

高速 MRI と MDCT : 現状と今後の使い分け —骨軟部 : CT の立場から—

川原 康弘¹, 上谷 雅孝²

¹西諫早病院放射線科 ²長崎大学大学院医歯薬総合研究科放射線生命科学講座放射線診断治療学

はじめに

Multi-detector row CT (MDCT) は, 近年, 検出器の精度向上や多列化などにより, 体軸方向の空間分解能, 撮像時間短縮, 被曝低減などが飛躍的に進歩した. 等方性ボクセル又はそれに近い画像を短時間に得ることも可能となり, 画像診断における役割は大きくなっている. 一方, MRI など他のモダリティーの進歩が目覚ましいのも事実である.

骨軟部領域ではまず単純写真が撮影され, さらに画像による精査が必要な場合, 他のモダリティーが追加される. 必要な検査のみを選択し最短コースで診断に近づくことが望ましいが, このためには適切なモダリティー選択のためのガイドラインが必要である. ここでは骨軟部領域において, MDCT の実際, MDCT の立場から見た MRI との使い分けについて概説する.

使用される主な画像再構成法

1. 多断面再構成法 (multiplanar reformation/reconstruction, MPR)

通常は 0.5~3 mm の薄いスライス厚 (thin

MPR) で再構成する (Figs. 1~8). 矢状断, 冠状断, 横断の 3 方向が基本で, 必要に応じて他方向の断面も追加する. 2 cm~5 cm の厚いスライス厚での再構成画像 (thick MPR) は, 必要な範囲のみの単純写真のような画像を得ることができ (Fig. 6), volume computed radiography と呼ばれる. 放射状断面再構成画像 (radial MPR) や湾曲断面再構成画像 (curved planar reformation/reconstruction) (Fig. 6) も必要に応じて用いられる.

2. 3次元投影法

Surface rendering (shaded surface display, SSD) 法, volume rendering (VR) 法の 2 種類が用いられる. Surface rendering 法は骨表面の描出に使用される. 骨の CT 値に合わせて下限閾値を設定し, 軟部組織を削除し骨表面のみを描出する (Fig. 7). 骨表面のみの情報しかなく, データ量が小さく短時間で画像再構成できるが, 骨内部の病変は描出できない. Volume rendering 法は各ボクセルの CT 値に基づいて, 濃度, 色彩, 不透明度 (opacity) を設定する方法である. すべてのデータを利用し, 骨表面だけでなく骨内部の病変や腱, 軟部組織も同時に描出できる (Fig. 9).

この総説は, 第 31 回日本磁気共鳴医学会大会シンポジウム「高速 MRI と MDCT : 現状と今後の使い分け」での講演を中心にまとめたものである.

キーワード multi-detector row CT (MDCT), multiplanar reformation/reconstruction (MPR), shaded surface display (SSD), volume rendering (VR), MRI

