

1. 特許の取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

8. 参考文献

- 1) Yamamoto T, et al. Subchondral insufficiency fracture of the femoral head: a differential diagnosis in acute onset of coxarthrosis in the elderly. *Arthritis Rheum.* 1997;42:2719-2723.
- 2) Ikemura S, et al. MRI evaluation of collapsed femoral heads in patients 60 years of age or older: the differentiation of subchondral insufficiency fracture from osteonecrosis of the femoral head. *AJR Am J Roentgenol.* 2010;195:W63-68.
- 3) Yamamoto T, et al. The prevalence and clinicopathological appearance of extension of osteonecrosis in the femoral head. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81:328-332.
- 4) Miyanishi K, et al. Contrast-enhanced MR imaging of subchondral insufficiency fracture of the femoral head: a preliminary comparison with that of osteonecrosis of the femoral head. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009;129:583-589.
- 5) Raffi M, et al. Insufficiency fracture of the femoral head: MR imaging in three patients. *AJR Am J Roentgenol.* 1997;168:159-163.
- 6) Ikemura S, et al. Bilateral subchondral insufficiency fracture of the femoral head after renal transplantation. *Arthritis Rheum.* 2005;52:1293-1296.
- 7) Kang JS. Prevalence of osteonecrosis of the femoral head: a nationwide epidemiologic analysis in Korea. *J Arthroplasty.* 2009;24:1178-1183.

骨 SPECT/CT による壊死層周辺の評価

本村悟朗、山本卓明、中島康晴、馬渡太郎、糸川高史、大石正信、岩本幸英（九州大学大学院医学研究院 整形外科）

回転骨切り術後に施行された骨シンチの SPECT/CT 画像を用いて、対側股関節の壊死層周辺を評価した。対象は 16 例(男性 9 例、女性 7 例)、Stage 1: 10 例、Stage 2: 2 例、Stage3A: 4 例であった。Stage1 および 2 の症例では、全例 CT において骨硬化像を認め、周辺に normal~moderate な tracer uptake を認めた。一方、Stage3A の症例では、壊死層周辺の tracer uptake が強い傾向にあった。

1. はじめに

Single-photon emission CT/CT (以下 SPECT/CT) はガンマカメラとマルチスライス CT が一体となった装置であり、Fusion 画像(核医学画像と CT 画像を重ねあわせて表示すること)を作成することにより、核医学の機能・代謝画像と CT の解剖学的位置・形態情報を同時に表示することができる。

骨 SPECT/CT は、骨シンチグラフィ製剤である二リン酸塩 (^{99m}Tc -HMDP など) 静中後約 4 時間で全身骨検査の一連として撮像され、Tracer の集積は骨造成(骨芽細胞の活動度)と局所血流量に依存する。我々は以前より、大腿骨頭回転骨切り術後の回転骨片の血流確認目的に、術後 5 週時に骨シンチグラフィをルーチンで施行しており、当院に SPECT/CT 装置が導入されて以降、同時に Fusion 画像が得られるようになった。

今回、骨 SPECT/CT fusion 画像を用いて、壊死層周辺部の骨芽細胞活性を評価したので報告する。

2. 研究方法

対象は、2009 年 10 月以降に大腿骨頭回転骨切り術を施行された両側 ONFH 症例の中で、術後ルーチンの骨 SPECT/CT 検査時に対側股関節が未手術であった 16 例である。男性 9 例、女性 7 例、平均年齢 37.6 歳、ステロイド性 9 例、アルコール性 7 例である。

病期分類は班会議病期分類を用いて判定した。CT における骨硬化像の判定は、MRI における band 像と対比し、band 像に対応する部位に骨硬化像を認めたものを骨硬化像ありと判定した。骨 SPECT/CT fusion 画像における Tracer uptake の評価は、Sedonja ら¹⁾

の評価法を modify し、隣接する大腿骨骨幹端部の radioactivity を reference point (normal)として、normal, low, moderate, high、の 4 段階で視覚的に評価した。

3. 研究結果

Stage1 は 10 例、stage2 は 2 例であった。Stage1 および 2 症例において、疼痛は全例で認めていなかった。CT での硬化像は、Stage1 症例においても全例で境界域に一致する部位に何らかの硬化像を認めた。Stage 1 における Tracer uptake は、normal 1 例、low 3 例、moderate 6 例であった。Stage 2 では、2 例とも moderate であった。

Stage3A は 4 例で、疼痛出現から検査までの期間は 4~12 ヶ月であった。Tracer uptake は、4 例中 3 例で high、残りの 1 例は moderate であった。High 症例における tracer uptake は境界域に沿って一様ではなく、3 例はそれぞれ外側境界域、前下方の境界域、後方の境界域、に強い uptake を認めていた。

4. 考察

Stage1 症例では、CT で全例に骨硬化像を認め、Tracer uptake も弱いながらも認めていたことから、Stage1 における壊死層周辺の骨芽細胞活性は亢進しているが強いものではないことが示唆された。

本研究では同一症例の経時的変化を検討できてはいないが、圧潰前後(Stage2 と 3A の間)の骨芽細胞活性の違いは明らかであった。Miki らは、14 股の骨シンチの経時的変化を報告し、そのうち 3 股は発症前後で検査され、いずれも発症後の uptake は増強していたことを報告している²⁾。以上より、圧潰を契機に

して、骨芽細胞の活性はさらに増強するのではないかと推察している。

5. 結論

骨 SPECT/CT において、壊死層周辺には早期 (Stage 1, 2) より tracer uptake がみられるものの、強い uptake はみられなかった。一方、圧潰後 (Stage 3A) の壊死層周辺には強い tracer uptake がみられる傾向にあった。

6. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

7. 知的所有権の取得状況

なし

8. 参考文献

- 1) Sedonjya I, Jevtic V, Milcinski M. Bone scintigraphy as a prognostic indicator for bone collapse in the early phases of femoral head osteonecrosis. *Ann Nucl Med.* 2007;21:167-73.
- 2) Miki T, Yamamuro T, Okumura H, Ueo T, Kasai R, Yamamoto I. Scintigraphy in nontraumatic femoral head necrosis. *Acta Orthop scand.* 1987;58:375-8..

壊死領域評価と圧潰との関連性について

西井 孝、坂井孝司、高尾正樹、中村宣雄、花之内健仁、中原一郎、吉川秀樹、菅野伸彦
(大阪大学大学院医学系研究科 運動器医工学治療学／器官制御外科学)

病型判定の検者間誤差および判定機器のおよぼす影響と、正確に骨頭中心を通る冠状断像での病型分類と圧潰発生との関連性について検討した。対象は2003年から2009年に3D MRIを撮像した特発性大腿骨頭壊死症100例153関節(男性37例、女性63例)である。冠状断元画像より検者の判断で中央断像を選択し判定した病型(検者A)と、画像解析ソフトウェアを用いて正確に骨頭中心を通る冠状断再構成像で判定した病型(検者B)とは、 κ 値0.51と中等度の一致性であった。MRIと単純X線での病型が一致したものは77%であった。骨頭中心を通る冠状断再構成像で判定した病型Type A/B/C1/C2は26/10/52/65関節で、それぞれX線上12/40/61/75%に圧潰が認められた。壊死領域が小さいType A/Bで、壊死領域が矢状断面の骨頭前方部1/2未満にとどまる20関節では圧潰発生は認められないのに対し、1/2以上に及んだ16関節中7関節で圧潰が認められた。中央冠状断面での病型分類では、骨頭前方部壊死範囲および圧潰発生リスクの評価が限定的と考えられた。

1. 研究目的

厚生労働省調査研究班病型分類(2001年)は、単純X線またはMRIT1強調像の冠状断骨頭中央撮像面における壊死領域の拡がりにより判定される。同分類は、骨頭圧潰発生・進行の予後予測、疼痛発生や手術施行のリスク評価における有用性が示唆されている。しかし、各病型における自然経過での圧潰発生・進行リスクでは報告者によるばらつきが少なからず認められる(表)。これは、対象症例での患者背景因子やX線病期のばらつきの影響以外に、X線かMRIかの判定機器の違い、病型診断の検者間誤差などが影響していると考えられる。本研究は、1)病型判定の検者間誤差および判定機器のおよぼす影響

を調査し、2)正確に骨頭中心を通る冠状断像での病型分類と圧潰発生との関連性について検討することを目的とした。

2. 研究方法

当科にて特発性大腿骨頭壊死症(ION)に対し2003年から2009年に両股関節3D MRIを撮影した100例を対象とし、すでに手術を施行されていた23関節および正常骨頭24関節を除く100例153関節を解析対象とした。男性37例、女性63例、平均年齢は45歳、ION関連因子は、ステロイド性125関節、アルコール性21関節、狭義の特発性7関節であった。MRI撮影時のX線病期はStage 1/2/3A/3B/4がそれぞれ、62/4/48/26/13関節であった。

