析し、シミュレーションで予想したポジトロン核種がターゲット内や患者体内で生成されていることを裏付けた。コマーシャルベースの PET 及び PET/CT 装置を用いる Beam OFF-LINE PET system においては、陽子線照射終了から PET 撮影開始まで10分程の時間を要するため、短半減期が約2分である ^{15}O の情報は十分収集できないことを示した。
3. 短半減期のポジトロン放出核の情報を照射領域可視化に十分利用するために、陽子線照射室内のビームライン上に、高空間分解能を有する検出器ヘッドを持つプロトタイプの Beam ON-LINE PET system を構築した。構築したこのシステムを用いて、実際の陽子線治療を模擬した動物実験を実施し、Beam ON-LINE PET system の有用性を示した。Beam ON-LINE PET system を用いた動物実験の結果から、陽子線照射によって生成された ^{15}O を主成分とする多種のポジトロン放出核をマージした仮想的なポ

ジトロン放出核を想定すると、約2分と約15分の2成分の半減期を持つ仮想ポジトロン放出核として扱えることが判った。

4. プロトタイプの Beam ON-LINE PET system の実験成果から、臨床用 Beam ON-LINE PET system として、国立がん研究センター東病院の陽子線治療装置の回転ガントリー照射室内に、Beam ON-LINE PET system mounted on a rotating gantry port (BOLPs-RGp)を開発し設置した。陽子線治療を実施した、頭頸部、肝臓、肺、前立腺、脳腫瘍の患者の照射領域可視化画像を取得することを世界で初めて実現した。
5. 特に、頭頸部腫瘍の陽子線治療においては、腫瘍の縮小や患者の体型変化に伴う腫瘍に対する陽子線照射精度の悪化を、BOLPs-RGp を用いた照射領域のリアルタイム確認によって防ぐことができ、高精度の陽子線治療を患者へ提供することを実現した。
6. 陽子線の照射線量と照射領域可視化画像の activity 分布の変化に相関があることを発見し、今後の陽子線治療の進歩に貢献する成果を見出した。

以上、本論文は標的原子核破砕反応による照射領域の可視化を実現させ、高精度陽子線治療である線量照射誘導陽子線治療を患者へ提供することを可能にしたものである。本研究は先駆的に BOLPs-RGp を研究開発し、世界で初めて照射領域可視化を実臨床で活用した高精度陽子線治療を実現し、その新規性は極めて高く、国民の生活向上に重要な貢献をなしていると言える。

よって、本論文は学位の授与に値するものと考えられる。