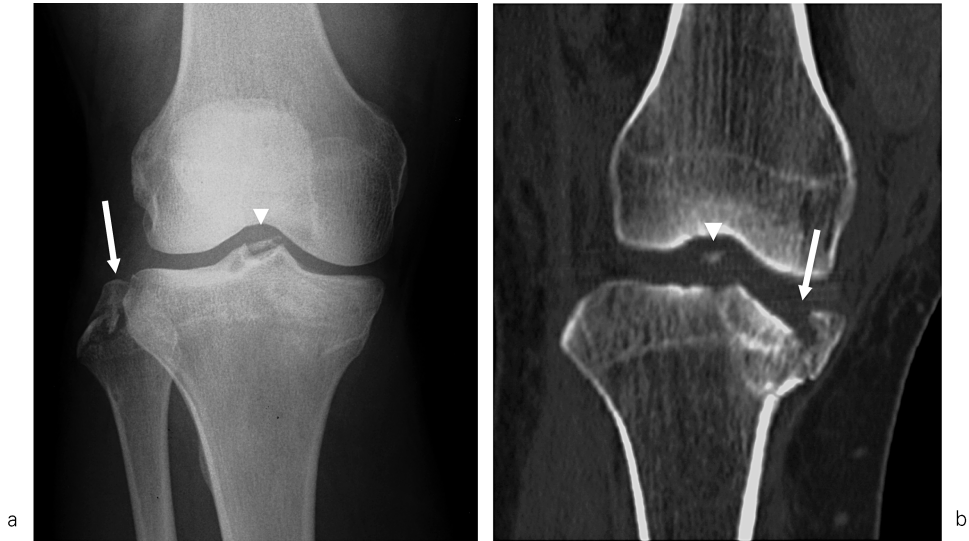


Fig. 1. Fractures of the fibular head, the intercondylar eminence, and the medial tibial plateau

a) Conventional radiography

Fractures of the fibular head (arrow) and the intercondylar eminence of tibia (arrow head) are depicted, but the medial plateau fracture is not obvious.

b) CT coronal MPR

Depression fracture of the medial tibial plateau (arrow) is well visualized. A displaced bone fragment of the intercondylar eminence (arrow head) is also seen.

使用される主な造影検査

1. 経静脈性造影 CT

主に腫瘍性・腫瘍類似病変に用いられるが、骨髄炎や軟部組織の炎症における膿瘍の描出、動脈瘤や動静脈奇形などの血管性病変にも用いられる。

2. CT 脊髓腔造影

脊髓腔造影後に CT を施行する。硬膜嚢や神経根鞘、脊髓、神経根の評価に有用である (Fig. 6)。MRI の普及により施行される機会は減少したが、神経根の描出は MRI より優れている。

3. CT 椎間板造影

椎間板造影後に CT を施行する。椎間板ヘル

ニアにおける線維輪の破綻、形態、ヘルニア脱出の方向を評価できる。これも MRI の普及に伴い適応は減少したが、手技により症状が誘発されるか否かでヘルニアと症状の関係をみることができる。

4. CT 関節造影

関節造影後に CT を施行する。関節内疾患の評価に有用である (Table 1)。空気単独 (Fig. 10)、造影剤単独 (充満像)、空気と少量の造影剤 (二重造影像) のいずれかを用いる。

5. CT 血管造影

造影剤急速静注後の早期像で動脈の CT 血管造影が得られる。MR 血管造影とともに従来の血管造影に取って替わりつつある。

2005年2月8日受理

別刷請求先 〒854-0063 長崎県諫早市貝津町 3015 西諫早病院放射線科 川原康弘



Fig. 2. Stress fracture of the femur

a) Conventional radiography

Periosteal new bone formation of the distal femoral diaphysis (arrows) is seen predominantly in the medial aspect, but no fracture line is depicted.

b) CT sagittal MPR

Longitudinal fracture line (arrows) is delineated.

一般的な MRI との使い分け

一般に、MRI と比較して MDCT は以下のような利点がある。

- 1) MRI が撮像できない患者（生命維持装置を必要とする、長時間の体位保持が困難である、術後などのため MRI 非対応金属を有している、閉所恐怖症など）でも撮像できる。
- 2) 検査へのアクセスが良い。
- 3) 撮像時間が短く、広範囲の撮像が可能である。撮像時間は検出器列数などにより違いはあるが、骨軟部領域ではおおむね 30 秒以内である。MRI は高速化されているとはいうものの撮像に 10 分～15 分以上はかかり、撮像範囲は限定される。
- 4) 撮像時の精神的、肉体的負担が少ない。撮

像時間が短く、撮像時の音が静かである。ガントリーの幅が狭く閉塞感が少ない。

- 5) 金属によるアーチファクトが少ない。
- 6) 空間分解能が高い。
- 7) 保険点数が低い。四肢領域で MRI は 1160 点、MDCT は 570 点、脊椎領域で MRI は 1220 点、MDCT は 830 点である。