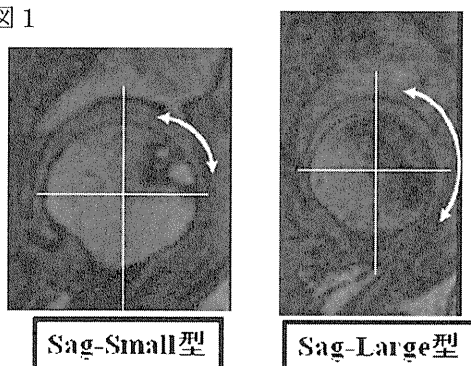
First author	診断機器	関節数	追跡期間	自然経過
Ohzono K ¹⁾ , 1991	X線	115関節	5年以上	圧潰率: I-A 0%, I-B 19%, I-C 94%
Sugano N ²⁾ , 1994	MRI	16関節	平均5年	Stage 2への進行: A 0%, B 50%, C 25%
Shimizu K ³⁾ , 1994	MRI	66関節	平均4年	圧潰率: A 0%, B 13%, C 71%
Sakamoto M ⁴⁾ , 1997	MRI	31関節	平均3年	圧潰率: A 0%, B 0%, C1 0%, C2 27%
Nishii T ⁵⁾ , 2002	MRI	54関節	平均6年	圧潰率: A 24%, B 50%, C 76%
Ito H ⁶⁾ , 2003	MRI	90関節	平均9年	有症状率: A 0%, B 71%, C 72%
Min B-W ⁷⁾ , 2008	MRI	81関節	平均8.3年	圧潰率: A 0%, B 0%, C1 13%, C2 86%

MRIは3DSPGR法にて両股関節冠状断像 T1 強調像を断面内解像度 1.25mm、スラブ厚 1mm の高解像度で撮像した。3D 画像解析ソフトウェア (Virtual Place) 上で正確に骨頭中心を通る冠状断像と矢状断像を再構成した。矢状断像では壊死領域が上方 1/2 内にとどまる sag-small 型と下方 1/2 以上におよぶ sag-large 型に分類した (図1)。

(1) 検者 A は冠状断元画像より中央断像を選択し、検者 B は画像解析ソフトウェアで正確に骨頭中心を通る冠状断像を再構成し、それぞれ独立に病型判定をおこない、その一致率を評価した。また、(2) MRI と単純 X 線での病型判定の一致率、(3) MRI 撮影時の横断分析による病型と圧潰との関連性について検討した。

(4) MRI 撮影時非圧潰 66 関節での自然経過において、画像解析ソフトウェアを用いた骨頭中心を通る冠状断再構成像での病型判定と圧潰発生との関連性について検討した。

図 1



3. 研究結果

(1) 153 関節における2検者での MRI 病型判定は、Type A 11 関節、Type B 0 関節、Type C1 31 関節、Type C2 62 関節で一致し、 κ 値は 0.51 であった。Landis らの判定⁸⁾ (Slight: 0-0.2, Fair: 0.2-0.4, Moderate: 0.4-0.6, Substantial: 0.6-0.8, Almost perfect: 0.8-1) では、moderate の一致性が認められた。

(2) MRI と単純 X 線での病型が一致したものは 65 関節 (77%) であったのに対し、病型が不一致であったものは 19 関節 (23%) であった。内訳は X 線病型がより進行していたものが 9 関節、MRI 病型がより進行していたものが 10 関節であった。

(3) 骨頭中心を通る冠状断再構成像において判定した病型 Type A/B/C1/C2 は 26/10/52/65 関節であった。横断分析において病型と圧潰との関連性では、

病型 A/B/C1/C2 でそれぞれ、3(12%) /4(40%) /31(61%) /49(75%) 関節に圧潰が発生していた。病型 Type A または B の小壊死病型症例では、MRI 矢状断像での sag-small 型 20 関節中圧潰していた関節はなかったが、sag-large 型 16 関節中 7 関節 (44%) に圧潰が認められた。

(4) MRI 撮影時非圧潰例のうち、自然経過 1 年以上観察できた症例は 43 関節であった。観察平均 3.2 年 (1-6 年) で 43 関節中 8 関節 (19%) に圧潰が発生した。病型 A/B/C1/C2 ではそれぞれ、3(17%) /3(50%) /2(18%) /0 関節に圧潰が発生した。

4. 考察

3D 画像解析ソフトウェアで中央断面を設定し再構成した冠状断像を正確な中央断像と想定し同断像での病型判定と、冠状断元画像より検者の判断で選択した中央断像での病型判定と比較したところ、 κ 値 0.51 と中等度の一致性にとどまった。その要因のひとつに、MRI 撮影時のスラブ位置の設定や元画像の中央断面選択により、正確な中央断像と壊死の拡がり異なる画像を評価している可能性が考えられる。

横断解析および縦断解析とも比較的壊死範囲が小さいと考えられる Type A および B でも圧潰発生が 10-40% の頻度で認められた。これは、壊死体積 10% 未満の 40 関節で 11 年自然経過観察中に 73% の症例で圧潰が認められたとする過去の報告⁹⁾ に類似した結果であった。また、Type A および B の症例で、矢状断像 sag-large 型で圧潰発生の頻度が高く、前方下部の壊死領域の拡がりに関連していた。Koo ら¹⁰⁾ は冠状断像と矢状断像での壊死領域の拡がり乗じた値が、自然経過の予後予測の鋭敏な指標となることを報告した。中央冠状断像の壊死の拡がりの評価のみでは、圧潰発生リスク予測精度が限定的であることが示唆された。

5. 結論

病型分類判定において、検者間や評価機器により一定のばらつきが認められた

中央冠状断面の病型分類では骨頭前方部壊死範囲および圧潰発生リスクの評価が限定的と考えられた。

6. 研究発表

1. 論文発表

なし。

2. 学会発表

なし

7. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

8. 参考文献

- 1) Ohzono K, Saito M, Takaoka K, et al. Natural history of nontraumatic avascular necrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Br.* 1991; 73: 68-72.
- 2) Sugano N, Ohzono K, Masuhara K, Takaoka K, Ono K. Prognostication of osteonecrosis of the femoral head in patients with systemic lupus erythematosus by magnetic resonance imaging. *Clin Orthop Relat Res.* 1994; 305:190-199.
- 3) Shimizu K, Moriya H, Akita T, Sakamoto M, Suguro T. Prediction of collapse with magnetic resonance imaging of avascular necrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Am.* 1994; 76: 215-223.
- 4) Sakamoto M, Shimizu K, Iida S, et al. Osteonecrosis of the femoral head: a prospective study with MRI. *J Bone Joint Surg Br.* 1997; 79: 213-219.
- 5) Nishii T, Sugano N, Ohzono K, et al. Progression and cessation of collapse in osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res.* 2002; 400: 149-157.
- 6) Ito H, Matsuno T, Omizu N, Aoki Y, Minami A. Mid-term prognosis of non-traumatic osteonecrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Br.* 2003; 85: 796-801.
- 7) Min B-W, Song KS, Cho CH, Lee SM, Lee KJ. Untreated asymptomatic hips in patients with osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res.* 2008; 466:1087-1092.
- 8) Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data.

Biometrics 1977; 33:159-174.

- 9) Hernigou P, Poignard A, Nogier A, Manicom O. Fate of very small asymptomatic stage-I osteonecrotic lesions of the hip. *J Bone Joint Surg Am.* 2004; 86:2589-2593.
- 10) Koo KH, Kim R. Quantifying the extent of osteonecrosis of the femoral head. A new method using MRI. *J Bone Joint Surg Br.* 1995; 77: 875-880.

