

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 5 月 10 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26460726

研究課題名(和文) コンピュータ支援によるX線動態撮像ナビゲーションシステムの開発

研究課題名(英文) Development of computer-aided navigation system for X-ray dynamic imaging

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) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：研究代表者(真田)らは既に骨、関節、筋肉の形態および動態情報による運動機能の簡便な評価法の開発研究を進めてきた。本研究では、さらにコンピュータのリアルタイム画像解析によって、被検者による撮影部位(手関節、頭頸部)の適切な位置合わせと運動を誘導しながら撮像する方法を開発した。すなわち、一般初期X線画像検査において、極めて簡便に精度よく骨格系の運動機能を診断できるコンピュータ支援による撮像ナビゲーションシステムを開発した。今後、人工知能とロボティクスの応用により、被検者自身またはロボティクスによるセルフイメージングや自動イメージングへの展開も期待できる。

研究成果の概要(英文)：We developed a functional dynamic radiography (fDR) system that provides physiological and functional information of the bone, muscle, and joints using an X-ray flat-panel detector system. For the wrist, sequential radiographs during flexion and extension or rotational movement are considered and movement angles are analyzed. The fDR allows a great deal of temporal and spatial freedom when imaging. In other words, fDR has a high tolerance for adjusting patient positioning and X-ray projection, which have to be strictly controlled when utilizing static imaging. Thus, we developed a navigation system that incorporates a visual image technique. A real-time video is helpful to instruct the patient to reproduce hand movements. The proposed navigation system reduces incorrect motions and registers errors during dynamic radiography. We believe that there is a high degree of latent potential for the development of self-imaging and autonomous imaging using radiography navigation systems.

研究分野：放射線技術学，医学物理学

キーワード：手関節 頭部撮影 動態機能 X線画像 ナビゲーション セルフイメージング 自動イメージング

### 1. 研究開始当初の背景

国内外で類似の方向性を持った研究は全く見当たらない。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困難とされてきた。本研究代表者らの研究成果によって、骨・関節系（顎、頸椎、肩、手、腰椎、膝、足）の簡便な動態機能評価の可能性が明確になった。さらには筋肉の運動過程の可視化も実現している。

しかし、簡便なスクリーニング動態機能評価とはいえ、精度の高い画像解析が重要である。そのためには再現性の良い撮像方法（運動方法、ポジショニングなど）が不可欠であり、本研究では、リアルタイムの画像解析結果がフィードバックされて動作する撮像補助具を用いて高精度化を目指す。

我々が現在開発中の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コンピュータ解析付きの“デジタルX線動画イメージング”という位置づけであって、他に類を見ない。その撮像ナビゲーションシステムを開発することは、整形外科領域での定量的な運動機能評価法をさらに高精度化するものとして有望である。たとえば、手術後の運動機能の回復過程の経過観察はもちろん、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とその回復過程における運動機能の簡便な定量的画像モニタ法としても期待される。

### 2. 研究の目的

被検者自身による撮像ポジショニングも可能にする、コンピュータ支援による四肢関節系の動態機能X線画像検査のナビゲーション法を開発する。研究代表者らは既に骨、関節、筋肉の形態および動態情報による運動機能の簡便な評価法の開発研究を進めてきた。本研究では、さらにコンピュータのリアルタイム画像解析によって撮影部位（関節）の適切な運動と位置合わせをナビゲーションする方法を開発する。すなわち、一般初期X線画像検査において、極めて簡便に精度よく四肢関節系の運動機能を診断できるコンピュータ支援による撮像ナビゲーションシステムの開発を目的とする。

### 3. 研究の方法

#### (1) 手関節側面動態撮影のナビゲーション

被検者の掌背屈運動の再現性を向上させるシステムを開発し、その試作機システムを用いて運動の再現性を評価した。

試作システムは、被検者の掌背屈運動を撮影するためのWebカメラと、画像処理を行うためのノート型パーソナルコンピュータ、処理結果を被検者に対して表示するためのブックテーブル上に設置されたモニタから構成されている（図1）。被検者はモニタ上

