

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25861318

研究課題名(和文)非接触三次元計測装置を用いた関節可動域自動計測装置の開発

研究課題名(英文)Development of range of motion evaluation system using a non-contact three-dimensional measurement device

研究代表者

中原 龍一(Nakahara, Ryuichi)

岡山大学・医歯薬学総合研究科・岡山大学・医歯薬学総合研究科・助教

研究者番号：30509477

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：非接触三次元計測機は非侵襲的に体表の三次元データを撮像できる装置である。関節可動域は運動機能を評価するうえで基本的な評価項目であるが検者間誤差が高いことや計測時間の患者負担が問題であった。そこで非接触三次元計測機を用いて高い精度で三次元データを記録し、事後に計測を行う事で患者負担を減らすことを考えた。非接触三次元計測機のデータ形式である点群データをCTなどの3D画像と同じデータ形式に変換することで多くの病院に導入されている医療用ワークステーションで解析可能となる変換ソフトを開発した。次に健常人の関節可動域を計測し従来法よりも精度が高いことを検証した。残念ながら計測時間の短縮効果は少なかった。

研究成果の概要(英文)：The clinical measurement of range of motion (ROM) is a fundamental evaluation procedure of physical function. In this study, we developed a new ROM measurement system with a non-contact three-dimensional (3-D) surface scanner data in medical workstation. Then we investigated the reliability of a new ROM measurement with 3-D scanner. ROM measurement with a 3-D scanner was a better procedure than manual ROM measurement in terms of reliability. However, it was not nearly as fast as the manual measurement. Examiners must become familiar with the technique to improve speed. The non-contact 3-D surface scanner is a very useful tool, and in the future, it can be applied not only to ROM measurement but also to three-dimensional and sequential evaluations of joint deformation.

研究分野：整形外科

キーワード：非接触三次元計測機 関節可動域計測 点群データ DICOM形式 医療用ワークステーション

1. 研究開始当初の背景

関節可動域は運動機能を評価するうえで基本的かつ重要な評価項目である。通常は角度計を用いて直接する方法が用いられているため、計測値にばらつきが生じることが知られている。計測精度を向上させるためにマーカーを用いた動作解析装置での関節可動域計測の研究が行われてきたが、研究レベルでは有用であってもマーカー装着が煩雑なため臨床現場での利用は困難であった。近年、マーカーを用いずに関節可動域を計測可能な非接触三次元計測機が販売されるようになった。しかし非接触三次元計測機のデータ形式は独自データでありソフトも特殊であるため、臨床利用は困難であった。

2. 研究の目的

(1) 関節可動域計測には意外と時間がかかるため、医療従事者だけでなく患者さんにも負担になっている。また従来の計測法は計測値しか記録されず、動作情報を含む画像データの記録は困難であった。そこで非接触三次元計測機を用いて撮像のみを行い、関節可動域計測は CT 画像を電子カルテ上で計測するように撮像後に電子カルテ上で計測することで撮像と計測を分離し患者さんへの負担を低減することを目指した。

CT などの医療画像データは DICOM 規格という世界標準の医療画像規格で記録されている。CT 画像の 3 次元解析に医療用ワークステーションと呼ばれるシステムがほとんどの病院で導入されている。医療用ワークステーションはどのようなメーカーの CT 画像であっても DICOM 規格のデータであれば 3 次元解析が可能である。非接触三次元計測機のデータは DICOM 規格ではないため、3 次元解析に専用ソフトが必要であることである。そこで非接触三次元計測機のデータを医療用ワークステーションで解析可能な DICOM 形式に変換するシステムを開発することを目的とした。