特発性大腿骨頭壊死症における圧潰の起点と部位

本村悟朗、山本卓明、山口亮介、池村聡、中島康晴、馬渡太郎、岩本幸英 (九州大学大学院医学研究院 整形外科)

圧潰は骨頭のどの部位を起点として発生するのか、及び、圧潰部位は壊死領域の大きさと関連があるか、を検討した。Stage 3A または 3B の特発性大腿骨頭壊死症の初回手術時に切除された、連続した 30 骨頭(25 患者)を対象とした。骨頭中央の切片において、壊死領域の内側端が大腿骨頭窩を超える群と超えない群とに分け、圧潰部位の違いの有無を検討した。30 骨頭すべてにおいて、圧潰は壊死領域の外側端を起点として発生していた。壊死領域の内側端が大腿骨頭窩を超えない場合、19 骨頭中 18 骨頭(94.7%)において軟骨下領域に圧潰を認めた。これに対し、壊死領域の内側端が大腿骨頭窩を超える場合、軟骨下領域に圧潰を認めたのは 11 骨頭中 4 骨頭(36.4%)であった。

1. 背景・研究目的

特発性大腿骨頭壊死症(ION)における骨頭圧潰の臨床的特徴として、壊死域が臼蓋荷重部外側 1/3 を超えると圧潰のリスクが高まることがあげられる。すなわち、分界部外側端の位置が圧潰発生に大きく影響することを示唆しているが、圧潰骨頭では分界部外側端での骨折を必ず生じているか検討した報告は乏しい。また、骨頭圧潰部位に関しては、骨頭軟骨下に沿うタイプ(crescent sign)や壊死域深部を通るものなどがあるが¹⁾、その要因に関して検討した報告はない。

本研究の目的は、圧潰骨頭において、1)分界部外側端での骨折が必ず生じているか、2)骨頭圧潰部位と壊死域の大きさとの関連があるか、を検討することである。

2. 研究方法

対象は、Stage 3A または 3B の ION の初回手術時に摘出された、連続した 30 骨頭(25 患者)である。男性 17 例、女性 8 例、手術時平均年齢 47 歳、ステロイド性 13 骨頭、アルコール性 15 骨頭、明らかな誘因なし 2 骨頭であった。

まず摘出骨頭をホルマリン固定した後、冠状面に沿った 3mm 厚の連続スライスを作成し、それぞれのスライスにおける肉眼像、軟線 X 線写真、HE 染色標本を検討した。

壊死域の大きさと骨頭圧潰部位との関連について

は、壊死域の大きさによって 2 群に分け、軟骨下骨領域での圧潰の割合について、統計学的に検討した(Fisher exact probability test)。

3. 研究結果

全骨頭において、分界部外側端での骨折を必ず含んでおり、肥厚した骨梁と壊死骨梁との間で骨折を生じていた。肉眼像および軟線 X 線像では圧潰が明瞭でなかった骨頭が 2 骨頭あったが、病理学的には骨折を認めた(図 1)。

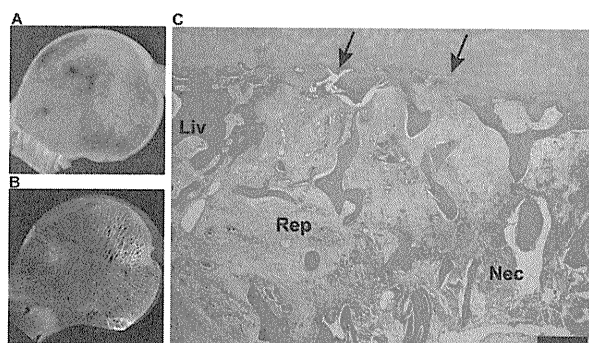


図1.肉眼像(A)および軟線 X 線像(B)では圧潰が明瞭でなかったが、HE 染色標本(C)にて分界部外側端での骨折(矢印)を認めた。

壊死領域の内側端が大腿骨頭窩を超えない場合(図 2A)、19 骨頭中 18 骨頭(94.7%)において軟骨下領域に圧潰を認めた。これに対し、壊死領域の内側端が大腿骨頭窩を超える場合(図 2B)、軟骨下領域に圧潰を認めたのは 11 骨頭中 4 骨頭(36.4%)であっ

た。2群における軟骨下領域での圧潰の割合には統計学的有意差を認めた(p=0.0011)。

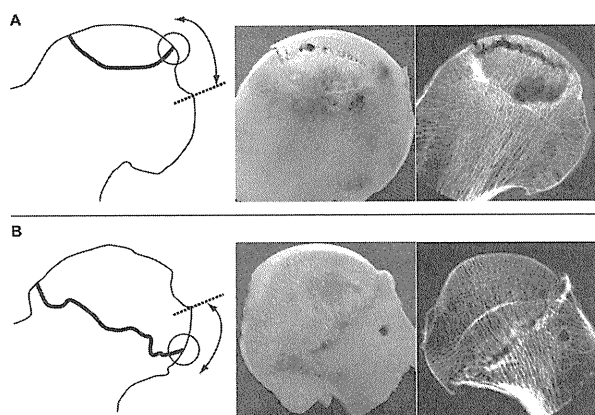


図 2. 壊死域の大きさと圧潰部位との関連

4. 考察

圧潰の起点について、Bulloughらは修復層での肥厚骨梁と隣接する壊死骨梁間でのストレス集中が壊死骨頭圧潰の一因であると推察している²⁾。本研究においては、圧潰骨頭では分界部外側端での骨折を必ず含んでおり、分界部外側端では肥厚骨梁と壊死骨梁間で骨折が生じていた。従って、荷重ストレスが大きな分界部外側端が圧潰の起点であることが示唆された。

本研究では、壊死域が比較的小さい場合には、軟骨下骨領域での圧潰が有意に多く認められた。Yangらは、3D FEM studyにおいて、分界部直上の壊死域深部にかかるストレスは、necrotic angleが大きくなるほど高くなると報告している¹⁾。以上より、壊死域の大きさは、圧潰の部位に影響を与える因子の1つであることが示唆された。

5. 結論

1. 圧潰骨頭では、分界部外側端での骨折を必ず生じていた。
2. 分界部外側端では、肥厚骨梁と壊死骨梁間で骨折が生じていた。
3. 壊死域が大腿骨頭窩を超えない場合には、軟骨下骨領域での圧潰が有意に多かった。

6. 研究発表

1. 論文発表

1. Motomura G, Yamamoto T, Yamaguchi R, Ikemura S, Nakashima Y, Mawatari T, Iwamoto Y. Morphological analysis of

collapsed regions in osteonecrosis of the femoral head. J Bone Joint Surg Br.2011;93:184-7.

2. 学会発表

- 1) 本村悟朗、山本卓明、山口亮介、池村聡、中島康晴、馬渡太郎、岩本幸英:特発性大腿骨頭壊死症における圧潰の起点と部位、第37回日本股関節学会、福岡、2010.10.1-2.

7. 知的所有権の取得状況

なし

8. 参考文献

- 1) Yang JW, Koo KH, Lee MC, Yang P, Noh MD, Kim SY, Kim KI, Ha YC, Joun MS. Mechanics of femoral head osteonecrosis using three-dimensional finite element method. Arch Orthop Trauma Surg. 2002;122:88-92.
- 2) Bullough PG, DiCarlo EF. Subchondral avascular necrosis: a common cause of arthritis. Ann Rheum Dis. 1990;49:412-20.

3D-MRI 撮影法による壊死領域の境界判別の比較

仲宗根 哲、高尾 正樹、西井 孝、坂井 孝司、菅野 伸彦（大阪大学大学院医学研究科 整形外科）
中村 宣雄（協和会病院 整形外科）

ION 患者 22 例 38 関節に対して 3D-SPGR 法、3D-脂肪抑制 SPGR 法 (FS-SPGR 法) および 3D-造影脂肪抑制 SPGR 法 (造影 MRI 法) を用いて再構成画像での ION 壊死領域の定量評価の特性を検討した。骨髓浮腫なし群は 29 関節で、骨髓浮腫あり群は 9 関節であった。骨髓浮腫なし群における壊死の定量範囲は、SPGR 法、FS-SPGR 法は、造影 MRI 法と有意差なく、同等であった。また、いずれも造影 MRI 法と強く相関した。一方で、骨髓浮腫あり群における壊死の定量範囲では、SPGR 法は、造影 MRI 法に比べて有意に大きい値であったが、FS-SPGR 法は造影 MRI 法と同等であった。また、FS-SPGR 法は SPGR 法よりも造影 MRI 法と強く相関した。SPGR 法で判定に困る症例では非造影検査として有用であると考えた。ただし、FS-SPGR 法では、バンド像のコントラストが弱い例があり、3D-MRI を用いた壊死領域の評価の第一選択としては、SPGR 画像を用い、その補助に FS-SPGR 法が有用と考えた。

1. はじめに

我々は、3 次元 MRI を用い、ION の壊死領域の部位、大きさの 3 次元評価が予後予測に有用であるとの報告¹⁾や、大転子間骨切り術²⁾や表面置換型 THA の 3 次元シミュレーションに有用³⁾であることを報告してきた。また、SPGR 法が病理組織との相関が高く、定量評価にも有用であることを摘出骨頭との比較により報告⁴⁾してきた。一方で、実際の ION 患者の 3D-SPGR 法において骨髓浮腫の強い症例で壊死境界の判定が難しい症例があり、経験的このような症例には、脂肪抑制 3D-SPGR 法の方が境界描出を行いやすく、これを参考に用いてきた。実際の ION 患者の 3D-MRI 画像で壊死領域の定量評価に適切な撮影法を検討するために 3D-SPGR 法、3D-脂肪抑制 SPGR 法での壊死領域定量評価の比較を造影 MRI での評価を gold standard として行った。

