

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K21035

研究課題名(和文) 整形外科共通手術情報フォーマット及び医療ビッグデータ学習循環型支援フレームワーク

研究課題名(英文) Development of training-data-circulation-typed surgical assistant framework using medical big data and newly defined surgical information data format including pre- and post-operative data

研究代表者

鍵山 善之 (KAGIYAMA, Yoshiyuki)

山梨大学・大学院総合研究部・准教授

研究者番号：30506506

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、整形外科人工関節全置換術を対象とした術前術後を含む手術情報管理及び医療ビッグデータ活用による学習循環型手術支援システムの開発である。本研究では、多数の患者情報やインプラント情報を包含的に管理できる共通データフォーマットの策定を行い、医療ビッグデータを統計解析することで、学習循環型手術支援システムの開発を行った。評価実験を100例に対して実施した結果、外科医計画に対し1評価値で有意に改善した他、残りの評価値全てで同等となった。また、術後自動評価システムの評価実験では、19例を適用し、術後インプラント位置推定において正解データとほぼ一致させることができたから、有用性を確認できた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is to develop a surgical information management method including pre- and post-operative data for total hip replacement and training-data-circulation-typed surgical assistant system using medical big data. In this study, we defined XML data format which is able to handle many patients' data and implants data efficiently, and developed the surgical assistant system which equips exchangeable training-data-set module and post-operative evaluation. In the experiments of pre-operative phase, 100 cases were applied to the proposed system and several surgical criteria of the optimal plans were compared with surgeon's plans. As a result, one criterion was significantly better than the surgeon's and all the others were almost equivalent. In the experiments of post-operative phase, 19 cases were applied for automated estimation of implant positions and we confirmed the highly accurate determination. We considered that the results showed the usefulness of the system.

研究分野：医工学，医用画像解析

キーワード：計算機支援外科 手術計画 ビッグデータ 統計アトラス 深層学習 術前支援 術後評価 畳み込みニューラルネットワーク

1. 研究開始当初の背景

近年、整形外科人工股関節手術では、手術中にインプラント設置位置姿勢の誘導を行う手術ナビゲーションシステムや骨切りを自動で行う手術ロボットといった術中計算機システムの導入により高精度化が進んでいる[1-2]。一方でこれらのシステムに必要な不可欠である、手術前にインプラントの三次元位置姿勢や骨切り箇所を決定する手術計画は、スタンドアロンな計算機システム上で対話的に立案され、その手術計画データや術前 CT 画像データ、そして術後の評価に用いられる術後 CT 画像データはデータベース化されることなく、ディスク媒体等に保管されるだけであった。そのため、研究開始当初は次のような問題があった。

(1) これらの過去に施術された術前、術後を含む手術データのほとんどはうまく活用されているとは言えない状況にあった。また、手術計画やそれらの臨床的評価値情報、術後評価情報や多数のインプラントデータ等の手術情報を数千、数万の単位で包括的に扱える共通フォーマットは策定されておらず、施術数の少ない地方病院と手術ノウハウを共有できるような基盤構築もなされていなかった。

(2) 手術計画やその臨床的評価を行う術前計算機支援システムについては、術中計算機システムとの連携の観点から商用システムを含め複数の研究開発が進められてきたが、術後計算機支援システムについては、術後状態評価を自動的に行ったり、その結果を術前支援に活用するような枠組みの研究はほとんどなされていなかった。

研究代表者や協力者のグループでは、これまでに過去に施術された多数症例の手術計画データを学習データとし、そのインプラントと骨の位置関係、または臨床的評価情報のバランスをモデル化することで、新規症例的に対してもその整形外科医の計画傾向に沿う手術計画を自動的に立案するシステムを実現してきた[3-4]。その手法に対し、上記に提示した数千、数万の症例を扱うための基盤構築と、術後状態評価のフィードバックを組み合わせ、実現させることで当初の問題点の多くを解決できると考えられた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、整形外科人工関節全置換術を対象とした術前、術後を含む手術情報管理及び医療ビッグデータ活用による学習循環型手術支援システムの開発である。1. の研究開始当初の各問題点(1)(2)に対し、以下の目的で研究を行った。

