

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K16684

研究課題名（和文）三次元解析技術を用いた骨内部性状及び軟骨構造分析：小児肘関節障害への応用

研究課題名（英文）Three-dimensional analysis of bone internal structures and cartilage structures

研究代表者

宮村 聡 (Miyamura, Satoshi)

大阪大学・大学院医学系研究科・助教

研究者番号：10897599

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：我々はCT骨モデルを用いた骨・関節三次元解析システムを独自に開発し、骨内部性状や軟骨構造などの質的要素を骨形態・関節動態と関連付けて評価することに成功した。本手法のさらなる応用を目指し、小児肘関節障害をターゲットとして研究を行った。上腕骨小頭離断性骨軟骨炎において、病変部の空間的広がりや軟骨下骨の骨密度の変化を定量化することにより、病状進行の程度や疾患の病態把握等に有用な情報が得られた。また、肘関節周囲骨折における軟骨病変の描出に向けた取り組みとして、軟骨構造を三次元化すべく、実験検体（カタバー）を用いてMRIから三次元モデルを作成しその精度を検証したところ、高精度のモデルが作成可能であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

病変部の質的評価は、疾患及び病態に応じた詳細な解析を可能とし、病期進行予測や病態把握につながる。野球肘として知られる肘離断性骨軟骨炎では、病変部の空間的広がりや不安定性を評価して病期・病態を正しく把握することが肝要であり、本結果は、治療に直結する病態理解や予後不良因子の解明の一助となる。四肢関節疾患の画像診断において特に難渋するのが、未骨化軟骨の評価である。小児期の関節周囲の骨折では、正確な診断に至らず不適切な治療が行われ、成長障害などの重度後遺症を残すことがある。今後は、本研究で確立した手法を、通常診療で用いられるモダリティへ拡張応用させ、軟骨損傷部の画像識別法の確立が期待される。

研究成果の概要（英文）：We have developed a three-dimensional (3D) musculoskeletal analysis system using CT data, and have applied it to research and clinical practice. Also, we have introduced qualitative factors such as bone density and cartilage structure to this system. With the aim of further applying this method, we conducted research targeting pediatric elbow joint disorders, which continue to pose diagnostic and therapeutic challenges in clinical practice. In cases of osteochondritis dissecans of the capitellum, useful information for assessing disease progression and understanding the pathophysiology of the condition was obtained by quantifying the lesions and changes in bone density beneath the cartilage. Additionally, as part of efforts to depict cartilage lesions in elbow joint fractures, we conducted 3D reconstruction of cartilage structures by creating 3D models from MRI scans using cadaveric specimens and verifying their accuracy, resulting in the creation of highly accurate models.

研究分野：整形外科

キーワード：小児肘関節障害 CT 骨内部情報 軟骨構造 上腕骨小頭離断性骨軟骨炎 小児肘関節周囲骨折

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

我々は、CT 骨モデルを用いた骨格変形の三次元形態評価や、複数肢位で撮影された CT データを補間することによって得られる三次元関節動作解析を行い、様々な骨・関節疾患の病態研究を展開してきた。しかし、従来の解析技術では CT 骨モデルの表面外形状のみを対象としており、骨密度に代表される骨内部性状や軟骨などの X 線透過性構造を踏まえた解析は行われていなかった。申請者は、CT データの各断層画像内に含まれる HU 値を反映させることにより、局所骨密度分布や骨微細構造、軟骨情報などの質的要素を従来の三次元解析技術に関連付ける技術を考案し、形態学・関節キネマティクスと骨内部微細構造との関連を研究してきた。成果の一つとして、内反肘変形に伴う異常応力が軟骨下骨の骨密度変化に及ぼす影響を可視定量評価することにより、肘関節における変形性関節症進展のメカニズムを解明した。このように、骨・関節疾患の病態把握において、三次元的性状分析の有用性は明らかにされつつあるものの、本手法が応用可能な疾患は数多く残されている。