(2) 様々な非接触三次元計測機があるため、どの装置がどの程度有用であるかが不明であった。それぞれの非接触三次元計測機の性能を検討しコストと精度のバランスが最も優れてるとと思われる装置を用いて健常人の関節可動域を計測し計測精度と計測時間を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 非接触三次元計測機のデータ形式はポイントクラウドと呼ばれる点群データである。しかし医療用ワークステーションで用いられる DICOM データ形式ではガウス系と呼ばれる基盤の目に数値が配備されたデータ形式であるため、単純なデータ形式の変換では変換できない。点群データからガウス系の変換のために、点群データの集合によって閉鎖される三次元領域を計算し内側と外側を決

定したのちガウス系に変換するプログラムの開発した(図 1)。

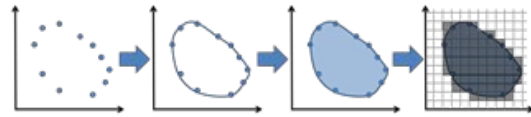


図 1. 点群データからガウス系への変換

さらに医療用ワークステーションで解析できるように解像度などタグ情報も埋め込んだ。変換された DICOM データを標準的な医療用ワークステーションに読み込ませ関節可動域が解析できるかを検討した。

(2) 最初に研究に用いた非接触三次元計測機は大型で高価格の非接触三次元計測機(株式会社イーアールディー)であった。その後より価格が安く小型の非接触三次元計測機が多数発売されてきた。小型で安価な Kinect (Microsoft)、ハンディ型のフルカラー 3D スキャナー Artec Eva® (Artec 3D, Luxembourg, Luxembourg) の二つの装置の精度と利便性を検討した。最も精度と利便性とコストのバランスが優れた非接触三次元計測装置を用いて健常人の関節可動域を計測し、従来法と比較して計測精度と計測時間がどの程度改善されるかを検討した。

4. 研究成果

(1) 非接触三次元計測機の検討

最初に赤外線を用いた大型の非接触三次元計測機を用いて研究を開始した。関節可動域の視覚化と計測を行うソフトを開発して有用性を検討した。その結果、関節可動域の計測を短時間で高精度に行うことが可能であるが装置が高価(約 1000 万)であることと、特殊なソフトが必要であることが問題であるとわかった(図 2)。

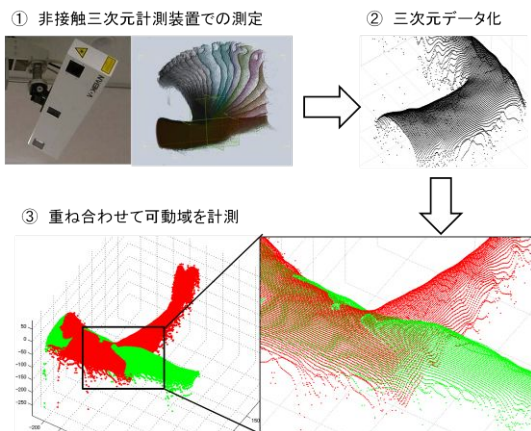


図 2. 大型の非接触三次元計測機を用いた関節可動域計測

大型装置の検討からさらに計測ソフト開発を進めるよりも、点群データを DICOM データに変換し医療用ワークステーションで解析を行う方が効率が良いことが判明した。大型装置は効果であったため、安価で小型の非接触三次元計測機として Kinect と Artec Eva の比較を行った。Kinect は安価であったが、計測精度が Artec Eva と比較して低く視野範囲も狭かった。また Kinect は光沢のある人の肌の検出に失敗することがあるため、現時点においては臨床現場での可動域計測においては Artec Eva の方が有用であることが判明した。しかしこの研究を行う間にも毎年新しい非接触三次元計測機が発売されているため、将来はもっと安価で簡便な装置が発売される可能性がある。

(2)点群データをガウス系に変換しタグデータを追加することで医療用ワークステーションで解析可能な DICOM データを出力するシステムを MATLAB®(MathWorks)を用いて開発した。変換された DICOM データを病院で利用されている通常の医療用ワークステーションに読み込ませることで関節の可動域の解析が行えることが判明した(図3)。複数のデータを三次元的に重ね合わせて解析できるため、関節可動域だけでなく手足や足趾の手術前後の変形の評価にも有用であると判明した。