(1) 数千、数万人分の術前計画、術後評価情報や全社のインプラント情報を包含的に

管理できる共通データフォーマットの策定、及び、そのビックデータを統計解析することで、術前計画や術後予測、術後診断支援に有効活用可能な基盤構築。

(2) 術後 CT 画像から手術対象骨及びインプラントを抽出し、手術計画との比較等の術後状態評価までを自動的に行う術後自動評価システムの開発。

これらを実現することで、術前の手術計画から術後状態評価情報までをデータベース化し、前述の学習ベースの自動化システムと組み合わせることで循環学習型フレームワークが構築できると考えた。この循環学習型のフレームワークの特徴は、登録される施術済患者のデータ数が増えれば増えるほど、より多くの症例に対する、熟練整形外科医のノウハウを蓄積でき、新規患者に対する支援性能も向上する点である。また、全国の病院で共通に使える匿名化医療ビッグデータを社会資産として電子フォーラム等で共有化できるようにすることで、若手整形外科医も熟練整形外科医のノウハウを活用できるようになる他、地方病院も含め全般的な医療水準向上が期待できると考えた。

3. 研究の方法

本研究では、人工股関節手術を対象に学習循環型手術支援システムの開発を行った。人工股関節手術は、図1のように球関節となっている股関節を、ソケットとなる骨盤側インプラント(カップ、インサート)と、ボールとそれを固定支持する大腿骨側インプラント(ヘッド、ステム)に置換する手術である。2. の目的の(1)(2)に対応して、それぞれの方法を説明する。

(1) まず、数千、数万症例の患者手術情報、多様なインプラントデータ、各種臨床的評価情報を包含することのできる医療ビッグデータ対応共通 XML データフォーマットを策定した(図2)。これは、1 症例の計画に対しても、これまでの研究で開発されている自動手術計画立案システムで立案される数千にのぼる計画候補を効率的に保存、読み書きできるようにするものである。また、策定された XML データフォーマットをもとに計画の閲覧用画像及び評価情報確認用 Web ページを自動生成する Web プレビューシステム(図3)を試作している。

次に、学習循環型手術支援システムの試作を行った。このシステムの概要は図4のようになる。前述の医療ビッグデータ対応共通 XML フォーマットに対応し、自動手術計画立案システムの学習データセット群を任意で指定できるようにしており、対象症例や整形外科医の判断に応じて学習データ群を入れ替えることが可能となっている。また、学習循環型手術支援フレームワークの運用プロ

トコルを構築し、データベースからの CT 画像を用いた DDR AP 画像に含まれるインプラント点数の自動リスト化や紙による手術記録データのデータベース取り込み、学習データに追加可能な同一タイプ症例群を抽出するための仕組みも整えている。

(2) 術後自動評価システム及び術後予測のための基礎的研究を行った。術後自動評価の試作システムは、術後 CT 画像からの手術対象骨及びインプラントの自動抽出モジュール (図 5) と、術前の手術計画との比較モジュールから構成される。今回は、術後骨盤と骨盤側インプラントであるカップを対象として深層畳み込みニューラルネットワークによる自動抽出を可能とし、それらの形態に加えカップ中心位置特定も行うシステムとなっている。

