

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 19 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23602006

研究課題名(和文) 動画対応デジタルX線画像装置による筋肉ダイナミックイメージング法の開発

研究課題名(英文) Muscle functional imaging with dynamic digital X-ray system

研究代表者

真田 茂 (SANADA, Shigeru)

金沢大学・保健学系・教授

研究者番号：50020029

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円、(間接経費) 1,110,000円

研究成果の概要(和文)： 動画対応ポータブル FPD を用いた筋肉や腱の動態撮像法を開発した。アキレス腱障害の X線撮影による画像診断では、アキレス腱の肥厚や石灰化を容易に確認しながら足関節の動態評価が可能となった。また、腱断裂については脂肪組織である Kager triangle の形態を観察することで診断でき、骨棘障害との鑑別が可能であった。また、下腿三頭筋内側頭挫傷の既往歴のある下腿筋部と正常下腿筋における運動機能の弁別評価が可能であった。

本研究課題で開発した X線動態イメージングによって、自然な運動下での足関節可動域と屈曲角度に応じた下腿筋やアキレス腱の形態・動態情報を評価できることが確認できた。

研究成果の概要(英文)： A computerized system for analysis of muscles and Achilles tendon kinetics using sequential radiographs taken with a dynamic flat-panel detector has been developed. Dynamic imaging and analysis of the Achilles tendon can allow assessment of the kinetic information of the foot-ankle system, including joints and bones as well as muscles and tendons, with morphological measurement of the Kager's triangle. With respect to evaluation of the crural muscle, dynamic imaging and analysis can be potentially useful in the differential diagnosis of an injured triceps surae muscle.

The developed functional radiographic imaging technique for lower extremities is a promising method for kinetic evaluation of soft tissues and bones of the foot-ankle system in a subject's natural range of motion.

研究分野：医用画像技術学

科研費の分科・細目：医学物理学・放射線技術学

キーワード：筋肉イメージング X線動画像 放射線技術科学 リハビリテーション科学

1. 研究開始当初の背景

四肢関節系における単純X線画像検査では、主として観察の対象は骨であって本研究のような筋肉や靭帯を観察の対象とすることはほとんどない。しかも、一般初期検査である単純X線画像検査では静止画像を得る検査体系が確立しており、動態機能を直接的に評価することは極めて困難である。

我々が提案するX線動態機能検査法は、特殊検査(精密検査)としての“X線透視検査”ではなく、言わば一般初期検査としての“デジタルX線動画イメージング”という位置づけであり他に類を見ない。プロトタイプ装置による画像とそのコンピュータ解析方法は、Work in Progress として海外でも紹介され高い評価を得た [CAD promises increased efficiency and accuracy. DIAGNOSTIC IMAGING, pp12-13, June 2003].

本研究の成果は、整形外科領域での定量的な運動機能評価法として有望である。たとえば、リハビリテーション医療の重要な課題の一つである「寝たきり患者」に頻繁に起こる廃用性筋萎縮の発症や、その回復過程における運動機能の簡便な画像モニタ法としても期待される。

2. 研究の目的

下腿を対象とした多数の症例画像について、筋肉ダイナミックイメージング法と動態機能解析法を応用して筋肉および靭帯の動態を解析する。それらの結果と関節診断の決め手である磁気共鳴画像法や超音波画像法による解析結果および臨床所見と比較検討し、解析結果の正常値と異常値の分布の概要を明らかにする。

また、四肢関節に整形外科科学的な異常が認められる症例を増やししながら、この筋腱系動態解析法の臨床応用の可能性について検証する。

3. 研究の方法

(1) アキレス腱のX線動態機能イメージング

【撮影対象及び使用機器】

本研究は本学の医学倫理委員会の承認を得て行われ、健常男性3名(22歳2名, 60歳1名)を対象に撮影を行った。また、被験者には撮影に関する十分な説明を行い、同意を得た。使用機器は以下に示す。

- ・動画対応 FPD 搭載 X 線ポータブル装置：試作機, キヤノン
- ・オープン MRI (0.4 T) : APERTO Eterna, 日立
- ・超音波画像診断装置 : i STYLE, 東芝
- ・Image-J