一方、以下のような点が劣っている。

- 1) 被曝がある。検出器の精度は向上したが、空間分解能の高いデータ、多時相データを得ることが多くなっており、結果的に被曝は上昇傾向にある。
- 2) 濃度分解能が低い。

MRI が撮像できない、もしくは MRI では金属などによるアーチファクトのため読影困難となる場合、MDCT である程度代用できる際に



Fig. 3. Burst fracture of the vertebral body and fracture of the posterior element of L2
CT sagittal MPR

Burst fracture of the vertebral body of L2 with collapse and displacement of bone fragment (arrow). Posterior displacement of bone fragment results in spinal canal stenosis. Fracture also involves the spinous process (arrow heads).



Fig. 4. Ossification of the anterior and posterior longitudinal ligaments in cervical spine
CT sagittal MPR

Ossification of the anterior and posterior longitudinal ligaments (arrows) with spinal canal stenosis is noted. The degree and extent of ligamentous ossification is easily evaluated.

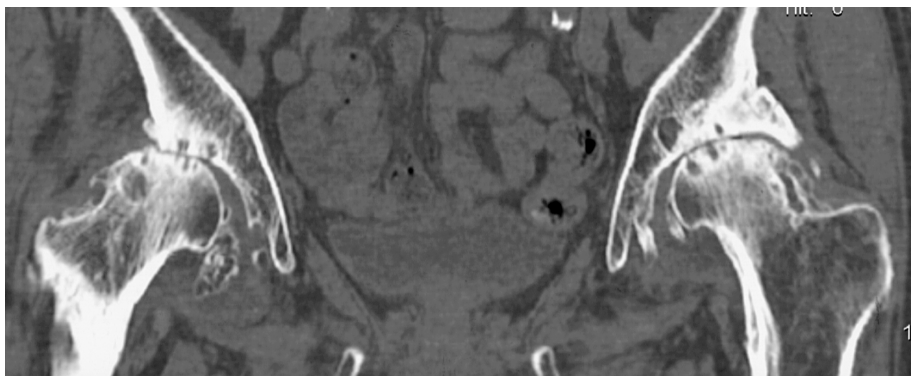


Fig. 5. Osteoarthritis of the hip joints
CT coronal MPR

Deforemy of femoral heads, narrowing of joint space, subchondral cyst and sclerosis suggestive of osteoarthritis are well visualized in both hip joints.



Fig. 6. Disk hernia at the level of L3-4 and L4-5
a) Sagittal MPR showing trace line for thick curved planar reformation/reconstruction of CT myelography. Compression of the thecal sac by disk hernia is seen at the level of L3-4 (arrow) and L4-5 (arrow head). Below the level of L4-5, little fill-in of contrast media is noted. Thick curved planar reformation along trace line was made.
b) Thick curved planar reformation/reconstruction of CT myelography. Whole lumbo-sacral spinal canal, which includes thecal sac, cauda equina, and vertebral pedicles, is visualized.

は MDCT を施行する。外傷など緊急性のある場合には、アクセスが良く短時間に広範囲を撮像できる MDCT が基本的に優先される。

MRI で MDCT と同等かそれ以上の情報が得られると思われる場合には、被曝のない MRI を優先する。特に小児、生殖可能年齢な女性、妊婦などでは、MDCT の適応を慎重に考慮しなければならない。MDCT を撮像する場合には、線量を減らす、不必要な薄いスライス厚データを得ることは避けるなど、被曝低減のための配慮が必要である。骨軟部領域では他の領域と比較して MDCT より MRI が優先さ

れることが多いが、濃度分解能が MRI に比し低いことが最大の理由である。

骨軟部領域における撮像目的による MRI との使い分け

骨皮質、骨梁の評価や石灰化・骨化の描出には MDCT が (Figs. 1~5, 7~9, 11), 骨髄腔, 関節硝子軟骨, 線維軟骨, 軟部組織, 腱, 靭帯などの評価には MRI が優れている。骨皮質は MRI では無信号で、この病変に関する情報はあまり得られない。骨梁も MRI では高分解能