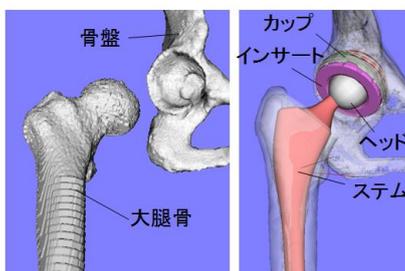


図 1 股関節とインプラント

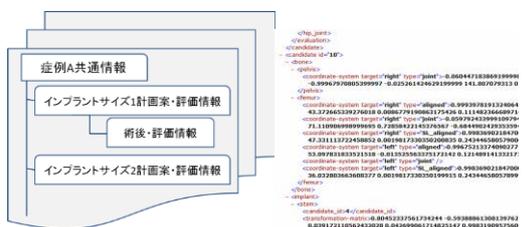


図 2 医療ビッグデータ対応 XML データフォーマット

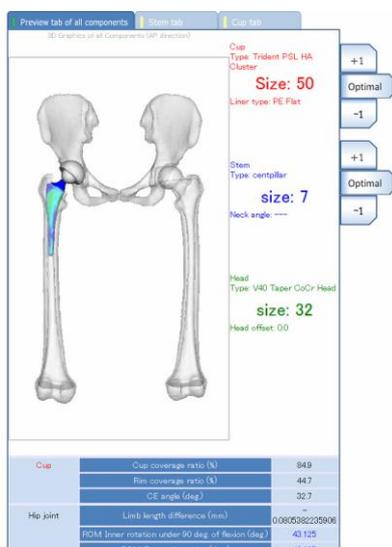


図 3 Web プレビューシステム

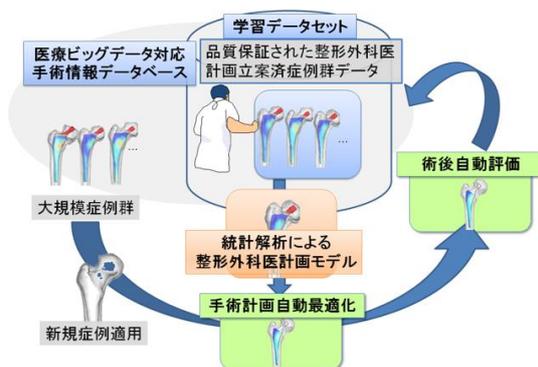


図 4 学習循環型手術支援システム処理フロー

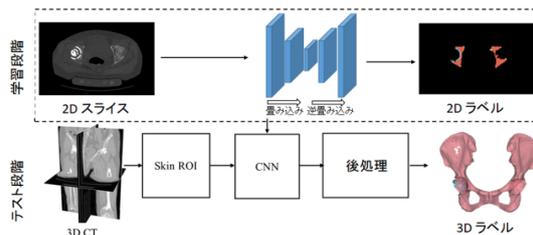


図 5 術後自動評価システム処理フロー

4. 研究成果

(1) 構築した学習循環型手術支援フレームワーク及びその運用プロトコルの試用実験に股関節関連手術データベースに登録した 241 症例分を適用した。運用プロトコルにもとづき、片側人工股関節手術のみの 100 例を抽出し、別途同一の熟練整形外科医により立案された品質の保証された 47 例を学習データとして学習循環型手術支援フレームワークで手術計画自動最適化を行った。その結果、整形外科医計画と比べて、自動最適化された手術計画は、脚長差 (2.93 ± 3.25 mm) で有意によくなった他、他の臨床の評価情報についても専門医と同等の値を得ることができた。骨被覆率は 83.9 ± 6.4 %、屈曲 90 度での内旋可動域は 46.5 ± 7.7 度、外旋の可動域は 42.3 ± 5.9 度、屈曲の可動域は 132.2 ± 3.2 度、伸展の可動域は 40.8 ± 8.0 度であった。典型例を図 6 に、整形外科医計画との誤差が大きかったものを図 7 に提示する。整形外科医に比べ、広い設置可能性を網羅的に考慮可能な提案フレームワークが、評価値全体のバランスを取ることが難しい脚長差を小さくできる傾向が大規模症例群においても確認でき、その有効性を確認できた。

(2) 術後自動評価システムの評価実験として、術後 CT 画像 19 例分を適用し、2-fold 交差検証を実施した。骨盤側インプラントであるカップ位置推定において、正確として手動抽出カップ位置との誤差が平均で 0.56 ± 0.52 mm となり、ほぼ一致させることができた。実際の自動抽出例を図 8 に示す。術後自動評価システムにより、高い精度で術後インプラ

ント自動抽出及び位置推定を行えたことから、その有用性を示したといえる。また、術前計画のカップ位置との位置ずれを算出したところ、自動のもので平均 $4.08 \pm 1.75\text{mm}$ となり、一部症例でやや浅めの設置になっているのが確認された。これらは、手術中の判断で設置位置が変更されたり、骨の硬さの影響により手前に設置されたものと考えられ、将来的にはこうした症例群を学習することで事前に手術計画からの乖離が起こる可能性を提示する等の術後予測が可能になると考えられる。