【画像の取得】

X線撮影：撮影条件は 56 kV, 0.32 mAs, 撮影距離 120 cm, フレームノート 5 frame/sec, 4 秒間撮影で、足関節の最大底屈から最大

背屈までの側面 X 線動態画像を取得した。この条件での一回撮影の被ばく線量は 0.2 mGy となった。撮影体位と撮像例を Fig. 1 (a, b) に示す。



Fig. 1(a) (b)

MRI : Kargar triangle を描出するため、脂肪組織が高信号となる T1 強調像にし、最大底屈から最大背屈まで屈曲角度を 5 段階に分けて撮像した。撮影体位と撮像例を Fig. 2 (a, b) に示す。



Fig. 2(a) (b)

超音波撮影 : 7.5 MHz のプローブを使い、最大底屈から最大背屈までの縦断動態像を取得した。撮影体位と撮像例を Fig. 3 (a) (b) に示す。

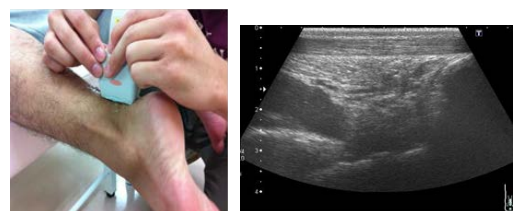


Fig. 3(a) (b)

【計測内容】

取得した X 線画像と MR 画像を用いて、Kargar triangle の面積と足関節の屈曲角度を計測し、屈曲角度に応じた面積の変化や足関節の可動域を観察した。計測はフリーソフトウェア Image-J を用いた。

(2) X 線イメージングによる下腿筋運動の可視化

【撮影対象及び使用機器】

本研究は本学の医学倫理委員会の承認を得て行われ、下記の健常2例, 異常1例の3例を対象に撮影を行った。また、被験者には

撮影に関する十分な説明を行い、同意を得た。対象は以下のとおりである。

- ・対象 A：22 歳女性，両側健常
- ・対象 B：22 歳女性，両側健常
- ・対象 C：61 歳男性，右足健常，左足に下腿三頭筋内側頭挫傷の既往歴有

対象 C の左足には超音波検査によって筋繊維の向きに明らかな左右差がみられるなどの異常がみられた。使用機器は以下に示す。

- ・X 線発生装置：AXIOM Luminos dRF, SIEMENS
- ・画像解析ソフト：ImageJ 1.45I

#### 【画像の取得】

下腿三頭筋，脛骨，腓骨を撮影対象とし，下腿骨側面像を撮影する条件下で下腿を撮影した。下腿三頭筋は主に足関節の底屈を行う筋肉であるため，足部を底屈から背屈状態にさせることで下腿三頭筋が収縮する。一脚につき，下腿三頭筋を収縮させる 5 つのポジション（足部を 0 度，20 度，40 度，60 度，90 度にするポジション）で撮影した。ポジションは Fig. 4 に示す。また撮影条件は以下のとおりである。

- ・管電圧：55[kV]
- ・管電流時間積：8[mA s]
- ・撮影距離：115[cm]

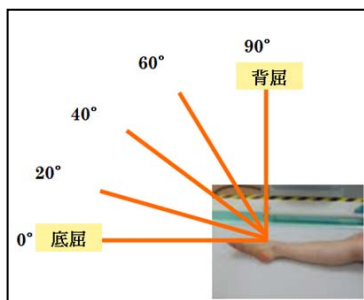


Fig. 4

#### 【解析方法】

撮影した一脚 5 枚の画像について，筋の収縮の様子のプロファイルを解析した。解析には画像解析ソフト ImageJ を用いた。

腓骨遠位端を基準点とし，そこから腓骨に沿うようにラインを引き，1 度ずつラインを移動していき，それぞれ下腿三頭筋の収縮がみられると思われる部位（ラインの位置が 1000～1800 ピクセルの間）のプロファイルを解析した。Figure 5 に解析部位についての図を示す。