2. 対象と方法

大腿骨頭壊死症に対して同一患者で、同日に 3D-MRI の 3D-SPGR 法 (SPGR 法)、3D-脂肪抑制 SPGR 法 (FS-SPGR 法)、3D-造影脂肪抑制 SPGR 法 (造影 MRI 法) を用いて撮影した 22 例 38 関節を対象とした。

患者背景因子は、アルコールおよびステロイド関連がそれぞれ 3 例 4 関節、19 例 35 関節であった。厚労省調査研究班による新病型分類⁵⁾では、ステージ 2、3A、3B、4 がそれぞれ 9、15、10、4 関節であつ

た。新病型分類⁵⁾は B、C1、C2 がそれぞれ 3、17、18 関節であった。

大腿骨頸部軸と大腿骨骨軸を通る面とその面に垂直で骨頭中心を通る 2 断面を再構成した (図 1)。その 2 断面上で壊死領域の評価を行った。

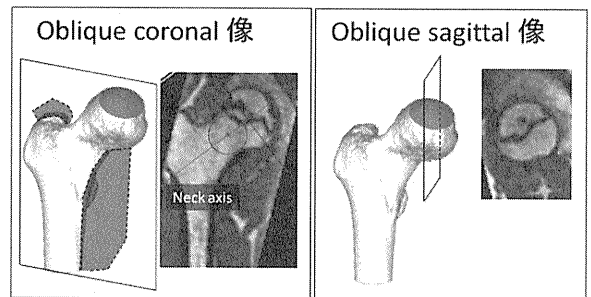


図1 3D-MRIを用いた再構成画像

壊死領域の境界は、SPGR 法では低信号強度のバンド像の外側、FS-SPGR 法および造影 MRI 法では、高信号強度のバンド像の外側とした。壊死領域の定量評価としては、骨頭を球近似し、その中心から関節面の壊死の広がり角を球中心からの角度として計測した (図 2)。

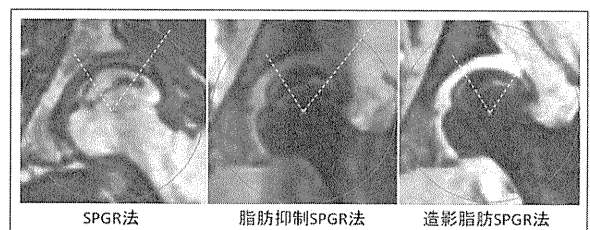


図2 各撮影法における壊死領域の判定

各撮影法における骨髓浮腫の有無による壊死領域の定量評価の影響を検討するために造影 MRI 法

で骨頭内や大腿骨頸部にびまん性の高信号域を観察されたものを骨髄浮腫あり群とし、認めなかった例を骨髄浮腫なし群とした。造影 MRI における壊死領域評価を gold standard とし、SPGR 法、FS-SPGR 法での定量評価との相関をみた。

3. 結果

骨髄浮腫なし群は 29 関節で、骨髄浮腫あり群は 9 関節であった。骨髄浮腫なし群における、Oblique coronal 像の壊死の定量範囲は、SPGR 法、FS-SPGR 法、造影 MRI 法で、126.2 度、127.9 度、124.2 度で有意差はなく同等であった。Oblique sagittal 像では、それぞれでは、151.3 度、151.5 度、153.4 度で有意差なく、同等であった(図 3)。また、Oblique coronal 像、Oblique sagittal 像ともに SPGR 法および FS-SPGR 法は、造影 MRI 法と強く相関した(図 4)。一方で、骨髄浮腫あり群における、Oblique coronal 像の壊死の定量範囲は、SPGR 法、FS-SPGR 法、造影 MRI 法で、125.2 度、97.6 度、99.7 度で、SPGR 法は、造影 MRI 法に比べて有意に大きい値であったが、FS-SPGR 法は造影 MRI 法と同等であった。Oblique sagittal 像では、それぞれでは、142.7 度、124.5 度、128.7 度で、Oblique coronal 像と同様に SPGR 法は、造影 MRI 法に比べて有意に大きい値であったが、FS-SPGR 法は造影 MRI 法と同等であった(図 5)。また、Oblique coronal 像、Oblique sagittal 像ともに FS-SPGR 法は、SPGR 法よりも造影 MRI 法と強く相関した(図 6)。

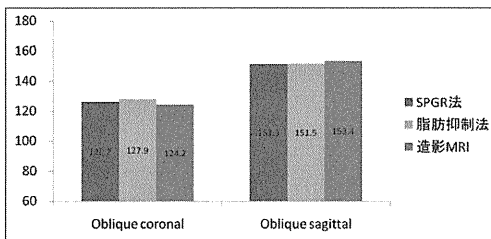


図3 骨髄浮腫なし群における壊死範囲の定量結果
SPGR法、脂肪抑制SPGR法ともに、造影MRIと同等であった(paired t test)

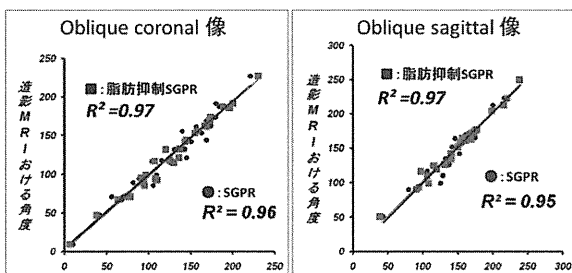


図4 骨髄浮腫なし群における各撮影法との相関関係

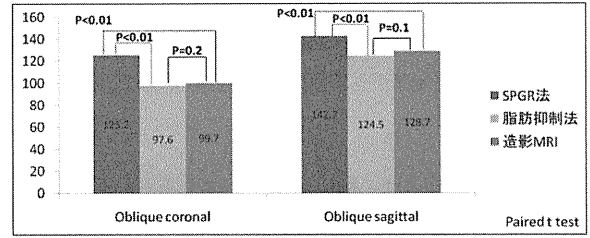


図5 骨髄浮腫あり群における壊死範囲の定量結果
いずれの断面もSPGR法は、造影MRIより大きい値であった。脂肪抑制SPGR法は、造影MRIと同等な値であった。

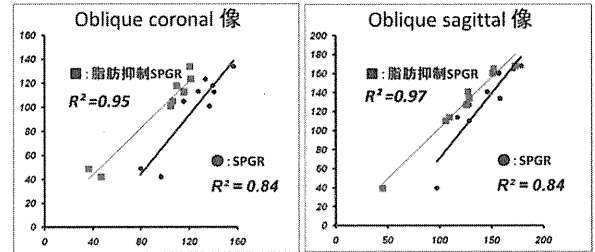


図6 骨髄浮腫あり群における各撮影法との相関関係

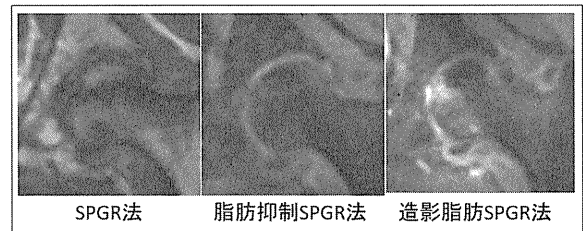


図7 骨髄浮腫例

4. 考察

本研究では、SPGR法、FS-SPGR法および造影 MRI 法を用いた再構成画像での ION 壊死領域の定量評価の特性を検討した。

本研究では、骨髄浮腫を認めない症例では、3つの撮影法とも壊死領域の定量評価は同等であり、強く相関した。しかし、骨髄浮腫を認めた症例では、SPGR法は、造影MRI法と比較し、壊死領域を大きめに定量評価されたが、FS-SPGR法では、同等であった。このことから FS-SPGR 法は骨髄浮腫例でも造影 MRI 法との相関が高く、SPGR法で判定に困る症例では非造影検査として有用であると考えた。ただし、FS-SPGR法では、バンド像のコントラストが弱い例(図 7)があり、3D-MRI を用いた壊死領域の評価の第一選択としては、SPGR 画像を用い、その補助に FS-SPGR 画像が有用と考えた。

5. 結語

3D-SPGR法、3D-FS-SPGR法および 3D-造影 MRI 法を用いた再構成画像での ION 壊死領域の定量評価の特性を検討した。

骨髄浮腫例では SPGR 画像は、造影 MRI 画像よりも

角度で約 20 度大きめに評価される傾向があった。
骨髄浮腫例で境界抽出が難しい症例では FS-SPGR
法が有用であった。

6. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

7. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

8. 参考文献

- 1) Nishii T, Sugano N, et al: Significance of lesion size and location in the prediction of collapse of osteonecrosis of the femoral head: a new three-dimensional quantification using magnetic resonance imaging. J Orthop Res. 2002; 20: 130-6.
- 2) Koyama T, Sugano N, et al: MRI-based surgical simulation of transtrochanteric rotational osteotomy for femoral head osteonecrosis. J Orthop Res. 2009; 27: 447-51.
- 3) 仲宗根 哲、高尾 正樹他. : 3D-MRI を用いた表面置換型人工股関節全置換術の術前計画. 班会議報告書. 2009.
- 4) Sakai T, Sugano N, et al: MR findings of necrotic lesions and the extralesional area of osteonecrosis of the femoral head. Skeletal Radiol. 2000; 29:133-41.
- 5) Sugano N, Atsumi T, Ohzono K, et al: The 2001 revised criteria for diagnosis, classification, and staging on idiopathic osteonecrosis of the femoral head. J Orthop Sci, 2002; 7: 601- 5.