に表示される予め作成した誘導画像と、リアルタイムに合成表示される自身の運動画像が重なるよう掌背屈運動を行う。健常者6名（22-24歳、平均23歳、男:女=3:3）を対象に、被検者ごとに右手関節の掌背屈運動をナビゲーションシステムの有/無で、それぞれ6回ずつ光学撮影した。橈骨と第二中手骨のなす角を屈曲角度として定義し、最大掌屈角度から最大背屈角度までの角度変化を計測して比較した。

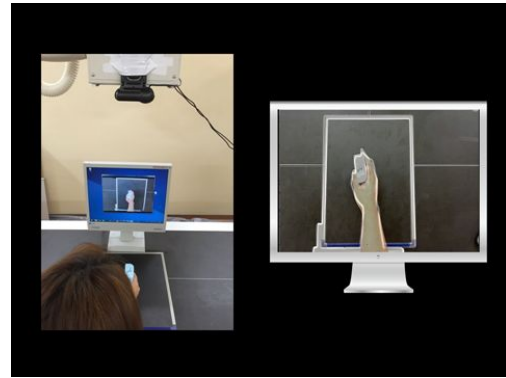


図1 ナビゲーションシステムの全体像

#### (2) 頭部撮影のナビゲーション

Webカメラの画像からABP (anthropological basal plane), ARP (auricular plane), MP (median plane)の3つの撮影基準面を求め、FPD (flat panel detector)・X線管の位置を算出するシステムを開発し、その精度を評価した。プログラムはMicrosoft Visual Studio Express 2013 for Windows Desktop (Version 12.0. 31101.00 Update 4)を用いてC++/CLI, OpenCV, OpenGLで開発した。Web camera (BSWHD06M, BUFFALO)を2台用いて正面と側面から同時に被験者を撮影し静止画像を得た（図2）。取得した画像に対して、開発手法と目視により8つの基準点（正面画像から左右の内眼角、外眼角、眼窩下縁、また側面画像から外耳孔、外耳孔上縁）を求め、両者の差をX軸方向とY軸方向に分けて評価した。対象は20代男性ボランティア6名とし、各5回の解析結果を比較検討した。

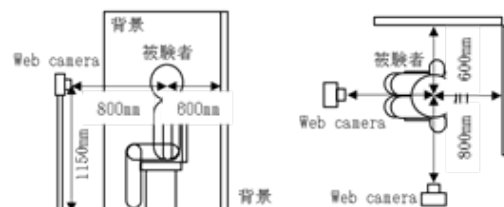


図2 頭部撮影の幾何学的配置の特定方法

### 4. 研究成果

#### (1) 手関節動態撮影

ナビゲーションの有/無で、屈曲運動の速度には差がない傾向を示した。分散の時間変化を比較すると、双方ともに運動開始から

徐々に増加し、運動中盤で最大を迎え、運動終了が近づくと減少する傾向を示し、ナビゲーション有の方が、分散の増加は抑えられていた(図3)。ナビゲーションがない状態では、運動開始後、ある程度時間の経過した3秒~6秒付近での分散が大きくなった。被検者と誘導画像の屈曲角度の差をリアルタイムに計測し、修正を促すコンピュータ支援による誘導がさらに必要と考える。