### 2. 研究の目的

申請者が考案した手法では、骨・関節解析技術に骨内部性状や軟骨構造などの質的要素に関連付けることで疾患及び病態に応じた詳細な解析が可能となり、結果は病期進行予測や病態把握につながる。本手法は画像データを元に行われるため、(1) 骨性構造の描出に適しているだけでなく、画像の濃度勾配を保持したまま三次元構築を行うことにより、(2) 軟骨領域の変化を捉えることも可能である。そこで、本研究では以下の 2 つの目的を設定した。

- (1) 小児上腕骨小頭 OCD を対象に、本手法を用いて病変部の空間的広がりや軟骨下骨の骨密度変化などの骨性構造を評価する。本疾患は成長期の代表的投球障害であるが、進行例では手術加療が必要となり、スポーツ復帰率は決して高くない(64%~94%)。病態には不明な点が多く、診断・治療の画一的な指針がないため、本手法により骨構造の三次元的特徴を捉えることが出来れば、OCD の病態把握や予後予測において有用な情報となり、治療選択に際しても大きなインパクトを与えることが出来る。
- (2) 肘関節外傷例を対象に、軟骨病変の描出方法を確立する。例えば、小児肘関節周囲骨折の 10-20%を占める上腕骨外側顆骨折では、不適切な治療により偽関節や外反肘、神経麻痺などの重篤な障害を引き起こす。診断には軟骨の評価が不可欠とされるが、通常臨床で用いられる医用画像では X 線透過性の高い軟骨損傷は判別困難である。本研究では、軟骨病変を可視化することにより軟骨内病変を認識し、診断能を高めることを目標とする。上腕骨骨端離開や肘関節脱臼などその他の小児肘外傷例へ応用することを目指す。

### 3. 研究の方法

- (1) 上腕骨小頭 OCD を対象とした骨性構造評価  
骨内部性状の解析により、関節周囲の軟骨下骨の三次元骨密度分布が明らかとなれば、病状進行の程度や疾患の病態把握等に有用な情報が得られる。野球肘として知られる上腕骨小頭 OCD では、病変部の空間的広がりや不安定性を評価して病期・病態を正しく把握することが治療方針決定に際して重要である。この手法により従来の画像では描出し得なかった情報を取得し病変の詳細な評価が可能となれば、OCD の病態解明や治療方針決定の一助となる。本研究手法は、これまでに蓄積された CT DICOM データから、密度情報を保持したまま三次元骨モデルを構築し、座標空間内において病変部に直行する平面を設定する。この平面上に密度分布を表現することにより densitometry (HU 値を反映させた密度分布図) を作成し、病変部の詳細な解析を行い、病変部と健常肘を比較した。
- (2) 軟骨評価モデルの確立  
四肢関節疾患の画像診断において特に難渋するのが、軟骨の評価である。小児期の関節周囲の骨折では未骨化の軟骨成分にまで損傷が及んでいる場合があり、正確な診断に至らず不適切な治療が行われ、成長障害などの重度後遺症を残すことがある。本研究では、代表的な小児肘外傷である上腕骨外側顆骨折の CT データから局所濃度勾配変化を定量化することにより軟骨病変の可視化を行うことを目標とするも、その過程において、正常軟骨形状の把握が必要となることが判明した。そこで、研究の前段階として、正常軟骨モデルの作成から開始した。実験検体(カダバー)から三次元モデルを作成し、その生成精度を検証した。次段階として、軟骨損傷モデルの作成方法を確立し、損傷部位を描出するモデルの構築を目指す。

#### 4. 研究成果

- (1) 上腕骨小頭 OCD を対象とした骨性構造評価野球肘として知られる上腕骨小頭 OCD では、病変部の空間的広がりや不安定性を評価して病期・病態を正しく把握することが治療方針決定に際して重要である。本研究では、CT データから内部性状を保持したまま 3 次元骨モデルを作成し、上腕骨の解剖学的座標軸を定めた。座標空間内で OCD 病巣の 3 次元位置を同定し、病巣を中心とする座標平面を定めたうえで、骨密度値に基づくヒートマップを作成し、高骨密度領域を軟骨下骨の厚さとして測定することにより、OCD 病変に生じた硬化巣を定量的に評価することが出来た(図 1)。この領域は、手術の際に郭清・穿破すべき病巣と考えられ、本手法および結果は治療戦略を立てるうえでの重要な知見になりうる。