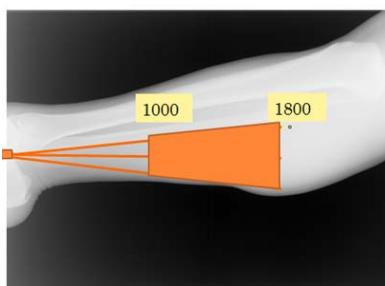


Fig. 5

#### 4. 研究成果

##### (1) アキレス腱の X 線機能イメージング

###### 【計測結果】

各撮影方法において Kargar triangle が描出された画像を得ることができた。比較的，定量性の良好な MRI 画像と X 線画像との比較を Fig. 6 に示す。

MRI 画像の方が Kargar triangle の面積が広いという傾向があるが，屈曲角度による面積の変化については，両画像でほぼ同様の傾向が見られた。また，X 線画像の方が底屈・背屈共に最大角度がより大きく計測された。

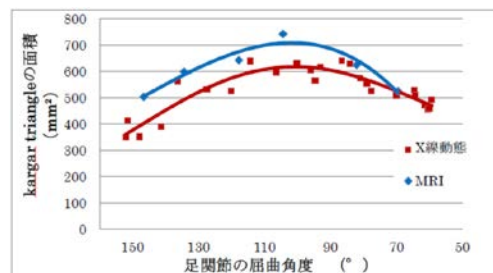


Fig. 6

動画対応ポータブル FPD を用いた新しいアキレス腱の動態撮影法を開発した。前項で示したように，この撮影法で自然な運動下での足関節可動域と屈曲角度に応じたアキレス腱の形態情報を取得できることが確認できた。

アキレス腱障害の X 線撮影による画像診断では，MRI や超音波画像法に比し，アキレス腱の肥厚や石灰化が所見として容易に確認できる。また，断裂については脂肪組織である Kargar triangle の形態を観察することで診断でき，骨棘障害との鑑別が可能である。アキレス腱障害のリハビリテーションの評価には機能評価が有用であり，本法は，低線量で大視野・高画質な動画によって，簡便な運動機能解析を可能とした。

##### (2) X 線イメージングによる下腿筋運動の可視化

###### 【計測結果】

対象 C の計測結果を Fig. 7 に示す。健常側の右足では，背屈状態からはあまりプロファイルに変化はなく，底屈状態にした時にプロファイル全体に広がりをもせた。下腿三頭筋内側頭挫傷の患側である左足では底屈状態にしたものではプロファイルに健常側とは異なったピーク（図中矢印）がみられた。このピークの異常部位は超音波診断で異常のあった箇所とほぼ一致していた。

一方，両側健常な対象 A, B では，両側とも対象 C の右足（健常側）と同様に，足部を底屈から背屈することによって下腿筋部のプロファイルの形状が滑らかに変化した。

Figure 7 に示すように，ポジションの角度変化によってプロファイルの形状，プロファイル全体のピクセル値は変化した。すなわち，底屈・背屈によるヒラメ筋，腓腹筋の



収縮が X 線吸収の程度をわずかに変化させ、プロファイルの形状が影響された。また同様に、下腿三頭筋内側頭挫傷の足（対象 C）のプロファイルの形状は、筋肉の異常による収縮の違いによって影響されたものと考えられる。

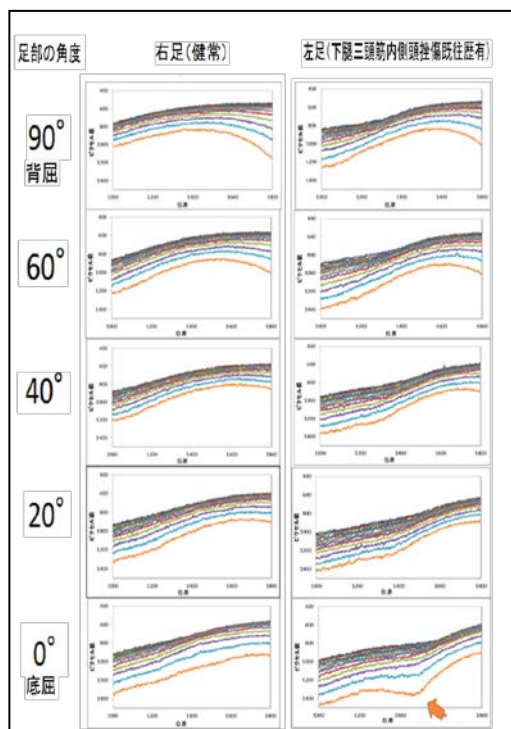


Fig. 7

以上、X 線動態イメージングによって、下腿筋の動きを骨画像と共に可視化し、筋肉の形態、動態異常等を簡便に評価することが可能となった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

