

上腕骨小頭離断性骨軟骨炎に対する骨軟骨柱移植部の骨微細構造 —HR-pQCT による解析—

梶山 史郎 佐田 潔 松尾 洋昭 尾崎 誠
長崎大学病院整形外科

Bone Microstructure of Osteochondral Autograft Site for Osteochondritis Dissecans of the Capitellum Analyzed by HR-pQCT

Shiro Kajiyama Kiyoshi Sada Hiroaki Matsuo Makoto Osaki
Department of Orthopaedic Surgery, Nagasaki University Hospital

HR-pQCT を用い上腕骨小頭離断性骨軟骨炎（小頭 OCD）に対する骨軟骨柱移植術後の骨微細構造を解析した。対象は小頭 OCD に対して手術後 3 年経過した高校生投手 1 名（16.3 歳）である。コントロールとして同一チームの高校生投手 8 名を調査した。HR-pQCT で被験者の両肘を撮影し、小頭軟骨下骨の骨梁体積密度 (BV/TV)、骨梁幅 (Tb.Th) などを評価した。小頭 OCD 患者の投球側 BV/TV は 24.2%、Tb.Th は 246.5 μ m、非投球側ではそれぞれ 24.6%、238.9 μ m であった。一方、健常群の投球側 BV/TV の平均は 37.9%、Tb.Th の平均は 277.5 μ m であり、非投球側はそれぞれ 23.8%、217.8 μ m であった。術後 3 年で移植部軟骨下骨の骨微細構造は対象やコントロール群の非投球側と概ね同等であったが、コントロール群の投球側に見られるような増大した骨梁構造は認められなかった。

【緒 言】

外側型野球肘の代表である上腕骨小頭離断性骨軟骨炎（小頭 OCD）に対する骨軟骨柱移植術の良好な治療成績が多く報告されているが、術後の画像評価として X 線や MRI などが用いられている^{1,3)}。それらの方法では、移植した骨軟骨柱と母床の骨癒合の有無や軟骨の性状などを確認することはできるが、骨梁レベルでの評価は解像度の限界により不可能である。

近年、ヒト生体に対する骨微細構造の非侵襲的な解析を初めて可能にした高解像度末梢骨用定量的 CT (High Resolution peripheral Quantitative CT : HR-pQCT) を用いて、骨粗鬆症に伴う末梢骨の病的変化などが詳細に検討されつつある⁴⁾。当科では 2015 年に第二世代の HR-pQCT を導入して上肢・下肢のさまざまな部位の評価を行っており⁵⁾、それらの研究の一つとして野球選手肘関節の骨微細構造変化の解析を開始している。本研究の目的は、HR-pQCT を用いて小頭 OCD に対する骨軟骨柱移植術後の軟骨下骨の骨微細構造を解析することである。

【対象と方法】

対象は、小頭 OCD に対して骨軟骨柱移植術を行い、術後 3 年経過した高校生硬式野球投手 1 名（16.3 歳、男性）である。右肘の外側広範型小頭 OCD に伴う骨軟骨欠損部（直径約 14mm）に対して、13 歳時に Arthrex OATS® system を用いて同側大腿骨顆部より骨軟骨柱計 3 本（直径 8mm: 1 本、6mm: 2 本）

を移植した。術後 3 か月よりキャッチボールを開始し、術後 6 か月より投手に完全復帰した。コントロールとして、同一チームの高校生投手 8 名（平均年齢 16.7 \pm 0.4 歳、全例男性）を調査した。

HR-pQCT (XtremeCT II, Scanco Medical) で対象とコントロール群の両肘をボクセルサイズ 60 μ m、スキャン長 30.6mm で撮影した。撮影時間は約 8 分であった。被験者はリクライニング式の椅子の上で仰臥位となり、肩関節 90° 外転位で撮影側の上肢を CT 内に挿入した。体動に伴うアーチファクトを最小限とするため、既成の手関節固定装具に特注した専用の上腕用装具を追加装着し撮影した（図 1）。

得られた画像を骨構造解析ソフトウェア (TRI/3D-BON, Ratoc System Engineering) を用いて解析した。関心領域の設定は以下のように行った。MPR 水平断における小頭中央部での軟骨下骨幅 8mm で、矢状断における 120° 円弧の領域を抽出した。抽出した領域の表層 0.5mm 厚を軟骨下骨終板と定義し、終板を除いた深さ 2.5mm の層を関心領域と設定した（図 2、図 3）。関心領域における骨梁体積密度 (BV/TV, %)、骨梁幅 (Tb.Th, μ m)、骨梁数 (Tb.N, /mm)、骨梁間距離 (Tb.Sp, μ m)、骨密度 (BMD, mg/cm³)、連結性密度 (Conn.D, /mm³) を計測し、非投球側やコントロール群と比較した。