Fig. 7. Avulsion fracture of the posterior cruciate ligament insertion of tibia

a) CT sagittal MPR

Avulsion fracture of the posterior tibial spine is seen (arrow). Note a bone fragment that is attached to the posterior cruciate ligament.

b) CT 3D-SSD image

Three-dimensional demonstration of tibial bone fragment is obtained (arrow).

MRI を用いなければ描出は困難である。MDCT はこれらの評価に非常に優れており、特に骨折の評価には抜群の威力を発揮する (Figs. 1~3, 7, 9)。MPR や 3 次元画像は特に有用であるが、詳細は後述する。石灰化・骨化が決め手となる症例も MDCT を優先させる (Fig. 11)。他は MRI が優れている点が多く、まず MRI を施行し MDCT は追加情報が必要な場合に施行されることが多い。

骨軟部領域における疾患別の MDCT の実際と MRI との使い分け

1. 外傷性疾患 (骨折, 脱臼) (Table 2)

外傷の診断は単純写真が基本であるが、MDCT は単純写真や断層撮影が困難な場合 (体位変換が困難、ギプスや固定具が装着されているなど) でも撮影可能である。単純写真に付加し得る点として、以下のことが挙げられる。

- 1) 骨折線, 骨片, 脱臼の描出 (脊椎, 手, 足, 顔面骨, 胸骨など単純写真で病変の描出が難しい部位で有用性が高い) (Figs. 1~3, 7, 9)。
- 2) 骨折の関節内進展, 関節面の状態 (陥没, 骨軟骨骨折など) の評価 (Figs. 1, 7, 9)。
- 3) 3 次元画像による術前シミュレーション (Figs. 7, 9)。
- 4) 腱や軟部組織, 中枢神経, 臓器などの合併損傷の評価。

骨折治療後の骨癒合状態の評価にも有用である。関節では少しずつ屈曲角を変えて撮像しそれぞれ MPR 像や 3 次元画像を作製すると、動画類似像を得ることができる (Fig. 9)。関節の脱臼や安定性, 骨折における骨片の安定性, 骨折や脱臼と周囲の腱との関係などの評価において、有用性が期待される。関節の動きは受動的で能動的ではない、固定具が必要である、被曝が増加する、画像処理に時間がかかるなどの欠点がある。



Fig. 8. Giant cell tumor of the tibia
CT coronal MPR

An intramedullary well-defined osteolytic lesion without sclerotic margin (arrows) is seen in the central to lateral part of proximal epi-metaphysis of tibia. Expansile bone change with cortical thinning is also depicted.

骨折線や骨片の描出には MRI より MDCT が優れており、骨折の評価には MDCT を優先させる。3次元画像による術前シミュレーションができることも MDCT に有利な点である。ただし、骨挫傷の評価に関しては、骨髄の出血・浮腫を明瞭に描出できる MRI が MDCT より優れる。中枢神経や臓器、血管などの重篤な損傷も疑われる際には、生命維持装置を必要とする場合や広範囲を迅速に撮像しなければならない場合が多く、基本的には MDCT を優先させる。血管損傷などさらに詳細な情報が必要な際には、造影を追加する。腱、靭帯、線維軟骨（半月板、関節唇、三角線維軟骨）、関節硝子軟骨、軟部組織などの評価には MRI がより優れており、これらの評価を優先する場合には MRI を選択する。骨折治療後の骨癒合状態の

評価には、骨皮質、骨梁、仮骨などの描出が良好な MDCT を優先させる。

2. 脊椎疾患 (Table 3)

