

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26461806

研究課題名(和文)4次元CTによる動態評価の基礎的検討と臨床応用

研究課題名(英文)Basic and clinical study of functional evaluation using 4-dimensional CT

研究代表者

陣崎 雅弘 (JINZAKI, MASAHIRO)

慶應義塾大学・医学部(信濃町)・教授

研究者番号：80216259

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：基礎検討では、4次元CTで計測した流速は超音波の流速値と比例関係にあり、CTで流速計測が可能になることを示した。次に臨床応用を4つの領域で検討した。鼻咽頭機能評価では、閉鎖不全腔を定量評価できることから重症度判定が正確で、従来のX線検査及び侵襲のある喉頭鏡を置換できる可能性があることを示せた。ステントグラフト後のendoleak評価では、従来のCTと比べ4次元CTは診断能が向上し、多くの症例で血管造影を置換できることを示せた。更に、排尿中に4次元CTを撮影すると排尿機能を評価でき、排尿障害患者の様々な尿路閉塞の原因を特定できることを示した。整形領域では、関節運動の定量評価ができることを示した。

研究成果の概要(英文)：For fundamental analysis, we took 4D-CT to measure the flow velocity of vascular phantom. The measurements had a linear correlation to those taken by Doppler US, which helped to indicate potential use of 4D-CT in measuring flow velocity. In regards to clinical application, we evaluated the usefulness of 4D-CT in four clinical fields. In otolaryngology, 4D-CT provided quantitative data of the regurgitated area, which will enable the replacement of conventional X-ray and invasive laryngoscopy. In cardiology, 4D-CT data showed higher diagnostic accuracy compared to conventional CT for the evaluation of endoleak after vascular stentgraft, which will help to decrease the use of invasive angiography. In urology, 4D-CT scans taken during the bladder voiding process allows visualization and clarification of the cause of obstruction in patients with dysuria. In orthopedics, with 4D-CT we could achieve quantitative analysis of joint movement, which has been difficult using X-ray.

研究分野：画像診断

キーワード：4次元CT 面検出器CT 鼻咽頭機能 エンドリーク 排尿機能 関節運動

1. 研究開始当初の背景

CTは、1998年にマルチスライスCTが登場して以来、多列化が進んできた。2004年に64列CTが出て1回転で3~4cmの範囲をらせん状に撮影していくことで、高速に広範囲の薄いスライス厚の画像が得られるようになった。これにより、3次元画像を用いた詳細な形態診断が可能になり、血管造影、経静脈性胆道胆管造影、排泄性尿路造影、注腸、胃透視といった造影剤を用いたX線検査は3次元CTで置換された。しかし、3次元CTは1つのタイミングのみで撮影するために、脳や肺のように血管評価の至適タイミングの予測が難しい臓器では依然として侵襲的血管造影が必要であった。また、血管の流れの方向や、臓器の動きなどを評価する動態診断はできなかった。

2007年に320列CTが発売され、16cmの範囲を1秒以下の間隔での連続撮影できるようになった。16cmの範囲には頭、心臓、肝臓、腎臓などの臓器をカバーすることができるため、らせん状に撮影範囲を移動させていくのではなく、同じ場所を連続撮影することで臓器自体や臓器内血流の動きを立体的に可視化する、4次元の動態診断が可能になった。ただし、連続撮影により被ばく線量が大きく増加するため、これまでは頭部以外ではほとんど臨床活用されていなかった。これに対し昨年から今年にかけて、逐次近似法という被ばく低減再構成法が登場し、従来の約3分の1の線量で従来と同様の画質が得られるようになった(Jinzaki M, et al. Eur J Radiol 2012)ことと、ガントリーの回転速度が0.35secから0.275secと更に高速化したことから、4次元CTを用いた動態撮影が広く臨床で活用できるものになることが期待される。

2. 研究の目的

4次元CTの臨床で使用可能な撮影条件を確立し、4次元CTが臨床的にどのような有用性をもたらすかを検証する。

3. 研究の方法

基礎検討としては、4D-CTの連続撮影をすることで流速を計測できるかどうかを検討した。1mm、2mm、3mm、5mm径の血管ファントムを作成し、injectorに接続して1cc/sec, 2cc/sec, 3cc/sec, 4cc/sec, 5cc/secで造影剤を流し、超音波および4次元CTで撮影を行い、両者の流速が一致するかどうかを検討した。