Key words : osteochondritis dissecans of the capitellum (上腕骨小頭離断性骨軟骨炎), osteochondral autograft transfer (自家骨軟骨柱移植術), bone microstructure (骨微細構造)

Address for reprints : Shiro Kajiyama, Department of Orthopaedic Surgery, Nagasaki University Hospital, 1-7-1, Sakamoto, Nagasaki 852-8501 Japan

【結 果】

解析に使用した領域の CT 矢状断像においては、移植した骨軟骨柱部は良好に生着し、関節面および軟骨下骨が再建されていた (図 4)。小頭 OCD 患者の投球側 BV/TV は 24.2%, Tb.Th は 246.5 μm であった。また、Tb.N は 0.61/mm, Tb.Sp は 441.1 μm , BMD は 692.7 mg/cm^3 であり、Conn.D は 2.8/ mm^3 であった。非投球側ではそれぞれ 24.6%, 238.9 μm , 0.73/mm, 393.7 μm , 691.0 mg/cm^3 , 3.0/ mm^3 であった。一方、コントロール群の投球側 BV/TV の平均は 37.9 (24.7 ~ 50.7) %, Tb.Th の平均は 277.5 (196.5 ~ 354.9) μm であり、Tb.N, Tb.Sp, BMD, Conn.D の平均はそれぞれ 0.81 (0.63 ~ 0.93) /mm, 319.3 (275.6 ~ 407.8) μm , 712.6 (659.1 ~ 749.4) mg/cm^3 , 4.1 (3.1 ~ 5.2) / mm^3 であった。また、非投球側の BV/TV, Tb.Th, Tb.N, Tb.Sp, BMD, Conn.D の平均はそれぞれ 23.8 (16.6 ~ 30.9) %, 217.8 (197.7 ~ 252.5) μm , 0.76 (0.62 ~ 0.95) /mm, 368.4 (287.6 ~ 441.8) μm , 680.2 (663.0 ~ 702.8) mg/cm^3 , 3.4 (1.2 ~ 6.5) / mm^3 であった (図 5)。

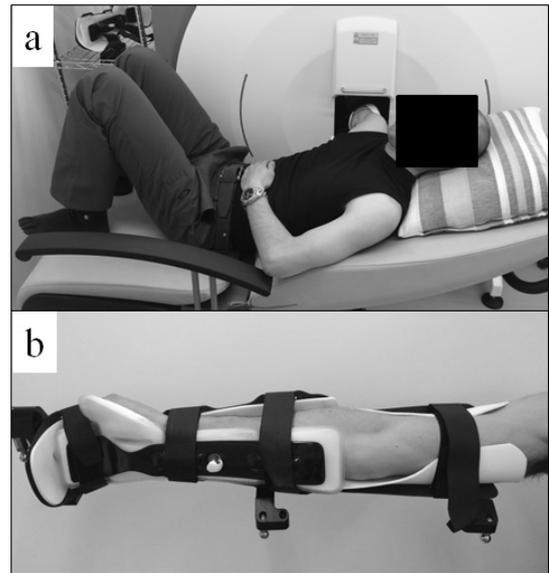


図 1 HR-pQCT による肘関節撮影方法
a. 被験者はリクライニング式椅子上で仰臥位となり、肩関節 90° 外転位で撮影側の upper limb を CT 内に挿入した。
b. 既成の手関節固定装具に特注した専用の上腕用装具を追加装着し撮影した。

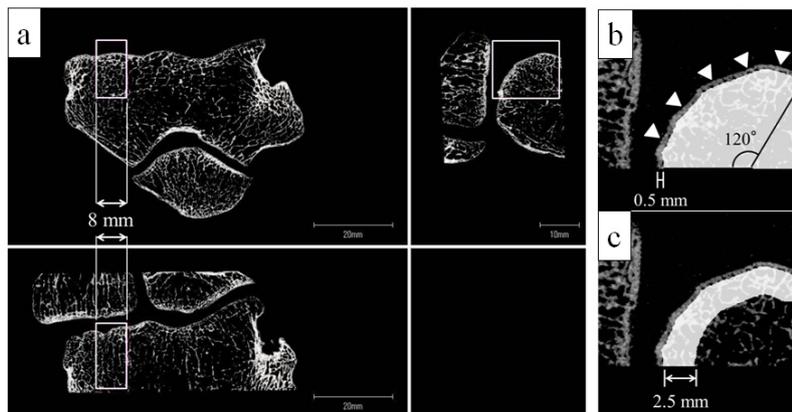


図 2 関心領域の設定
a. MPR 水平断における小頭中央部での軟骨下骨 8mm 幅を設定。
b. 矢状断における 120° 円弧の領域を抽出し、0.5mm 厚を軟骨下骨終板 (▽) と定義。
c. 終板を除いた深さ 2.5mm の層を関心領域と設定。