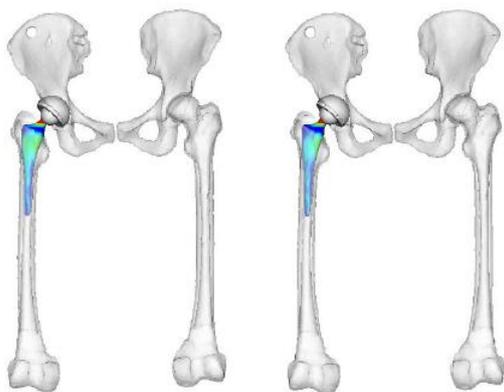


図6 手術計画比較 (左) 整形外科医計画 (右) 自動計画

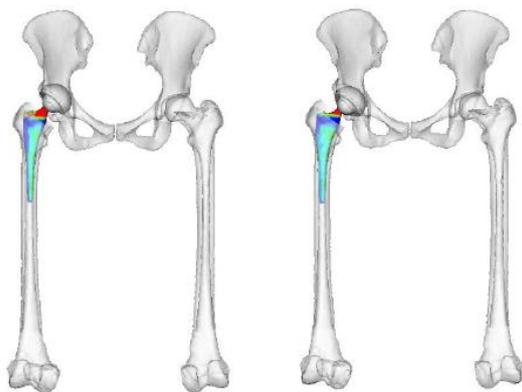


図7 手術計画比較 (左) 整形外科医計画 (右) 自動計画

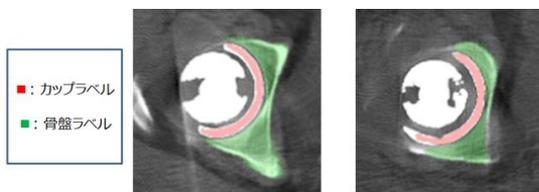


図8 術後自動抽出 (左) 典型例 (右) 精度低下例

<引用文献>

[1] N Sugano, T Nishii, H Miki, H Yoshikawa, Y Sato, S Tamura, Mid-term results of cementless total hip replacement using a ceramic-on-ceramic bearing with and without computer navigation, J. Bone Joint Surg. Br., Vol. 89, No. 4, 2007, pp. 455-460

[2] N Nakamura, N Sugano, T Nishii, A Kakimoto and H Miki, A comparison between robotic-assisted and manual implantation of cementless total hip arthroplasty, Clin. Orthop. Relat. Res., Vol. 468, No. 4, 2010, pp. 1072-1081

[3] I Otomaru I, M Nakamoto, Y Kagiya, M Takao, N Sugano, N Tomiyama, Y Tada, Y Sato, Automated preoperative planning of femoral stem in total hip arthroplasty: atlas-based approach and comparative study. Med Image Anal, Vol. 16, No. 2, 2012, pp. 415-426

[4] Y Kagiya, M Takao, N Sugano, Y Tada, N Tomiyama, Y Sato, Optimization of surgical planning of total hip arthroplasty based on computational anatomy. Proc IEEE EMBC, 2013, pp. 2980-2983

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 1件)

- ① Yoshiyuki Kagiya, Itaru Otomaru, Masaki Takao, Nobuhiko Sugano, Masahiko Nakamoto, Futoshi Yokota, Noriyuki Tomiyama, Yukio Tada, Yoshinobu Sato, CT-based automated planning of acetabular cup for total hip arthroplasty (THA) based on hybrid use of two statistical atlases, International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 査読有, Vol. 11, 2016, pp.2253-2271, 10.1007/s11548-016-1428-x

[学会発表] (計 5件)

- ① 末長 和馬, 鍵山 善之, 中西 裕紀, 日朝 祐太, 横田 太, 大竹 義人, 高尾 正樹, 菅野 伸彦, 佐藤 嘉伸, 人工股関節カップ自動手術計画システムにおける術後データ解析 ～術後 CT 画像からのカップ自動抽出と術後計画との比較～, 第12回日本CAOS研究会, 2018年3月22日, KKR ホテル大阪 (大阪府大阪市)
- ② 中西 裕紀, 鍵山 善之, 高尾 正樹, 菅野 伸彦, 多田 幸生, 大竹 義人, 佐藤 嘉伸, 前捻角統計予測による大腿骨ステム自動術前計画の異機種ステムへの対応, 第12回日本CAOS研究会, 2018年3月22日, KKR ホテル大阪 (大阪府大阪市)
- ③ 鍵山 善之, 中西 裕紀, 横田 太, 高尾 正樹, 小川 剛, 菅野 伸彦, 大竹

義人, 伊藤 安海, 多田 幸生, 佐藤 嘉伸, 人工股関節自動手術計画立案システムにおける大規模症例データ適用による精度調査, 第二回日中高齢化社会政策と産業化シンポジウム, 2016年11月5日, 東京工業大学大岡山キャンパス (東京都目黒区)

- ④ 鍵山 善之, 統計アトラスを用いた人工股関節自動手術計画立案システム, パーティクルフィルタ研究会, 2015年12月24日, 山梨大学 (山梨県甲府市)
- ⑤ Yoshiyuki Kagiya, Automated Planning System of THA, International Symposium on Musculoskeletal Simulation, 2015年8月29日, Osaka University Nakanoshima Center (大阪府大阪市)

[図書] (計 1 件)

[1] 伊藤 安海, 鍵山 善之, イラスト医工学, 株式会社アドスリー, 2017年, pp. 93-132

[その他]

ホームページ等

医療ビッグデータ活用による学習循環型手術支援フレームワーク“AutoImPlan”紹介 Web サイト

<http://www.me.yamanashi.ac.jp/lab/ito/AutoImPlan/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鍵山 善之 (KAGIYAMA, Yoshiyuki)
山梨大学・大学院総合研究部・准教授
研究者番号: 30506506

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

高尾 正樹 (TAKAO, Masaki)
佐藤 嘉伸 (SATO, Yoshinobu)
大竹 義人 (OTAKE, Yoshito)