1. Hiroki Kawashima, Rie Tanaka, Katsuhiro Ichikawa, Kousuke Matsubara, Hiroji Iida, Shigeru Sanada. Investigation of image lag and modulation transfer function in fluoroscopy images obtained with a dynamic flat-panel detector. Radiological physics and technology. 6(2), 367-374, 2013. <http://link.springer.com/article/10.1007/s12194-013-0210-9>
2. Rie Tanaka, Hiroki Kawashima, Katsuhiro Ichikawa, Kosuke Matsubara, Hiroji Iida, Shigeru Sanada. Simulation system for understanding the lag effect in fluoroscopic images. Radiological physics and technology. 6(2), 273-280, 2013. <http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s12194-012-0196-8>

[学会発表] (計 16 件)

1. Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Makoto Oda, Keita Sakuta, Hiroki Kawashima. Functional chest radiography based on dynamic analysis of soft-tissues in bone suppression images. Computer Assisted Radiology and Surgery 28th International Congress and Exhibition, (2014/6/25-28, Fukuoka International Convention Center (Japan))
  2. Rie Tanaka, Akie Maekawa, Shigehiko Katsuragawa, Shigeru Sanada. Computer-based interactive processing system for dual-shot energy subtraction radiography. ECR 2014, 2014/3/6-10, Austria Center Vienna (Austria)
  3. Rie Tanaka, Kenji Suzuki, Shigeru Sanada, Makoto Oda, Mitsutaka Suzuki, Keita Sakuta, Hiroki Kawashima. Quantitative analysis of rib movement based on dynamic chest bone images: Preliminary results. The international society for optical engineering. Medical imaging 2014. 2014/2/15-20, Town and Country Resort and Convention Center (USA)
  4. Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Makoto Oda, Mitsutaka Suzuki, Keita Sakuta, Hiroki Kawashima. Application of bone suppression technique to real-time tracking radiotherapy. RSNA th99 Scientific Assembly and Annual Meeting. 2013/12/1-12/6, McCormick Place (USA).
  5. Keita Sakuta, Shigeru Sanada, Rie Tanaka, Norio Hayashi, Hiroki Kawashima, Hiroji Iida, and Osamu Matsui. Functional radiography for shoulder joint motion using a dynamic flat-panel detector. ECR 2013, 2013/3/7-11, Austria Center Vienna, (Austria).
  6. Rie Tanaka, Daich Irie, Shigeru Sanada, Keita Sakuta, Hiroki Kawashima, Naoki Ohno, and Hiroji Iida. Computerized analysis of Achilles tendon kinetics in digital radiography with extremely low doses. ECR 2013 (European Congress of Radiology), 2013/3/7-11,, Austria Center Vienna (Austria)
  7. Rie Tanaka, Shigeru Sanada, Hiroki Kawashima, Keita Sakuta, and Hiroji Iida. Functional xeroradiography for assessment of Achilles tendinopathy recovery with a dynamic flatpanel detector. Computer Assisted Radiology and Surgery 26th International Congress and Exhibition, 2012/06/27-30, Palazzo dei Congressi di Pisa(Italy)
- [図書] (計 1 件)
1. Rie Tanaka and Shigeru Sanada. 12. Respiratory and cardiac function analysis on the basis of dynamic chest radiography. In.

Part III Image Processing and Analysis,  
Kenji Suzuki Editor, Computational  
Intelligence in Biomedical Imaging, Springer,  
317-345, 2013.

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）

名称：X 線動画画像解析装置，X 線動画画像解析  
プログラム及び X 線動画画像撮像装置

発明者：真田茂，田中利恵

権利者：金沢大学

種類：特許

番号：特願 2013-177356

出願年月日：平成 25 年 8 月 28 日

国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://sanadalab.w3.kanazawa-u.ac.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

真田 茂 (SANADA, Shigeru)

金沢大学・保健学系・教授

研究者番号：50020029

### (2) 研究分担者

田中 利恵 (TANAKA, Rie)

金沢大学・保健学系・助教

研究者番号：40361985