MRI 撮影肢位による大腿骨頭壊死の壊死領域評価への影響

高尾正樹、西井孝、坂井孝司、吉川秀樹、菅野伸彦（大阪大学大学院医学研究科 整形外科）
中村宣雄（協和会病院 整形外科）

大腿骨頭壊死症の自然経過や治療効果を評価する際に MRI が用いられるが、文献上 MRI 画像のスライス位置のばらつきが散見される。画像による経時評価を行う際、撮影肢位を一定とし、それによりスライス位置の再現性を高めることが重要であると考えられるが、撮影肢位が、どの程度骨壊死の経時評価に影響を与えるかは明らかではない。MRI の撮影肢位が大腿骨頭壊死症の病型分類や大きさの評価にどの程度影響をあたえることを 3D-MRI のシミュレーションを用いて評価し、実際 2 回以上 MRI を撮影した症例でどの程度撮影肢位が再現でき、秒系分類にどの程度影響しているかを検証した。

1. 研究目的

特発性大腿骨頭壊死症（以下 ION）の自然経過や治療効果を評価する際に MRI が用いられるが、最近の高解像度 MRI を用いた研究報告でも MRI 画像のスライス位置のばらつきが散見される¹⁻³⁾。MRI 画像により経時評価を行う際、撮影肢位を一定としスライス位置の再現性を高めることが正確な評価に重要であると考えられる。一方で、MRI の撮影肢位がどの程度ばらつきがあり、そのばらつきがどの程度 ION の経時評価に影響を与えるかは明らかではない。本研究の目的は撮影肢位により MRI 正中冠状断像での壊死領域の広がりや部位の評価がどの程度影響を受けるかを検討することである。

2. 研究方法

股関節の可動方向や可動量による壊死領域の広がりや部位の変化を評価するために 3D-MRI を用いたシミュレーションを行った。また実際 2 回撮影された MRI を用いて、MRI 撮影肢位がどの程度再現され、その撮影肢位の変化が壊死領域の評価にどの程度影響しているかを実際 2 回撮影された MRI を用いて評価した。

1. 3D-MRI simulation study

対象は ION 24 例である。診断目的で撮影された 3D-MRI の Database から、骨髓浮腫像は認めず壊死領域の辺縁の描出が良好である症例を選択した。班

会議病型分類で Type A が 6 関節、Type B が 6 関節、Type C1 が 6 関節、Type C2 が 6 関節であった⁴⁾。3D-MRI Data を DICOM 形式で 3 次元 Viewer (3D テンプレート、JMM) に読み込み、画像解析を行った。骨頭を球近似することで骨頭中心を求め、正中冠状断像を再構成した。股関節を屈曲、伸展、内旋、外旋方向に動かした場合の正中冠状断像を、骨頭中心を回転中心として断層像を回転させることでシミュレーションした。それぞれ 10 度刻みで 0-30 度まで移動させた。それぞれ正中冠状断像での壊死領域の広がりや、班会議病型分類 (Type 分類) を評価した。関節面での壊死領域の広がりや、骨頭中心から壊死領域の関節面での内側縁と外側縁を結ぶ直線を引き、それらのなす角度として求めた (図 1)。Type 分類は定義にしたがい評価した。それぞれの可動方向、可動量において壊死領域が 30 度以上変化した症例の割合と Type 分類が変化した症例の割合を求めた。

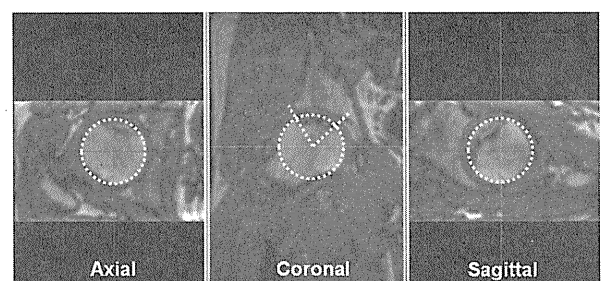


図1.関節面での壊死領域の広がり

2. 実際の MRI での検証

経過観察目的で 2 回 3D-MRI を撮影した ION 症例のうち以下の基準を満たす 27 関節を対象とした。1. MRI 撮影間で骨頭圧潰の発生を認めない症例。2. MRI 撮影間で壊死領域の体積計測を行い、1cm³ 以上の変動を認めなかった症例。

病期は stage 1 が 22 関節、stage2 が 5 関節であった。MRI 撮影間隔は平均 3 年(1-5 年)であった。班会議病型分類(Type 分類)は Type A が 5 関節、Type B が 6 関節、Type C1 が 11 関節、Type C2 が 5 関節であった。

3D-MRI 間で大腿骨同士の画像重ね合わせ(イメージレジストレーション)を行い、その変化量で屈曲伸展、内外転、内外旋方向の移動量を求めた。またそれぞれの 3D-MRI の正中冠状断像で type 分類を行い type が異なる症例があるかどうかを評価した。

3. 研究結果

関節面での壊死領域の広がり屈曲伸展方向の運動では、屈曲 10 度でも 13%の症例に 30 度以上の変化を認めた(図 2)。内外旋運動では、内旋 10 度で 13%の症例に 30 度以上の変化を認めた(図 3)。Type 分類は、屈曲伸展方向の運動では、屈曲 10 度で 29%、伸展 10 度で 13%の症例に Type 分類の変化を認め、屈曲すると Type が大きく、伸展すると小さく評価される傾向を認めた(図 4)。内外旋運動では、内旋 10 度で 17%、外旋 10 度で 13%に Type 分類の変化を認めた(図 5)。

MRI 撮影肢位の変化であるが屈曲伸展方向は平均 2 度(0-9 度)、内外転方向が 3 度(0-7 度)、内外旋 8 度(0-28 度)であった。屈曲伸展、内外転方向は全例 10 度以内であったが、内外旋方向は 9 例(33%)が 10 度以上の変化を認めた(図 6)。9 例中 3 例で Type 分類の変化を認めた。