臨床応用として、鼻咽頭機能、ステントグラフト後のendoleak評価、排尿機能評価、整形領域の骨関節運動評価について患者を対象に以下の様におこなった。

鼻咽頭機能評価

口蓋裂手術後に口蓋帆咽頭の閉鎖(鼻咽頭機能)が不十分で発語が不明瞭な5名の患

者に4D-CTを施行し、従来のX線検査及び喉頭鏡所見と比較した。

ステントグラフト後のendoleak評価

ステントグラフト後にダイナミックCTにて瘤径増大、もしくは瘤径が不変であり、当科に紹介になった40症例に対し4D-CTを行いダイナミックCTとの比較を行った。

排尿機能

下部尿路症状を呈した94症例を対象に排尿下に4D-CTを撮影し、尿路閉塞の機転を検討した。また、前立腺肥大患者に対し、経尿道的前立腺レーザー核出術をおこなった44例についても4D-CTの術前後所見を比較し、下部尿路症状改善に与える影響因子について検討した。

整形領域の骨・関節

膝関節疾患を対象に、関節の運動中の4D-CTを取得し、静止時に取得したCT画像より対象骨の3Dモデルを作成し、これを自作のプログラムを用いて3D-3Dマッチングを行うシステムを確立した。

手関節の評価として手根管症候群の手根管開放術後患者4例に対し、手関節の運動中の4D-CTを取得した。手根骨の動的解析を行い、横手根靭帯の切離が手根骨配列に与える影響について検討した。

4. 研究成果

基礎検討では、4D-CTで計測した流速は超音波で計測した流速値と比例関係はあり、CTで流速計測が可能になるとを示した新しい知見である。るが、絶対値には解離があった。

臨床応用の成果は以下のとおりである。

鼻咽頭機能評価

喉頭鏡所見をgold standardとした場合に、鼻咽頭腔の閉鎖不全の重症度は従来のX線検査よりも4D-CTのほうがよく一致した。被ばく線量も4mSv程度で可能であった。X線検査よりも重症度判定が正確であるだけでなく、閉鎖不全腔を定量評価できることから侵襲性のある喉頭鏡を置換できる可能性があることも示せた。

ステントグラフト後のendoleak評価

12.5%(5例)の症例で従来のダイナミックCTと比較して4D-CTを施行することで診断がかわった。いずれも従来のダイナミックCTでは良性的endoleak typeと診断されていたものが4D-CTでは危険なendoleak typeと診断が変わったもので、実際に4例で追加治療が行われた。正確なendoleak typeの診断には侵襲的な血管造影が必要であったが、4D-CTは非侵襲的にendoleak typeをより正確に診断できることがわかった。

排尿機能評価

排尿をさせながら4次元CTを撮影することで、膀胱は排尿開始とともに、腹圧により下方への動きを始めるが、同時に後方(直腸方向)へも移動し、その後、排尿が進むにつれて、動きは小さくなり、終了とともに元の位置に戻ることがわかった。また、排

尿時の排尿筋動作や腹圧変化、膀胱と前立腺との位置関係、前立腺内での排尿ベクトルの変化を解析することで様々な尿路閉塞の原因を特定できた。

また、前立腺肥大核出術後に尿道の動態を見ることで、排尿機能が改善する状況を描出できた。これまで評価できなかった排尿の状態を可視化できるようになった。

整形領域の骨・関節

3D-3D マッチングを行うシステムを確立することで対象骨の3次元座標系をもとに関節運動を定量評価することができるようになった。

また、手根管開放術後患者では、手関節背屈時の手根骨間距離の開大を認めたと、掌屈時には影響を及ぼさなかったことから、横手根靭帯が手関節背屈位での手根骨の開大を制御する支持組織として機能していることが明らかになった。膝関節疾患を対象に、関節の運動中の4次元CTを取得し、静止時に取得したCT画像より対象骨の3Dモデルを作成し、これを自作のプログラムを用いて3D-3D マッチングを行うことで対象骨の3次元座標系をもとに関節運動を定量評価することに成功した。

以上、4つの領域における4次元診断の臨床的有用性を検証することができ、論文投稿中である。鼻咽頭機能評価では内視鏡を、endoleak 評価では血管造影といった侵襲的検査を置換する可能性があることは臨床的意義が高い。また、排尿評価はこれまで得られなかった情報を提供すると思われ、整形領域はあらゆる関節に応用可能であるため今後の検討により更に適応範囲が広がっていくと思われる。

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3件)

- (1) 森紳太郎、澤田康弘、辻知英、杉浦崇浩、屋代英樹、井上政則、陣崎雅弘、白木良一. 4次元連続画像でとらえる背囊イメージング 320列ADCTがもたらす最新の排尿評価. 泌尿器外科 2017;30:277-285. 査読有
- (2) 山田祥岳、山田稔、陣崎雅弘. 循環器・大動脈領域におけるAquilion ONE/VISION Editionの有用性. INNERVISION 2015;30:86-87 査読無
- (3) Sakamoto Y, Soga S, Jinzaki M, Yamada Y, Ogata H, Kishi K. Evaluation of velopharyngeal closure by 4D imaging using 320-detector-row computed tomography. J Plast Reconstr Aesthet Surg. 2015;68(4):479-84. doi: 10.1016/j.bjps.2014.12.020. 査読有