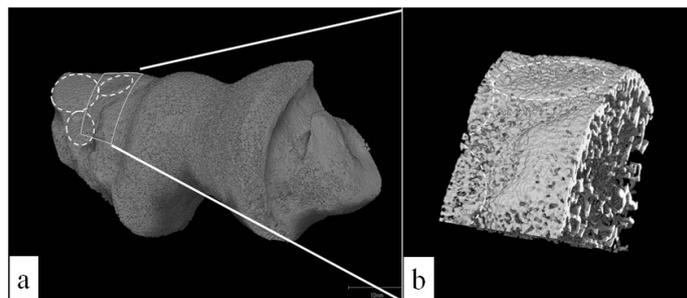


図 3 骨軟骨柱移植部と関心領域の関係
a. 上腕骨遠位関節面の骨軟骨柱移植部
b. 抽出した軟骨下骨終板と関心領域

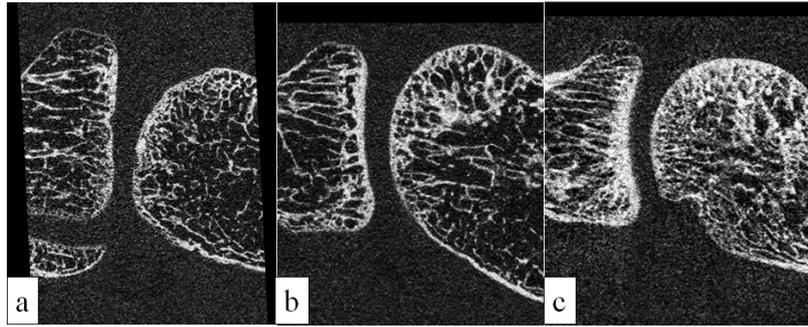


図4 解析に使用した領域の上腕骨小頭 CT 矢状断像

- a. 対象の投球側（骨軟骨柱移植部）
- b. 対象の非投球側
- c. コントロール群の投球側

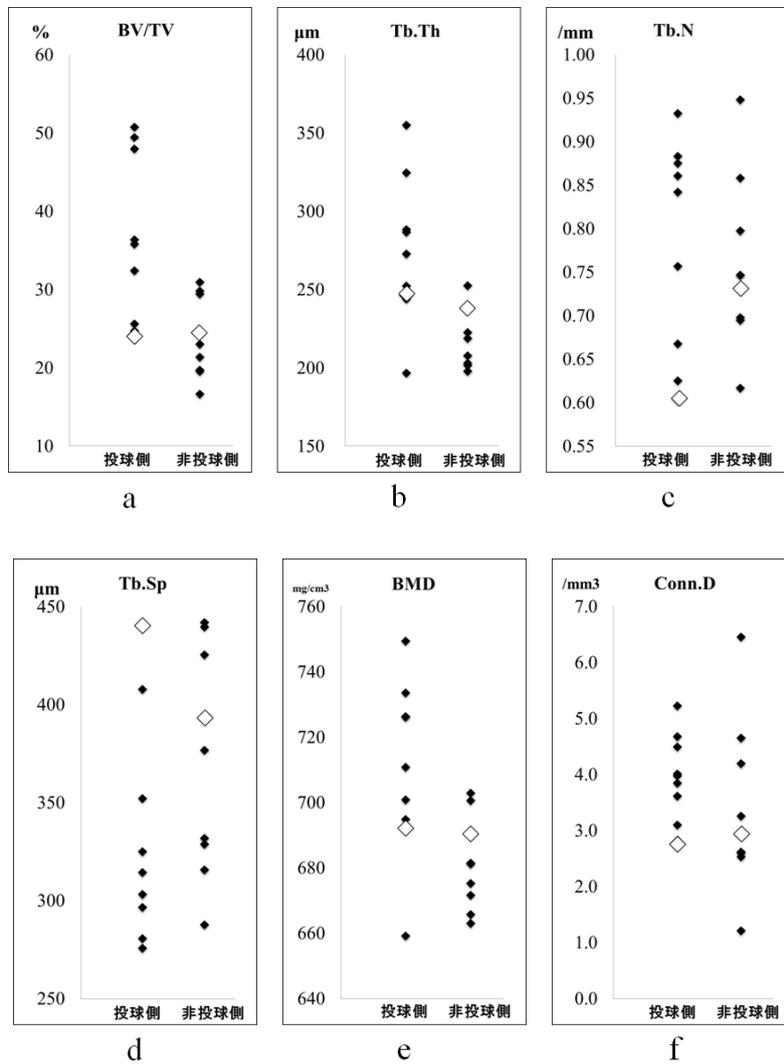


図5 関心領域の各パラメータにおける投球側と非投球側の比較
移植部軟骨下骨の骨微細構造は対象やコントロール群の非投球側と概ね同等であったが、コントロール群の投球側に見られるような増大した骨梁構造は認められなかった。