本研究で開発したナビゲーションシステムは、手関節掌背屈運動の再現性向上に対して、有望であった。

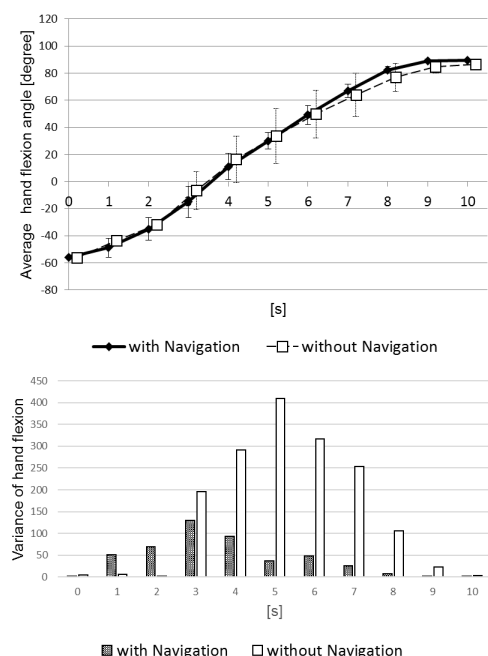


図3 手関節動態X線撮像におけるナビゲーションシステムの効果(上段:掌背屈角度変化,下段:繰り返し動作の角度分散)

### (2) 頭部撮影

X軸方向・Y軸方向ともに平均誤差は8点全てにおいて5mm以下となり、目標値を満たした(図4)。検出精度はX軸方向・Y軸方向ともに良好であるが、さらなる精度の向上が課題である。また、本研究では従来の静止X線画像を対象としたが、撮像法としては研究代表者が既に開発した開口・閉口時の顎関節動態撮像法への応用も検討している。

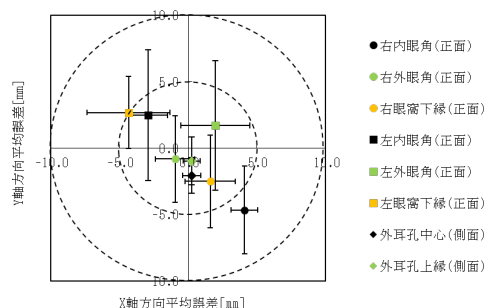


図4 基準点の検出精度

### (3) セルファイメーシングや自動イメージ

### グの可能性

従来の静止X線画像検査の体系では、厳密な被検者ポジショニングとX線プロジェクションによって撮像されることが不可欠である。それに比べて、本研究で対象とした動画X線画像検査体系では時間的にも空間的にも撮像方法にゆとりがある。この成果にさらに人工知能とロボティクスを応用することによって、セルファイメーシングや自動イメージングへの展開も期待できる。

### 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) Kawashima H, Kajino Y, Kabata T, Tsuchiya H, Sanada S, Ichikawa K. Kinematic radiography of the hip joint after hip resurfacing arthroplasty. Radiol Phys Technol. 2016 Jul;9(2):254-60. doi: 10.1007/s12194-016-0357-2. Epub 2016 May 20. (査読有)

(2) Kawashima H, Tada K, Sukanuma S, Tsuchiya H, Sanada S. Wrist rhythm during wrist joint motion evaluated by dynamic radiography. Hand Surg. 2014;19(3):343-7. doi: 10.1142/S0218810414500257. Epub 2014 Aug 14. (査読有)

〔学会発表〕(計 3件)

(1) Ishida Y, Tanaka R, Sanada S. Development of a computer-aided navigation system for X-ray dynamic imaging of the hand. European Congress of Radiology (ECR2016), Austria Center (Vienna, Austria), 2016 3/3-7

(2) 石田悠葵, 田中利恵, 真田茂. 手関節側面動態検査法を対象にした撮影補助システムの開発. 第8回中部放射線医療技術学会大会, A O S S A (福井県福井市), 2015 11/7-8

(3) Kawashima H, Tada K, Horie S, Nishimura S, Tachiya H, Sanada S. In vivo kinematics of carpal bones during simulated wrist traction rehabilitation: A radiographic study. Computer Assisted Radiology and Surgery (CARS2015), Hotel NH Collection Barcelona Constanza, (Barcelona, Spain), 2015 6/24-27

〔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〕

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・准教授

研究者番号：40361985