[学会発表](計13件)

- (1) Mori S, Inoue M, Jinzaki M, Shioki R. "URODYNAMIC 4D-CT" Evaluation is a Highly Effective Technique for the Assessment of Urinary Conditions. American Urological Association. Boston (USA) 2017 May.12-16
- (2) Hoshi Y, Oki S, Yoshida R, Morishige Y, Harato K, Kobayashi S, Niki Y, Jinzaki M, Matsumoto M, Nakamura M, Nagura T. Otthopedic Research Society 2017. San Diego (USA) 2017-March 19-22
- (3) 井上政則、山田祥岳、田村 全、陣崎雅弘. EVAR 後のエンドリーク診断における4D-CTの有用性. 第27回心血管画像動態研究会. ホテルグリーンパーク津 (三重県・津) (招待講演) 2017 Jan1 20-21
- (4) 吉田隆人、大木聡、星勇気、森重雄太郎、原籐健吾、小林秀、二木康夫、陣崎雅弘、松本守雄、中村雅也、名倉武雄. 4DCTによる反復性膝蓋骨脱臼の膝蓋骨動態解析. 第43回日本臨床バイオメカニクス学会. 北海道立道民活動センター (北海道・札幌) 2016 October 8-9
- (5) Inoue M, Yamada Y, Tamura M, Nakatsuka S, Jinzaki M. Dose dynamic volumetric CT angiography of endoleak after endovascular aortic aneurysm repair using 320-detector row CT and additional information with dynamic CT angiography. European Congress of Radiology. Viena (Austria) 2016 March 2-6
- (6) Inoue M. Dynamic volumetric CT angiography for the classification of endoleak after EVAR. Japan Endovascular Treatment Conference 2016. Fukuoka (Japan) 2016 Feb 19-21
- (7) 井上政則. 大動脈ステントグラフト後の画像診断エンドリークを中心に. Tokyo Heart Imaging Club ベルサール飯田橋(東京都・新宿区)2015 May 23
- (8) 陣崎雅弘. 循環器・泌尿器領域におけるCTの臨床応用. 第3回日本CT技術学会学術大会. 首都大学東京(東京都・荒川区) 2015 May 12
- (9) 山田祥岳、山田稔、陣崎雅弘. 循環器・大動脈領域におけるAquilion ONE/VISION Editionの有用性. 第74回日本医学放射線学会学術集会. パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市) (招待講演) 2015 April 16-19
- (10) Yamada Y, Yamada M, Hayashida K, Yashima F, Fukuda K, Jinzaki M. Three-dimensional (3D) and four-dimensional (4D) CT imaging before and after transcatheter aortic valve implantation (TAVI)/transcatheter aortic valve replacement (TAVR). 第74回日本医学放射線学会学術集会. パシフィコ横浜

- (神奈川県・横浜) 2015 April 16-19
(11)井上政則 ステントグラフト後の
endoleak における 4D-CT 診断. TOKYO
MDCT FORUM 2015. ベルサール飯田橋
(東京都・新宿区)(招待講演)2015 Feb 14
(12)陣崎雅弘 機能的イメージングの腎疾患
病態解明、臨床への応用 CT perfusion
による機能イメージングの現状 . 日
本腎臓病学会. パシフィコ横浜 (神奈川
県・横浜)(招待講演) 2014 July 5
(13)原田侑輝、宮下康弘、南島一也、杉澤浩一、
長谷川雅一、陣崎雅弘 頭部 CT-DSA にお
ける逐次近似応用画像再構成法の画質評
価:A phantom study. 日本放射線技術学会
東京部会春期学術大会.駒澤大学駒沢キャン
パス(東京都・世田谷区) 2014 May 17

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

陣崎雅弘 (JINZAKI Masahiro)
慶應義塾大学・医学部・教授
研究者番号：80216259

(2)研究分担者

藤原広和 (FUJIWARA Hirokazu)
慶應義塾大学・医学部・講師
研究者番号：20255558

杉浦弘明 (SUGIURA Hiroaki)

慶應義塾大学・医学部・助教
研究者番号：90306796

井上政則 (INOUE Masanori)
慶應義塾大学・医学部・助教
研究者番号：30338157

山田祥岳 (YAMADA Yoshitake)
慶應義塾大学・医学部・助教
研究者番号：60383791

(3)連携研究者

坂本好昭 (SAKAMOTO Yoshiaki)
慶應義塾大学・医学部・助教
研究者番号：10464835

尾原秀明 (OBARA Hideaki)
慶應義塾大学・医学部・助教
研究者番号：20276265

水野隆一 (MIZUNO Ryuichi)
慶應義塾大学・医学部・助教
研究者番号：60383824

前川裕一郎 (MAEKAWA Yuichirou)
慶應義塾大学・医学部・講師
研究者番号：90296575