図 3 . DICOM 形式に変換された非接触三次元計測機の点群データを医療用ワークステーションで解析している

点群データを DICOM データに変換することで医療用ワークステーションでの解析だけでなく、電子カルテ端末での表示も可能となった(図 4)。これまでの可動域計測では計測者が角度計で計測した計測値しか記録できなかったが、本システムを用いることで関節の三次元データそのものを記録することができる。現在は電子カルテ端末では単純な画像データの表示しかできないが、高機能な電子カルテ端末では CT 画像から直接 3D 画像作成が可能となってきた。将来は患者さんに CT 画像を見せて説明するように、非接触三次元計測機の 3D 画像を見せてより正確な説明をすることができる可能性がある。

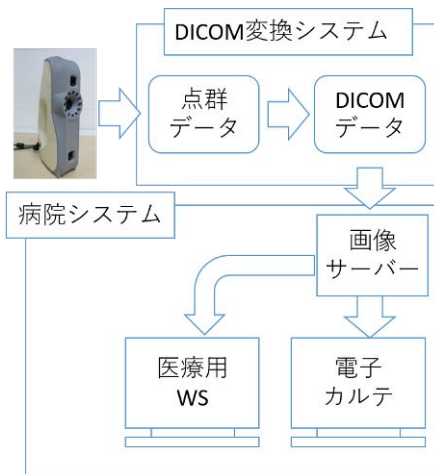


図 4 . 病院システムへのデータ移動

(3) 非接触三次元計測機の精度と計測時間の検討を行うため、健常者 8 名の肘関節と足関節を計測した。理学療法士 6 名により角度計を用いて徒手的に関節可動域を計測し、同時に非接触三次元計測機で関節可動域を三次元的に撮像し、6 人の検者で計測した(図 5)。

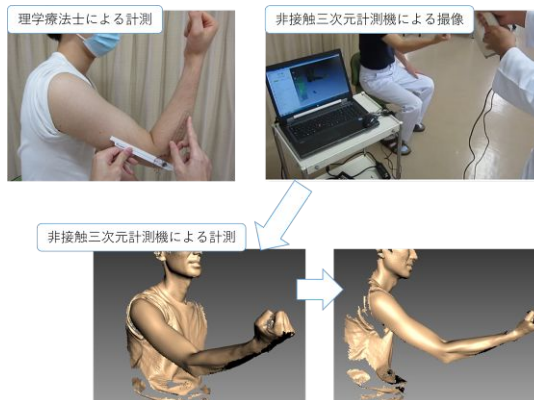


図 5 . 理学療法士と非接触三次元計測機による計測

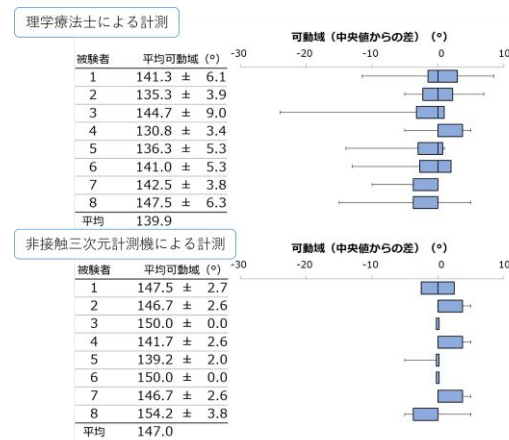


図 6 . 計測結果 (肘関節屈曲)

どの関節においても理学療法士による徒手的な計測と比べ、非接触三次元計測機のほうが中央力の差が少なく標準偏差が小さかったことから計測のばらつきが少ないと言えた(図 6)。また、級内相関係数が高いことから非接触三次元計測機の方が検者間誤差は小さいと思われた(図 7)。しかし計測時間は肘関節足関節ともに非接触三次元計測機の方が長かった(図 8)。