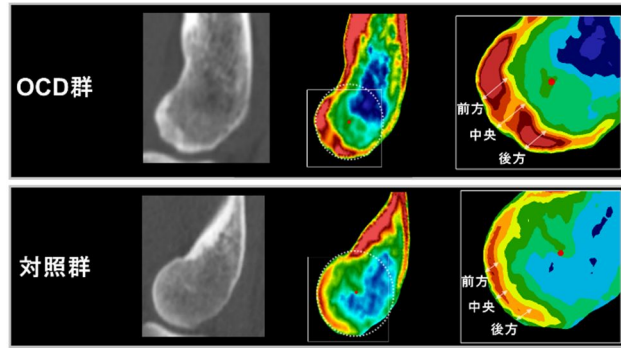


図 1. OCD 群(上段)と正常上腕骨(下段)の骨密度分布の違い。正常と比して、OCD 群の軟骨下骨が厚くなっている。

- (2) 軟骨評価モデルの確立  
肘関節周囲骨折の軟骨病変を描出に向けた取り組みとして、まず、正常軟骨モデルの作成に取り掛かった。軟骨構造の三次元化を行うべく、カダバーを用いて MRI から三次元モデルを作成しその精度を検証した。ホルマリン固定屍体を対象とし、解剖前に MRI 撮影を行い、骨および軟骨領域を抽出して上腕骨遠位・尺骨近位・橈骨頭の骨軟骨 MRI モデルを作成した。次に、3 次元レーザースキャナーを用いて軟骨を含めた骨外形状をスキャンし、6% 次亜塩素酸 Na 溶液で軟骨のみを選択的に溶解した後、再度スキャンし両者を重ね合わせることで骨軟骨スキャンモデルを作成した(図 2)。関節面を関心領域とし、MRI モデル及び真値となるスキャンモデルの平均軟骨厚を比較した。軟骨 MRI モデルの平均軟骨厚はスキャンモデルと同等であり、高精度のモデルが作成できた。実臨床における軟骨の欠損評価、術前 simulation などの使用に耐えうる精度と考えられた。今後は、本研究で確立した手法を通常診療で用いられるモダリティへ拡張応用、軟骨損傷部の画像識別能確立が期待される。