(◇: 対象, ◆: コントロール群)

- a. 骨梁体積密度 (BV/TV, %)
- b. 骨梁幅 (Tb.Th, μm)
- c. 骨梁数 (Tb.N, /mm)
- d. 骨梁間隔 (Tb.Sp, μm)
- e. 骨密度 (BMD, mg/cm³)
- f. 連結密度 (Conn.D, /mm³)

【考 察】

広範型小頭 OCD の関節面再建を目的とした骨軟骨柱移植術の良好な治療成績が報告されており、術後の移植部の評価には X 線や MRI などが用いられている。Maruyama ら²⁾は、単純 X 線により 33 例の経過観察を行い、平均 3.8 か月で全例移植骨の輪郭が消失したと報告している。また、Iwasaki ら¹⁾は、X 線に加えて MRI で移植骨軟骨部の評価を行い、良好な骨癒合が認められるとともに、1 例を除いて関節軟骨や軟骨下骨がほぼ正常な所見を示していたと述べている。さらに、経時的に MRI で骨軟骨移植部を評価した別の論文では、術後 3 か月から 12 か月の間に全例で移植部は正常または軽度の骨髄浮腫が認められるまで回復していたと報告されている⁶⁾。今回、われわれは HR-pQCT により骨軟骨柱移植部軟骨下骨の微細構造を詳細に評価した。その結果、骨軟骨柱移植術後 3 年で移植部軟骨下骨の骨微細構造は対象やコントロール群の非投球側と概ね同等であり、病変部の骨微細構造は手術により再建されていると考えられた。しかしながら、コントロール群の投球側に見られるような増大した骨梁構造は認められなかった。3 年の経過では移植部が投球ストレスに対応した構造までには改変していない可能性がある。

本研究の限界として、骨軟骨柱移植術後の症例 1 例のみの評価であることがあげられる。今後骨軟骨柱移植術後の評価症例を増やし、各種骨微細構造のパラメータについて非投球側やコントロール群との統計学的な検討を行っていく必要がある。また、HR-pQCT は被曝線量が少ないため同一症例で繰り返し撮影することが可能であり⁷⁾、今後、骨軟骨柱移植術後の症例を経時的に評価することで、同術式による小頭 OCD 再建部位の癒合、改変過程を明らかにしたいと考えている。

【結 語】

1. HR-pQCT を用い、小頭 OCD に対する骨軟骨柱移植術後の軟骨下骨の骨微細構造を解析した。
2. 術後 3 年で移植部軟骨下骨の骨微細構造は対象やコントロール群の非投球側と概ね同等であったが、コントロール群の投球側に見られるような増大した骨梁構造は認められなかった。

【文 献】

- 1) Iwasaki N, Kato H, Ishikawa J, et al: Autologous osteochondral mosaicplasty for osteochondritis dissecans of the elbow in teenage athletes. *J Bone Joint Surg Am.* 2009; 91: 2359-66.
- 2) Maruyama M, Takahara M, Harada M, et al: Outcomes of an open autologous osteochondral plug graft for capitellar osteochondritis dissecans: time to return to sports. *Am J Sports Med.* 2014; 42:2122-7.
- 3) Yamamoto Y, Ishibashi Y, Tsuda E, et al: Osteochondral autograft transplantation for osteochondritis dissecans of the elbow in juvenile baseball players: minimum 2-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2006; 34:714-20.
- 4) Nishiyama KK, Shane E: Clinical imaging of bone microarchitecture with HR-pQCT. *Curr Osteoporos Rep.* 2013; 11: 147-55.
- 5) Chiba K, Okazaki N, Kurogi A, et al: Precision of Second-Generation High-Resolution Peripheral Quantitative Computed Tomography: Intra- and Intertester Reproducibilities and Factors Involved in the Reproducibility of Cortical Porosity. *J Clin Densitom.* 2017 Feb 27. pii: S1094-6950(16)30220-7.
- 6) Iwasaki N, Kato H, Kamishima T, et al: Sequential alterations in magnetic resonance imaging findings after autologous osteochondral mosaicplasty for young athletes with osteochondritis dissecans of the humeral capitellum. *Am J Sports Med.* 2009; 37:2349-54.
- 7) 千葉 恒, 尾崎 誠:【脆弱性骨折のすべて】骨折の臨床, 画像診断の進歩 MDCT, HR-pQCT による骨構造, 骨脆弱性の新しい画像評価. *Orthopaedics.* 2016 ; 29 : 15-21.