MDCT は脊椎でも骨折、脱臼の評価に有用であるが (Fig. 3)、その他、黄色靭帯や前・後縦靭帯骨化の描出 (Fig. 4)、脊椎炎における骨破壊の描出、脊柱管や神経孔、椎間関節の評価などに有用である。側弯症の症例では、弯曲冠状断を用いると撮像範囲のすべて又はほとんどの神経孔を一枚の写真で描出できる。

硬膜嚢、神経根鞘、脊髓、神経根の描出には CT 脊髓腔造影 (Fig. 6) が有用であるが、手技に伴う疼痛、神経・血管損傷、感染の危険、造影剤の副作用などの欠点がある。前にも述べたように MRI の普及に伴い適応は減少したが、神経根の描出は MRI より優れており、神経根の引き抜き損傷、椎間板ヘルニアにおける神経根の圧迫の有無などの評価に有用性が高い。厚いスライス厚を用いた弯曲冠状断像は椎弓根と硬膜嚢の関係を含めた脊柱管全体の描出が可能で (Fig. 6)、椎弓根スクリュー固定法を施行する場合の術前検査などに有用である¹⁾。

CT 椎間板造影は椎間板ヘルニアの診断のために施行されていたが、多くは MRI にとって替わられている。ただし、手技による症状誘発の有無をみることで責任病変である椎間板ヘルニアを特定できる利点がある。

脊椎疾患では多くの場合、椎間板や脊髓、神経根などの評価が必要で、これらの描出により優れる MRI を優先する。CT で脊髓、神経根を描出するには、侵襲性のある CT 脊髓腔造影を用いなければならない。脊柱管や神経孔、椎間関節などの骨の情報や靭帯骨化の評価が必要な場合には、MDCT を追加する。MRI では MR 脊髓造影を得ることもできるが、神経根・神経根鞘の評価は CT 脊髓腔造影ほど明瞭ではない。神経根・神経根鞘の詳細な評価や責任病変である椎間板ヘルニアの特定などが必要な際には、CT 脊髓腔造影、CT 椎間板造影を適宜追加する。



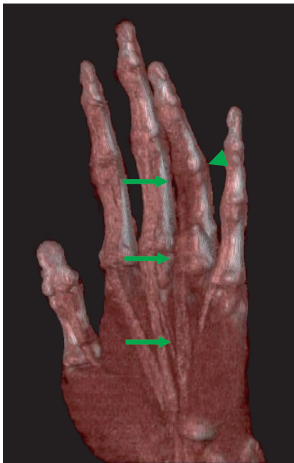
Fig. 9. Fracture of the proximal phalanx with subluxation of metacarpophalangeal joint of the ring finger
a) CT 3D-VR image for depiction of bone.

Comminuted fracture of the proximal phalanx (arrow) and subluxation of the metacarpophalangeal joint (arrow head) of the third finger are depicted by three-dimensional image.

b-g) CT 3D-VR image for depiction of bone, tendons and muscles at various angle of flexion.

The relationship between the proximal phalangeal fracture and the flexor digitorum tendon (arrows) of the third finger is visualized. Full extension of the proximal interphalangeal joint cannot be obtained (arrow head) due to the adhesion of the flexor digitorum tendon at the site of fracture.

a



b



c



d



e



f



g

3. 関節疾患 (Table. 4)

MDCT の主な役割は、軟骨下骨の変化 (嚢胞形成, 硬化, 侵食, 破壊など) (Fig. 5), 関節内遊離体 (骨片, 骨成分) の描出である. 特に関節裂隙に対して垂直な再構成断面像は病変把握に有用である. 前にも述べたように, 関節周囲の骨髄の浮腫・出血, 腱, 靭帯, 線維軟骨

(半月板, 関節唇, 三角線維軟骨), 関節硝子軟骨, 軟部組織の変化の評価には MDCT より MRI が優れている.