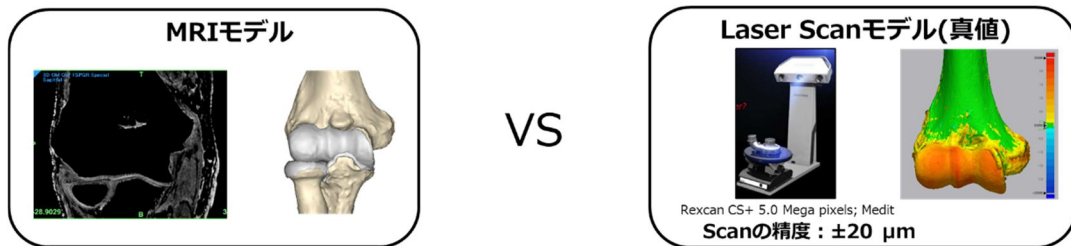


図 2. MR 撮影により得られた MRI モデル(左)とカダバーをレーザースキャンすることにより得られたスキャンモデル(右)。スキャンモデルを真値として 2 つのモデルの誤差を検証した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Miyamura Satoshi, Lans Jonathan, Shimada Kozo, Murase Tsuyoshi, Chen Neal C.	4. 巻 47
2. 論文標題 A Quantitative Analysis of Subchondral Bone Density Around Osteochondritis Dissecans Lesions of the Capitellum	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Hand Surgery	6. 最初と最後の頁 790.e1 ~ 790.e11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jhsa.2021.06.020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Miyamura Satoshi, Temporin Ko, Miyata Sataka, Miyake Tasuku, Shimada Kozo	4. 巻 38
2. 論文標題 Arthroscopic Debridement for Refractory Lateral Epicondylitis Results for Substantial Improvement in Tendinosis Scores and Good Clinical Outcomes: Qualitative and Quantitative Magnetic Resonance Imaging Analysis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Arthroscopy	6. 最初と最後の頁 3120 ~ 3129
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.arthro.2022.07.019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Temporin Ko, Miyoshi Yuji, Miyamura Satoshi, Oura Keiichiro, Shimada Kozo	4. 巻 32
2. 論文標題 Risk of nerve injury during elbow arthroscopy: ultrasonographic evaluation of preoperative patients	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Shoulder and Elbow Surgery	6. 最初と最後の頁 486 ~ 491
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jse.2022.11.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hazewinkel Merel H. J., DiGiovanni Peter, Miyamura Satoshi, Lans Jonathan, Chen Neal C., Lunn Kiera, Jupiter Jesse B.	4. 巻 -
2. 論文標題 Patient-Reported Outcomes After Surgical Treatment of Early Osteoarthritis of the First Carpometacarpal Joint	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 HAND	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/15589447221093669	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyamura Satoshi, Lans Jonathan, Min Kyong S., Waryasz Gregory R., Murase Tsuyoshi, Chen Neal C.	4. 巻 30
2. 論文標題 Bone resorption of the greater tuberosity after open reduction and internal fixation of complex proximal humeral fractures: fragment characteristics and intraoperative risk factors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Shoulder and Elbow Surgery	6. 最初と最後の頁 1626 ~ 1635
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jse.2020.09.014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Miyamura Satoshi, Lans Jonathan, Murase Tsuyoshi, Oka Kunihiro, Chen Neal C.	4. 巻 30
2. 論文標題 Degenerative changes in the elbow joint after radial head excision for fracture: quantitative 3-dimensional analysis of bone density, stress distribution, and bone morphology	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Shoulder and Elbow Surgery	6. 最初と最後の頁 e199 ~ e211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jse.2020.09.035	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shiode Ryoya, Oka Kunihiro, Shigi Atsuo, Miyamura Satoshi, Tanaka Hiroyuki, Mae Tatsuo, Murase Tsuyoshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Arthroscopic Debridement of Elbow Osteoarthritis Using CT-Based Computer-Aided Navigation Systems Is Accurate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Arthroscopy, Sports Medicine, and Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 e1687 ~ e1696
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.asmr.2021.07.025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計21件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 宮村 聡