級内相関係数 ICC (Intra-Class Correlation)

	理学療法士による計測	非接触三次元計測機
肘関節屈曲	0.88	0.80
肘関節伸展	0.35	0.80
足関節底屈	0.38	0.85
足関節背屈	0.49	0.88

図 7. 級内相関係数

平均計測時間 (秒)

	理学療法士による計測 (n = 48)	非接触三次元計測機 (n = 8)	P値
肘関節	34.5 ± 3.1	176.0 ± 83.3	< 0.01
足関節	58.2 ± 4.8	213.6 ± 55.4	< 0.01

Mann-Whitney U test

図 8. 平均計測時間

これらの結果から理学療法士による徒手的な計測より非接触三次元計測機は精度がよいが、検査時間が長いことが分かった。

検査法に習熟するにつれ計測時間は短くなり最終的には 30 秒ほどで撮像が可能となった。データの変換時間や取り込み時間を考慮すれば理学療法士による計測の方がなお長い。しかし、患者さんの拘束時間は非接触三次元計測機における計測では撮像時間だけであるため、ほぼ同等になったと言える。肘や足関節などの可動域の自由度が少ない大きな関節では徒手計測が容易であり検査項目も少ないので非接触三次元計測機の恩恵は少ない。しかし手指や足趾などの自由度が高く関節の数が多い部位では非接触三次元計測機を用いた方が患者拘束時間は少なくなる。また本システムは 2 物体を三次元的に合わせて比較することができるため、関節可動域だけでなく変形の 3 次元評価を行う事もできる。

関節可動域の計測精度を向上させ患者さんの拘束時間を短くすることを目標に研究を開始した。現時点では臨床利用に耐えうる装置は非常に高価であり計測時間も比較的長い。しかし非接触三次元計測機は年々発展しており、将来はより高い精度でより短時間に計測可能な装置が発売されることが見込まれる。問題はアプリケーションの開発が追い付いていない事である。非接触三次元計測機で計測した点群データを DICOM データに変換し、医療用ワークステーションで解析する

ことで CT の三次元解析で発展してきた様々な計測法を利用することができる。しかし点群データからガウス系にデータ変換するときに精度が変化するため、理想的には医療用ワークステーション上で点群データを扱うアプリケーションの開発が望まれる。また点群データそのものを扱う DICOM 規格を提案する必要がある。CT の三次元解析は CT 装置と医療用ワークステーションが分離しモジュール化されたことで発展が早くなった。最初は CT の三次元解析のみを扱っていた医療用ワークステーションは MRI の三次元画像も扱えるように進化した。同じように医療用ワークステーションが非接触三次元計測機の点群データも扱えるようになれば、低コストで関節可動域の計測精度を向上させることができ、計測時間を短縮することを通じて人件費削減を削減し、ひいては医療費削減にも貢献することができる。今後の目標は医療用ワークステーションで直接点群データを扱うアプリケーションの開発を行う事である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

兼田 大輔、西田 圭一郎、中原 龍一、那須 義久、堀田 昌宏、竹下 歩、大橋 秀基、堅山 佳美、千田 益生、尾崎 敏文、非接触三次元計測器を用いた新たな可動域計測法の考案、日本関節病学会誌、査読有、(In press)

〔学会発表〕(計 1 件)

兼田 大輔、中原龍一、非接触三次元計測器を用いた新たな可動域計測法の考案、第 44 回日本関節病学会、2016 年 11 月 11 日、別府国際コンベンションセンター(大分県別府市山の手町 1 2 - 1)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中原 龍一 (NAKAHARA, RYUICHI)
岡山大学・医歯薬学総合研究科・助教
研究者番号：30509477

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

兼田大輔 (KANEDA DAISUKE)
那須義久 (NASU YOSHIHISA)
竹下 歩 (TAKESHITA AYUMU)
大橋 秀基 (Ohashi Hideki)
西田 圭一郎 (Nishida Keiichiro)