

論文内容要旨

Baseline drift vector of multiple points on body surface using a near-infrared camera

(近赤外線カメラによる体表面複数点のベースラインドリフトベクトル法の開発)

Physical and Engineering Sciences in Medicine,
45(1):143–155;2022.

主指導教員：永田 靖教授

(医系科学研究科 放射線腫瘍学)

副指導教員：栗井 和夫教授

(医系科学研究科 放射線診断学)

副指導教員：村上 祐司准教授

(医系科学研究科 放射線腫瘍学)

大橋 厚之

(医歯薬保健学研究科 医歯薬学専攻)

1. 序論

現代の放射線治療では、腫瘍だけに十分な線量を投与すると同時に近傍の正常臓器が受ける線量を低く抑える技術が開発され、高精度化が推進されてきた。特に肺や肝臓などの可動臓器に高線量を投与する体幹部定位放射線治療においては、呼吸運動に伴う腫瘍の動きを計測するために、様々な原理に基づく呼吸運動監視システムが開発されてきた。例えば、腫瘍近傍に埋め込まれたマーカーを X 線透視で監視するシステムは、腫瘍近傍の動きを直接監視するため位置精度が高いという利点がある一方で、被ばく線量の増加が問題となる。その他に、赤外線センサーを用いて体表面を非侵襲的に監視する様々なシステムが開発されてきた。具体的には、赤外線センサーからの距離を計測するシステムや、複数の赤外線カメラを用いて体表面形状を監視するシステムが挙げられるが、いずれも体表面の特定の点の追跡をしていない。また、体表面の位置は、腫瘍の呼吸性移動によるものと筋肉の弛緩や硬直によるベースラインドリフトによるものがあるため、既存のシステムよりも詳細なデータを取得できるシステムの開発が必要であると考えられる。そこで本研究では、体表面の複数点を 3 次元的に追跡することで、特にベースラインドリフトの動きを 3 次元的に監視することが可能なシステムを開発した。体表面上の各点のベースラインドリフトを 3 次元ベクトルとして抽出し、その重要性を示すことを本研究の目的とした。

2. 方法

我々が開発したシステム (Body Surface Tracker, BST) は、近赤外線カメラ (Kinect V2) と、一般的に販売されている青色の円形シール (直径 2 cm) をマーカーとして認識するソフトウェア (Marker Tracker) で構成されている。体表面に貼付された最大 30 個のマーカーの動きを近赤外線カメラで追跡することにより、各マーカーの 3 次元座標を取得し、ベースラインドリフトベクトル (baseline drift vector, BDV) を算出することが可能である。

はじめに、動くマーカーに対する BST の基本性能を評価した。振幅と周期が設定可能な動態ファントムにシールを貼付し、振幅を 15mm で固定した上で周期を変化させることで、シールの運動検出能力を検証した。次に、8 人の健康なボランティアの体表面に 30 個のシールを貼付し、30 分間シールの追跡を行い、3 次元座標を取得することで、BDV を容易に算出する手法を開発した。ただし、ボランティアで検証を行う前に、シールの貼付領域は、胸骨部、肋骨部、腹部の 3 領域に分類し、それぞれ 3 個、12 個、15 個のシールを貼付した。BDV の各座標成分の 1 分間あたりの移動量が設定した許容範囲 (1 mm または 2 mm) を超える頻度の解析、2 つのシール添付領域間の BDV 相関関係の解析、肋骨の 1 つに着目し 3 次元的な体表面シールの動きの可視化を行った。

3. 結果と考察

ファントムを用いた動くマーカーに対する検証の結果、位置分解能はシールの速度に依存せず、標準偏差が 0.52 mm であった。この結果を元に、シールの速度、周期の観点から位置分解能を検討し、人にシールを貼付した場合も追跡可能であると判断した。次に、8人のボランティアでBDVを計測した結果、体表面の3次元的なBDVが存在することを確認した。BDVの中には時間と共に変化していく遅いBDVや短時間に頻発するBDVの存在が確認できた。このことから、BDVはボランティアによる意図的な動き（体勢の疲れなど）や呼吸運動などの複数の要因を含んでいる可能性が示唆された。また、1分間あたりの移動量が設定した許容範囲（1 mmと2 mm）を超える頻度は、それぞれ30%と15%であった。そのため、治療計画のためのCT撮影のような、わずかな時間であってもBDVへの考慮は重要であると考えられる。さらに、2つのシール貼付領域間のBDV相関関係についても検証した結果、それぞれの領域が同様の動きをした場合、もしくは異なる動きをした場合に分別することで領域全体の並進運動と呼吸運動とを区別できる可能性が示唆された。これが明確に区別できるようになれば、1つの動きに対して生理学的な動きであるか意識的な動きであるかが判別でき、様々な動きに対する対処が可能になると考えられる。最後に、肋骨の1つに着目し3次元的な体表面シールの動きを可視化することに成功した。これによって直感的に貼付シールの動きを把握することが可能となり、頭尾方向のベースラインドリフトの動き確認することができた。

4. 結論

非侵襲的な近赤外線カメラを使用して体表面上の複数点の3次元追跡システムを低コストで構築し、ベースラインドリフトを計測する方法を確立した。また、本研究の解析により頭尾方向のベースラインドリフトの存在が明らかとなった。これらのことから、体表面の3次元的な追跡は、放射線治療の精度向上においても重要な要素であると考えられる。