2. 発表標題 Preoperative Computer Simulation and Surgical Tips for Vascularized Bone Grafting in Scaphoid Non-union
3. 学会等名 AO North America International Round Table—Surgical Pearls in Upper Limb Surgery from Around the World (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮村 聡、岡 久仁洋、島田 幸造、轉法輪 光、三宅 佑、宮田 佐崇、村瀬 剛
2. 発表標題 橈骨遠位部関節軟骨及び軟骨下骨の三次元解析
3. 学会等名 第39回中部日本手外科研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮村 聡、岡 久仁洋、轉法輪 光、島田 幸造、村瀬 剛
2. 発表標題 SNAC wristにおける遠位手根列の三次元偏位と局所骨密度分布との関連について
3. 学会等名 第65回日本手外科学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮村 聡、岡 久仁洋、塩出 亮哉、数井 ありさ、岩橋 徹、田中 啓之、村瀬 剛
2. 発表標題 SNAC wristにおける遠位手根列の三次元偏位と局所骨密度分布との関連について
3. 学会等名 第14回手外科ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮村 聡、岡 久仁洋、島田 幸造、轉法輪 光、三宅 佑、宮田 佐崇、村瀬 剛
2. 発表標題 橈骨遠位部関節軟骨及び軟骨下骨の三次元解析
3. 学会等名 第49回日本臨床バイオメカニクス学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮村 聡、島田 幸造、轉法輪 光、岡 久仁洋、塩出 亮哉、数井 ありさ、岩橋 徹、田中 啓之、村瀬 剛
2. 発表標題 上腕骨小頭離断性骨軟骨炎における病巣周囲の軟骨下骨密度解析
3. 学会等名 第35回日本肘関節外科学会学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮村 聡、岡 久仁洋、村瀬 剛
2. 発表標題 橈骨頭切除が肘関節に与える影響について
3. 学会等名 第35回日本肘関節外科学会学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡 久仁洋、塩出 亮哉、数井 ありさ、山本 夏希、岩橋 徹、田中 啓之、宮村 聡、村瀬 剛
2. 発表標題 手術シミュレーションの現在・未来
3. 学会等名 第65回日本手外科学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 数井ありさ、岡久仁洋、塩出亮哉、宮村聡、山本夏希、三宅佑、田中啓之、岩橋徹、村瀬剛
2. 発表標題 背屈転位型橈骨遠位端骨折後の変形治癒症例における骨密度とストレス分布の変化
3. 学会等名 第14回手外科ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本 夏希、岡 久仁洋、三宅 佑、数井 ありさ、塩出 亮哉、宮村 聡、田中 啓之、岩橋 徹、村瀬 剛
2. 発表標題 母指CM関節症における軟骨下骨骨密度変化の検討
3. 学会等名 第14回手外科ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 数井 ありさ、岡 久仁洋、塩出 亮哉、宮村 聡、山本 夏希、三宅 佑、田中 啓之、岩橋 徹、村瀬 剛
2. 発表標題 背屈転位型橈骨遠位端骨折後の変形治癒症例における骨密度とストレス分布の変化
3. 学会等名 第49回日本臨床バイオメカニクス学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塩出 亮哉、岡 久仁洋、阿部 真悟、宮村 聡、数井 ありさ、山本 夏希、三宅佑、岩橋 徹、田中 啓之、岡田 誠司、村瀬 剛
2. 発表標題 Intensity Based Biplane 2D3D Registration法を用いた生体内3次元前腕回旋動態の再現
3. 学会等名 第49回日本臨床バイオメカニクス学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本 夏希、宮村 聡、塩出 亮哉、数井 ありさ、三宅 佑、村瀬 剛、岡 久仁洋
2. 発表標題 母指CM関節症における軟骨下骨骨密度変化の検討
3. 学会等名 第49回日本臨床バイオメカニクス学会学術集会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 三宅 佑、宮村 聡、三木 亮、山本 夏希、塩出 亮哉、数井 ありさ、村瀬 剛、岡 久仁洋
2. 発表標題 内反肘の経時的3次元形態変化
3. 学会等名 第35回日本肘関節外科学会学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡 久仁洋、宮村 聡、塩出 亮哉、数井 ありさ、山本 夏希、三宅 佑、岩橋 徹、田中 啓之、村瀬 剛
2. 発表標題 内反肘によるスポーツ障害
3. 学会等名 第35回日本肘関節外科学会学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塩出 亮哉、岡 久仁洋、信貴 厚生、岩橋 徹、田中 啓之、宮村 聡、数井 ありさ、山本 夏希、三宅 佑、村瀬 剛
2. 発表標題 変形性肘関節症に対する関節鏡視下関節形成術にnavigation systemの応用した1例
3. 学会等名 第35回日本肘関節外科学会学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡 久仁洋、田中 啓之、信貴 厚生、阿部 真悟、宮村 聡、塩出 亮哉、数井 ありさ、村瀬 剛
2. 発表標題 陳旧性モンテジア骨折における橈尺骨長不均衡の定量評価
3. 学会等名 第35回日本肘関節外科学会学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 塩出 亮哉、岡 久仁洋、信貴 厚生、宮村 聡、田中 啓之、前 達雄、村瀬 剛
2. 発表標題 CT データに基づくコンピュータ支援ナビゲーションシステムを用いた 変形性肘関節症に対する関節鏡下骨棘切除術の正確性
3. 学会等名 第35回日本肘関節外科学会学術集会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮村 聡、岡 久仁洋、塩出 亮哉、数井 ありさ、田中 啓之、轉法輪 光、島田 幸造、村瀬 剛
2. 発表標題 橈骨遠位部関節軟骨及び軟骨下骨の三次元解析
3. 学会等名 日本手外科学会学術集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮村 聡、岡 久仁洋、島田 幸造、轉法輪 光、三宅 佑、宮田 佐崇、村瀬 剛
2. 発表標題 橈骨遠位部関節軟骨及び軟骨下骨の三次元解析
3. 学会等名 中部日本手外科研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮村 聡、轉法輪 光、宮田 佐崇、三宅 佑、島田 幸造
2. 発表標題 上腕骨外側上顆炎に対する関節鏡視下デブリードマン後のMRI所見と術後症状との関連について
3. 学会等名 日本肘関節学会学術集会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------