

京都大学	博士 (医 学)	氏 名	中 村 光 宏
論文題目	Analysis of Respiratory-induced Tumor Motion toward Four-dimensional Radiotherapy (呼吸運動に起因する腫瘍動態解析に基づいた放射線治療の四次元化に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
放射線治療は、X線透視画像からCT画像に基づく三次元治療計画へ移行し、それに応じて照射方法の自由度も増え、腫瘍に対する線量集中性を高めた照射が可能となっている。一方、通常のCT画像には体内臓器の呼吸性移動および変形情報の欠落や、治療計画時と照射時のそれらの状態の差異に起因した照射精度の低下が懸念される。その解決策として、時間因子を加えた四次元(4D)放射線治療が挙げられる。これを実現するためには、腫瘍や周辺臓器の移動および変形を時系列で捉える4Dイメージング技術やそれに基づいた4D放射線治療計画技術、動く腫瘍を選択的かつ的確に照射する4D照射技術の開発が要求される。本論文では、4Dイメージング技術として、4DCTの物理特性を評価し、呼吸運動による腫瘍の移動や変形の影響が顕著である肺定位放射線治療計画において4DCTの有用性を示した。さらに、4D照射技術の一手法である非侵襲的呼吸同期照射の実現可能性について検討した。下記に各課題項目の研究要旨をまとめる。 (1)4DCTの物理特性評価。動体ファントムに対して、周期および移動量が異なる組合せ条件下で4DCTを撮影した。その解析結果から、移動速度が25 mm/s以上では、理論値と比して最大4.2 mmの位置誤差および87.4%の体積偏差が生じたが、時間位相に基づいたファントム動態の定量化やアーチファクトの大幅な低減が可能であり、その臨床的意義を示した。 (2)4DCTの肺定位放射線治療計画への臨床適用。呼吸性移動量が8 mm未満の上中葉肺腫瘍に対して肺定位放射線治療を施行した32例を対象に、CTガントリ一回転周期を4秒としたslow CTと4DCTを撮影し、それぞれで同定された肺腫瘍の幾何学的差異を定量的に解析した。その結果、slow CTで同定された肺腫瘍体積は、4DCT上の領域の92%に留まり、slow CTの肺腫瘍描出能が不十分であることを示した。 (3)非侵襲的呼吸同期照射の実現可能性に関する検討。非侵襲的呼吸同期照射では、腫瘍の動きを代替する外部信号を基に照射のタイミングを決定する。本研究では、肺腫瘍の呼吸性移動量が8 mm以上の11症例に対して、時系列のX線透視画像から画像処理により抽出した肺腫瘍位置と外部信号である腹壁位置の相関解析を行った。その結果、相関係数は平均で0.95と非常に高かった。そのうち6症例に対しては、音声呼吸コーチング法を導入し、同様の解析を行った結果、肺腫瘍の呼吸性移動量は平均で2倍に増大したが、相関性は有意に向上し、日間変動も安定した。 以上の研究は、4DCTの物理特性および呼吸運動に起因する腫瘍動態を明らかにし、腹壁信号および音声呼吸コーチング法による非侵襲的呼吸同期照射の実現可能性を示したもので、放射線治療の四次元化に寄与する。 これらの成果に基づき、当院の肺定位放射線治療計画は4DCTに完全移行した。また、音声に視覚を加えた呼吸コーチング法を、膵臓癌に対する呼気息止め強度変調放射線治療に展開している。			

(論文審査の結果の要旨)
本研究は、放射線治療における体内臓器の呼吸性移動や変形による照射精度の低下を改善すべく、現状の放射線治療手順における以下の重要な3課題に対して放射線治療の四次元(4D)化に向けた検討を行ったものである。
(1)4DCTの物理特性評価：動体ファントムを用いて、4DCTの物理特性を評価した結果、呼吸周期2秒の場合を除き、臨床使用に耐える精度であることを示した。
(2)肺定位放射線治療におけるslow CTと4DCTの腫瘍描出能の比較：肺定位放射線治療を施行した32症例を対象に、slow CTおよび4DCTを撮像し、肺腫瘍の描出能を比較した。その結果、4DCTはslow CTより優れた腫瘍描出能を有しており、臨床使用において有用であることを示した。
(3)腹壁運動に基づく呼吸同期照射法の評価と音声コーチングによる高精度化：肺腫瘍の呼吸性移動量が8 mm以上の11症例を対象に、腹壁位置と肺腫瘍位置との相関解析を行い、腹壁位置が肺腫瘍の動きの代替たり得るか検討した。その結果、腹壁と肺腫瘍の呼吸波形の位相ずれが原因で、腹壁位置が肺腫瘍位置を正確に表していない症例が見られた。内6症例に対して音声呼吸コーチング法を適用することで、両者の位相ずれは改善し、呼吸同期照射の高精度化が示唆された。
以上の研究は、4DCTの精度評価や呼吸運動に起因する腫瘍動態解析を行い、その有用性を示したものであり、放射線治療の4D化の実現に寄与するところが多い。
したがって、本論文は博士(医学)の学位論文として価値あるものと認める。
なお、本学位授与申請者は、平成22年2月23日実施の論文内容とそれに関連した試問を受け、合格と認められたものである。

要旨公開可能日： 年 月 日 以降