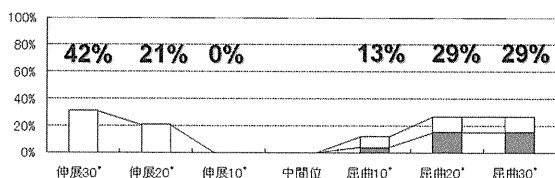


図 2. 屈曲伸展運動での壊死領域の広がりが 30 度以上変動した症例の割合。灰色棒グラフが 30 度以

上拡大した症例。白棒グラフが 30 度以上縮小した症例。

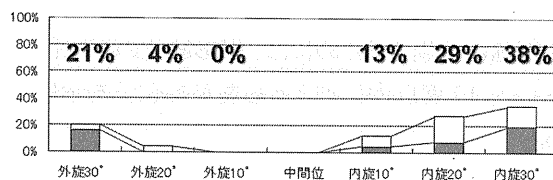


図 3. 内外旋運動での壊死領域の広がりが 30 度以上変動した症例の割合。灰色棒グラフが 30 度以上拡大した症例。白棒グラフが 30 度以上縮小した症例。

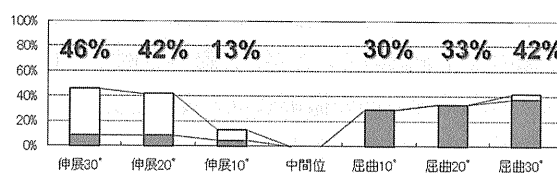


図 4. 屈曲伸展運動で Type 分類が変わった症例の割合。灰色棒グラフは Type 分類が大きくなった症例。白棒グラフは Type 分類が小さくなった症例。

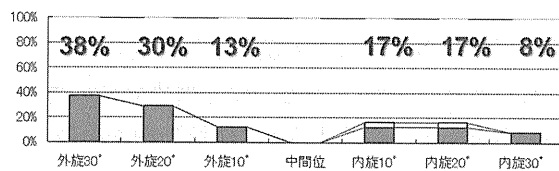


図 5. 内外旋運動で Type 分類が変わった症例の割合。灰色棒グラフは Type 分類が大きくなった症例。白棒グラフは Type 分類が小さくなった症例。

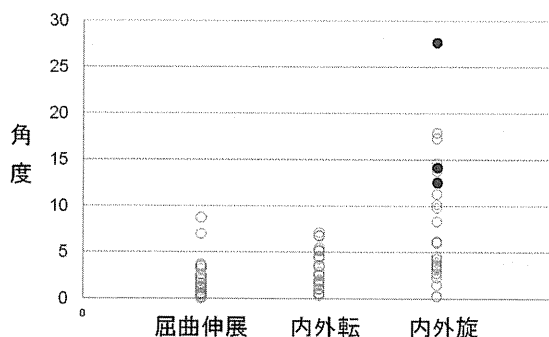


図 6. MRI 間の撮影肢位の相違。黒丸(●)は Type 分類が変化した症例。

4. 考察

3D-MRI のシミュレーションにおいて 10 度の屈伸、内外旋運動でも最大 13%の症例で 30 度以上の壊死の広がりの変化を認めた。これは、壊死領域の変化を正確に評価するためには、撮影肢位の再現性を少なくとも 10 度以内に抑える必要があることを示している。

一方、実際の MRI 撮影でどの程度撮影肢位が再現性よくコントロールされているかも不明である。今回経過中疼痛の発生がなかった症例で撮影肢位の再現性を検証したが、屈曲伸展、内外転方向は全例 10 度以内であったが、内外旋方向では約 1/3 の症例で 10 度以上の誤差を認めた。MRI のシミュレーションでは 10-30 度の内外旋運動で最大 38%の症例に Type 分類の変化を認めていたが、実際の症例でも 10 度以上の内外旋方向の撮影肢位の変化を認めた 9 例中 3 例 (33%) で Type 分類の変化を認めシミュレーション結果と一致していた。一方撮影肢位が 10 度以内であった症例では Type 分類の変化は認めず、撮影肢位のずれが 10 度以内であれば Type 分類には影響がないことが実際の症例でも示された。

壊死領域の変化の正確な評価には、撮影装具を用いて特に内外旋方向の撮影肢位再現性を良くする工夫が重要と考えられる。また、撮影肢位の再現性の影響を完全に除外するには体積計測や画像をコンピュータにて重ね合わせるイメージレジストレーション法を用いる必要があると考えられた^{5, 6)}。

5. 結論

3D-MRI によるシミュレーションにて 10 度の肢位の違いでも壊死の関節面での広がりや Type 分類に影響を及ぼした。

股関節の MRI 撮影肢位の再現性は、内外旋方向で悪く、疼痛のない症例でも約 1/3 の症例で 10 度以上の差を認め、そのうち 1/3 の症例で Type 分類の相違を認めた。

6. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
第 37 回日本股関節学会

7. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

8. 参考文献

- 1) Gangji V, et al. Treatment of osteonecrosis of the femoral head with implantation of autologous bone-marrow cells. A pilot study. J Bone Joint Surg Am. 2004;86-A:1153-60.
- 2) Wang CJ, et al. Treatment for osteonecrosis of the femoral head: comparison of extracorporeal shock waves with core decompression and bone-grafting. J Bone Joint Surg Am. 2005;87:2380-7.
- 3) Wang CJ, et al. Treatment of osteonecrosis of the hip: comparison of extracorporeal shockwave with shockwave and alendronate. Arch Orthop Trauma Surg. 2008;128:901-8.
- 4) Sugano N, et al. The 2001 revised criteria for diagnosis, classification, and staging of idiopathic osteonecrosis of the femoral head. J Orthop Sci. 2002;7:601-5.
- 5) Takao M, et al. Application of three-dimensional magnetic resonance image registration for monitoring hip joint diseases. Magn Reson Imaging. 2005;23:665-70.
- 6) Takao M, et al. Longitudinal quantitative evaluation of lesion size change in femoral head osteonecrosis using three-dimensional magnetic resonance imaging and image registration. J Orthop Res. 2006;24:1231-9.

μCT を用いた特発性大腿骨頭壊死の骨吸収領域の評価

高尾正樹、西井孝、坂井孝司、菅野伸彦（大阪大学大学院医学研究科 整形外科）
中村宣雄（協和会病院 整形外科）

ION の圧潰進行過程を調査するため、ION8 関節の摘出骨頭の μCT 撮影を行い、骨吸収領域の分布と軟骨下骨折との関係性を評価した。前方の軟骨下の壊死境界部での骨吸収が先行し、圧潰の進行に伴い増大していった。軟骨下骨折は前方の骨吸収部を起点としていた。

1. 研究目的

特発性大腿骨頭壊死症(以下 ION)の骨頭圧潰は骨頭前方の壊死境界部に発生することが多く、股関節痛があり骨頭圧潰を疑う場合には単純X線側面像の撮影が重要であることはよく知られている^{1,2)}。一方骨頭圧潰の発生の機序についてはその詳細は不明で、修復反応により脆弱となった壊死境界部を起点に発生するとの説や³⁾、壊死骨そのものの力学的脆弱性による骨梁構築の破綻により発生するとの説があり⁴⁾、その詳細は不明である。前回の班会議にてION30 関節の3D-CT data を用いて壊死境界域の骨吸収領域の定量的評価を行い、前方の retinaculum 付着部と壊死境界部が交錯する部分での骨吸収が圧潰の進行に伴い増大し、後方に進展していることをしめしたが、軟骨下骨折との位置関係の評価は通常のCT撮影では限界があった。本研究の目的はIONの摘出骨頭のμCT画像にて、骨吸収領域の分布と軟骨下骨折との関係を検証することである。

2. 研究方法

対象はTHAにて骨頭切除した7例8関節で、ステロイド関連IONが6例7関節、特発性IONが1例1関節であった。班会議病期分類でstage 3Aが4関節、stage 3Bが4関節であった。病型分類はType C1が4関節、Type C2が4関節であった。発症から手術までの期間は平均13ヶ月(4-29ヶ月)であった。摘出骨頭のμCTを行い、骨吸収領域と、軟骨下骨折のsegmentationを行い、骨吸収領域の体積計測と3次的に骨吸収領域と軟骨下骨折の位置関係の評価した。また骨頭を冠状面で5分割し、前方、前中央、

中央、後中央、後方の5部位にて、骨吸収領域の体積を評価した。また骨頭を球近似し、骨頭体積に対する骨吸収領域の割合を骨頭比として求めた。骨頭体積は骨頭を球近似することで求めた。

3. 研究結果

骨吸収体積は平均3.3cm³(0.7-6.4)、骨頭比では7.4%(1.8-13.8%)であった。Stageが進行すると増加する傾向であった。発症からの手術までの期間が長くなると増加する傾向にあった。Stage 3Aでは前方に骨吸収領域が大きく、骨頭中心方向に移動するにつれてその体積は縮小していた。骨頭比でも同様であった(図1,2)。Stage3Aでは前例に前方に骨吸収を認め、軟骨下骨折と連続していた。骨頭中央部位では骨吸収は乏しかった。Stage 3Bでは骨頭中央部まで骨吸収が増強していた。

部位別骨吸収体積

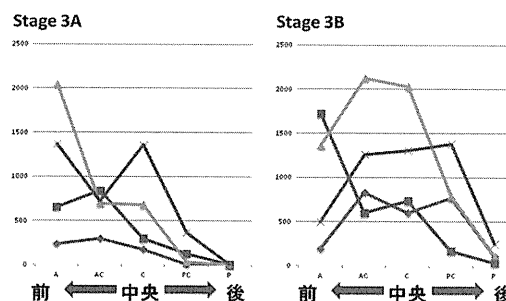


図 1. 骨頭の冠状断部位別の骨吸収領域の体積 (mm³)。

部位別骨吸収体積(骨頭比)

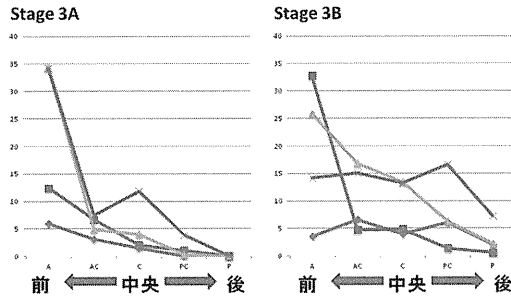


図 2. 骨頭の冠状断部位別の骨吸収領域の比率 (%)

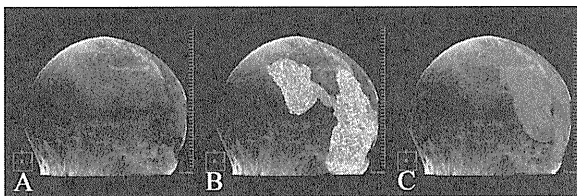


図 3. 骨吸収領域と軟骨下骨折との関係 (Stage 3A)。A. 骨頭側面像、B. 骨吸収領域、C. 軟骨下骨折

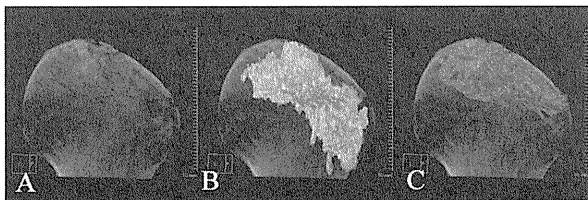


図 4. 骨吸収領域と軟骨下骨折との関係 (Stage 3B)。A. 骨頭側面像、B. 骨吸収領域、C. 軟骨下骨折

4. 考察

Stage 1, 2 の ION に対してビスホスホネートが骨頭圧潰の発生に予防効果があるという報告がいくつかなされている⁶⁻⁹⁾。骨吸収抑制が ION の骨頭圧潰の発生の抑制に効果があるということであるが、これは修復反応による壊死境界部の骨吸収が骨頭圧潰発生の機転として重要であることを示している。一方、骨壊死境界部の修復組織での骨吸収領域の 3 次元的な評価や、骨頭圧潰の発生、進行との関連は渉猟しうる範囲では報告がない。前回 3D-CT を用いて、壊死境界部の骨吸収と骨頭圧潰の発生、進行との関連を調査したが、圧潰早期の Stage 3A の症例に骨頭前方の壊死境界部を中心に骨吸収が起こっていることが確認できた。今回摘出骨頭の μ CT 画像を解析す

ることで、3D-CT にて骨吸収領域の確認が困難であった症例でも μ CT では骨頭前方の壊死境界部に骨吸収を認め、軟骨下骨骨折との交通を確認できた。われわれは ION の摘出骨頭の TRAP 染色を行い、TRAP 陽性細胞が初期では retinaculum 付着部周囲の壊死境界域に出現し、圧潰の進行とともに骨頭中央の壊死境界域にも拡大していることを報告している¹⁰⁾。今回の CT による骨吸収領域の分布とあわせて骨頭前方の壊死境界部での骨吸収が骨頭圧潰発生の起点として重要であることが示唆された。

一旦発生した骨頭圧潰の進行であるが、本研究では Stage 3B では 3A に比べて壊死境界域の骨吸収が骨頭中心へ拡大しており、壊死境界域の骨吸収の拡大が骨頭圧潰の進行機転の一因子と考えられた。Stage 3 の ION に対してはビスホスホネートの効果も限定的になることも報告されており⁷⁾、症例ごとの圧潰の程度や骨吸収程度の相違によりビスホスホネートの効果もばらつくことが予想された。

骨頭圧潰の発生、進行予防には骨吸収が進行する前の早期での治療が重要であり、前方に骨吸収が亢進していることは股関節正面像からはとらえにくいことを理解しておくことは重要と考えられる。また骨頭前方の骨吸収が圧潰の起点となっていることが示唆されたことは、骨頭圧潰を予防する治療を考慮する上で重要な知見と考えられた。

5. 結論

ION の圧潰進行過程を調査するため、摘出骨頭の μ CT 撮影を行い、骨吸収領域の分布と軟骨下骨折との関係の評価した。前方の軟骨下の壊死境界部での骨吸収が先行し、圧潰の進行に伴い増大していた。軟骨下骨折は前方の骨吸収部を起点としていた。

6. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

7. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得
なし
2. 実用新案登録
なし

3. その他
なし

8. 参考文献

- 1) Sugano N, Takaoka K, Ohzono K, Matsui M, Masuhara K, Ono K. Prognostication of nontraumatic avascular necrosis of the femoral head. Significance of location and size of the necrotic lesion. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;303:155-64.
- 2) Stevens K, Tao C, Lee SU, Salem N, Vandevenne J, Cheng C, Neumann G, Valentin-Opran A, Lang P. Subchondral fractures in osteonecrosis of the femoral head: comparison of radiography, CT, and MR imaging. *AJR Am J Roentgenol.* 2003;180:363-8.
- 3) Glimcher MJ, Kenzora JE. Nicolas Andry award. The biology of osteonecrosis of the human femoral head and its clinical implications: 1. Tissue biology. *Clin Orthop Relat Res.* 1979;138:284-309.
- 4) Brown TD, Baker KJ, Brand RA. Structural consequences of subchondral bone involvement in segmental osteonecrosis of the femoral head. *J Orthop Res.* 1992;10:79-87.
- 5) Nishii T, Sugano N, Ohzono K, Sakai T, Haraguchi K, Yoshikawa H. Progression and cessation of collapse in osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res.* 2002;400:149-57.
- 6) Nishii T, Sugano N, Miki H, Hashimoto J, Yoshikawa H. Does alendronate prevent collapse in osteonecrosis of the femoral head? *Clin Orthop Relat Res.* 2006;443:273-9.
- 7) Agarwala S, Shah S, Joshi VR. The use of alendronate in the treatment of avascular necrosis of the femoral head: follow-up to eight years. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91:1013-8.
- 8) Lai KA, Shen WJ, Yang CY, Shao CJ, Hsu JT, Lin RM. The use of alendronate to prevent early collapse of the femoral head in patients with nontraumatic osteonecrosis. A randomized clinical study. *J Bone Joint Surg Am.* 2005 Oct;87(10):2155-9.
- 9) Ramachandran M, Ward K, Brown RR, Munns CF, Cowell CT, Little DG. Intravenous bisphosphonate therapy for traumatic osteonecrosis of the femoral head in adolescents. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89:1727-34.
- 10) Li W, Sakai T, Nishii T, Nakamura N, Takao M, Yoshikawa H, Sugano N. Distribution of TRAP-positive cells and expression of HIF-1alpha, VEGF, and FGF-2 in the reparative reaction in patients with osteonecrosis of the femoral head. *J Orthop Res.* 2009;27:694-700.

特発性大腿骨頭壊死の軟骨下骨折、骨吸収領域の診断精度

高尾正樹、西井孝、坂井孝司、菅野伸彦（大阪大学大学院医学研究科 整形外科）
中村宣雄（協和会病院 整形外科）

IONにおける軟骨下骨折、骨吸収領域の診断精度を単純X線、CT、摘出骨頭の μ CTで比較した。IONの軟骨下骨折の範囲の評価は、 μ CT計測値と比べ、単純X線ラウエンスタイン像で約10%過小評価されていたが、3D-CTでは同等であった。3D-CT上の骨吸収領域は μ CT計測値の60-70%に過小評価され、 1cm^3 以下の検出は困難であった。

1. 研究目的

特発性大腿骨頭壊死症(以下 ION)において軟骨下骨折の有無やその程度の診断は治療方法の選択やその効果を予測する上で大変重要である。軟骨下骨折の単純CTの診断に基づく単純X線やMRIの診断精度についての報告は散見されるが^{1,2)}、単純CTの診断精度について不明である。また、われわれは3D-CT、 μ CTを用いIONの壊死境界域の骨吸収の定量的評価を行い、骨吸収が班会議病期分類stage 3以降で単純X線画像上確認されるよりもより広い範囲で起こり病期進行とともにその領域が拡大していることを報告した。これは病期評価における骨吸収評価の重要性を示している。本研究の目的は摘出骨頭の μ CT画像を用いて、単純X線およびCTでIONの軟骨下骨折、骨吸収領域がどの程度評価できているかを検証することである。

2. 研究方法

対象はTHAにて骨頭切除した7例8関節で、ステロイド関連IONが6例7関節、特発性IONが1例1関節であった。班会議病期分類でstage 3Aが4関節、stage 3Bが4関節であった。病型分類はType C1が4関節、Type C2が4関節であった。

軟骨下骨折の範囲、深さの評価を単純X線、3D-CT、 μ CTで比較した。股関節の単純X線画像の内軟骨下骨折の診断精度が高いとされるラウエンスタイン像を用いた^{1,3)}。3D-CTでラウエンスタイン像に相当する断面として頸部内側と頸部軸をとる斜矢状断像を作成した。骨頭中心を健常部の軟骨下骨

に球近似することで求め、頸部最狭部の中心を求めこの2点から頸部軸を設定した。頸部軸と直交する頸部最狭部の断面像で内側に最も突出した点を設定し、この頸部内側と頸部軸をとる斜矢状断像を作成した。摘出骨頭の μ CTも同様に頸部軸を求めラウエンスタイン像に相当する斜矢状断像を作成した。軟骨下骨折の範囲は骨頭中心から軟骨下骨折の両端に線を引きその間の角度を計測した(図1)。骨頭圧潰の深さは最も圧潰した部分の深さを計測した(図1)。

骨吸収領域の評価は、3D-CT、 μ CTの横断面で骨吸収領域のsegmentationを行い、体積を計測した。

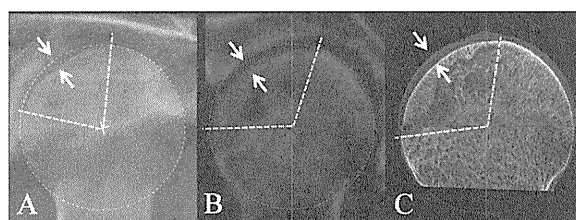


図1. A.単純X線ラウエンスタイン像。B. 3D-CT斜矢状断像。C. μ CT斜矢状断像。軟骨下骨折の範囲(破線)は単純X線83°、CTが115°、 μ CTが115°、軟骨下骨折の深さ(矢印)は単純X線が2.3 mm、CTが1.9 mm、 μ CTが1.8mmであった。

3. 研究結果

軟骨下骨折の範囲の評価では、 μ CTでの計測値に対する比率でみた場合、単純X線は中央値91%(平均89%、SD11%、範囲72-102%)であった。3D-CTは中央値99%、(平均値97%、SD5%、範囲

86-102%)であった。単純 X 線では約 10%過小評価されていたが、3D-CT は μ CT と同等であった(図 2)。

軟骨下骨折の深さの評価では、 μ CT の計測値に対する比率でみた場合、単純 X 線は中央値 87%(平均 93%、SD31%、範囲 41-126%)、3D-CT は中央値 95%(平均 92%、SD34%、範囲 41-152%)であった。画像機器による一定の傾向はなく、評価方法によりばらつきがあるという結果であった(図 3)。

骨吸収領域の体積は、 μ CT 計測値と 3D-CT 計測値との相関は相関係数 0.92 と良好であったが(図 4)、 μ CT 計測値に対する比率は、3D-CT は中央値 67%(平均 61%、SD28%、範囲 0-89%)で、過小評価される傾向にあった。 μ CT 上での 1cm^3 以下の骨吸収領域の検出は 3D-CT では困難であった(図 4)。

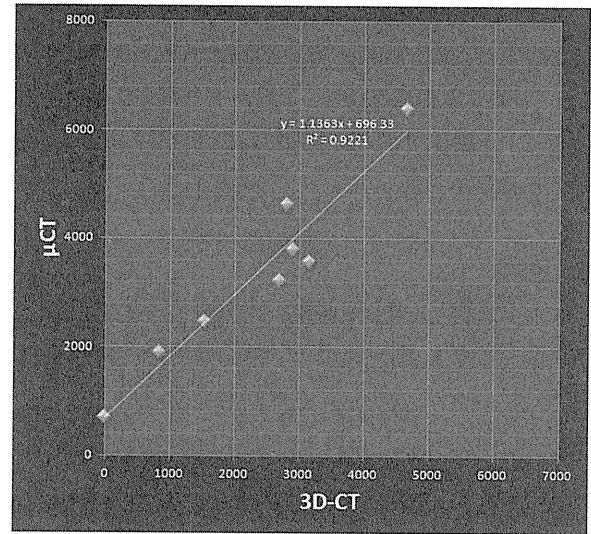


図 4. 3D-CT と μ CT の骨吸収領域体積の相関。単位は mm^3

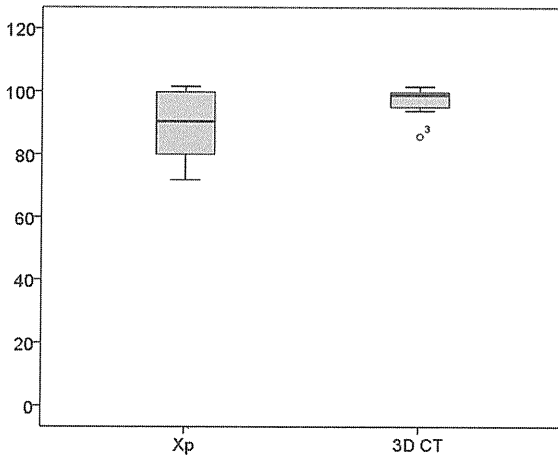


図 2. 軟骨下骨折の範囲。 μ CT 計測値に対する比率(%)

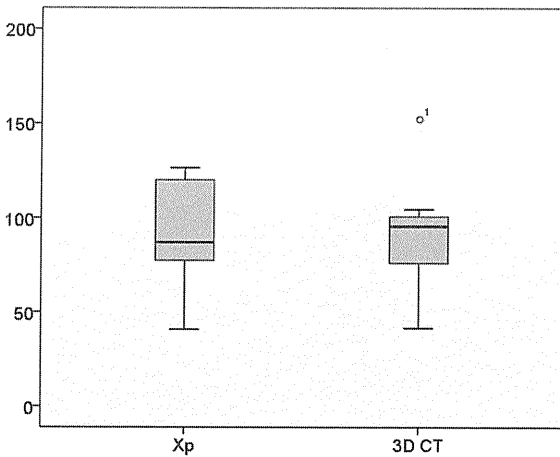


図 3. 軟骨下骨折の深さ。 μ CT 計測値に対する比率(%)

4. 考察

Stevens らは ION45 関節を対象に行った rhBMP 含有コラーゲンスポンジ移植の多施設研究で、経時的に撮影した単純 X 線、MR、CTI を用い軟骨下骨折の診断精度を比較している¹⁾。CT での診断を正解値とした場合、単純 X 線の感度は 71%、特異度は 97%と報告している。単純 X 線ラウエンスタイン像での ION の軟骨下骨折の範囲の評価は、 μ CT 計測値を正解とした場合約 10%過小評価されており、単純 X 線画像評価の限界を示している。

早期の軟骨下骨折では CT による診断が困難な症例があることも報告されている¹⁾。本研究では THA での摘出骨頭を用いており、すでに術前に単純 X 線や CT にて軟骨下骨折があると診断されている症例を用いているので、単純 X 線や CT で診断できないような軟骨下骨折の検証はできていないが、軟骨下骨折の範囲の評価においては 3DCT の結果は μ CT とほぼ同等であった。

軟骨下骨折の深さの評価であるが、一定の傾向はなく、単純 X 線、3D-CT、 μ CT とともに計測値がばらつく傾向であった。計測値が 3mm 前後であり、それぞれの計測機器の精度よりも、計測手法の再現性の影響が大きいと考えられた。

一方骨吸収領域は 3D-CT では 60-70%程度に過小評価される傾向にあり、 1cm^3 以下の骨吸収領域の検出は困難であった。通常の CT で認められる骨吸収よりも実際はより広い範囲で骨吸収が発生していると考えられた

本研究の limitation としては、3D-CT の撮影条件は通常の両側股関節を撮像範囲に入れたものであることである。片側の股関節に焦点をあてより高い解像度でCTを撮影すれば、さらに診断精度は向上すると考えられる。

5. 結論

ION の軟骨下骨折の範囲の評価は、 μ CT 計測値と比べ、単純 X 線ラウエンスタイン像で約 10%過小評価されていたが、3D-CT では同等であった。3D-CT 上の骨吸収領域は μ CT 計測値の 60-70%に過小評価され、 1cm^3 以下の検出は困難であった。

6. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

7. 知的所有権の取得状況

1. 特許の取得
なし
2. 実用新案登録
なし
3. その他
なし

8. 参考文献

1. Stevens K, Tao C, Lee SU, Salem N, Vandevenne J, Cheng C, Neumann G, Valentin-Opran A, Lang P. Subchondral fractures in osteonecrosis of the femoral head: comparison of radiography, CT, and MR imaging. *AJR Am J Roentgenol.* 2003;180:363-8.
2. Yeh LR, Chen CK, Huang YL, Pan HB, Yang CF. Diagnostic performance of MR imaging in the assessment of subchondral fractures in avascular necrosis of the femoral head. *Skeletal Radiol.* 2009;38:559-64.
3. Sugano N, Takaoka K, Ohzono K, Matsui M, Masuhara K, Ono K. Prognostication of nontraumatic avascular necrosis of the femoral head. Significance of location and size of the necrotic lesion. *Clin Orthop*