関節内病変の評価には CT 関節造影が有用である (Table 1, Fig. 10). ある程度の熟練が必要で疼痛, 神経・血管損傷, 感染の危険, 造影剤の副作用などの欠点がある. MR 関節造影との比較では MR 関節造影が優れるとの報告が多いが^{2),3)}, MDCT を用いた報告ではなく優劣は明確ではない. ただし, 肩関節の関節内評価に関しては, 我々は CT 関節造影より MR 関節造影が優れている印象をもっており, MR 関節造影を優先している.

股関節や肩関節などでは, 手術計画にも 3 次元画像が利用されている.

関節疾患では多くの情報が得られる MRI を優先し, 軟骨下骨や関節内遊離体の正確な情報, 手術計画のための 3 次元画像などが必要な場合に MDCT を追加する.

Table 1. Indication of CT Arthrography¹⁾

Shoulder	Injury of glenoid labrum or glenohumeral ligament, paralabral cyst, intraarticular loose body
Elbow	collateral ligament injury, osteochondritis dissecans, intraarticular loose body
Hip	glenoid labrum injury, paralabral cyst, intraarticular loose body
Knee	meniscus injury, osteochondritis dissecans, intraarticular loose body
Ankle	osteochondritis dissecans, intraarticular loose body

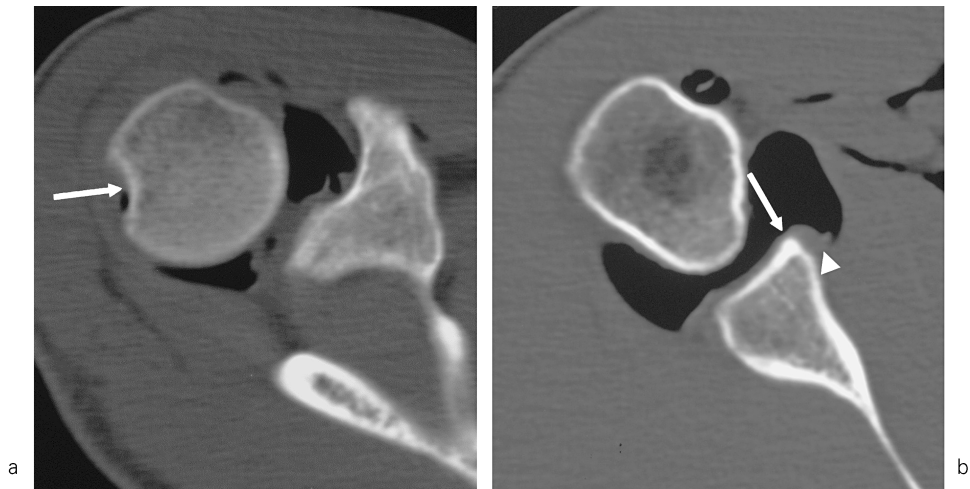


Fig. 10. Hill-Sachs and Bankart lesions

a) CT pneumoarthrography at the superior level

Depression of the posterolateral aspect of humeral head suggestive of Hill-Sachs lesion (arrow) is seen.

b) CT pneumoarthrography at the inferior level

There is a detachment with medial displacement of the anterioinferior glenoid labrum (arrow).

Table 2. Comparison of MDCT and MRI in the Evaluation of Traumatic Disease

MDCT > MRI
<ul style="list-style-type: none"> • Depiction of bone fracture lines and bone fragments • Preoperative simulation using 3 D image • Evaluation of osseous fusion of bone fracture after treatment
MDCT < MRI
<ul style="list-style-type: none"> • Depiction of bone marrow edema/hemorrhage • Evaluation of injury of tendons, ligaments, fibrocartilage (meniscus, labrum, triangular fibrocartilage), articular hyaline cartilage, or soft tissue

Table 3. Comparison of MDCT and MRI in the Evaluation of Spinal Disease

MDCT > MRI
<ul style="list-style-type: none"> • Depiction of bone erosion/destruction or ossification of anterior/posterior longitudinal or yellow ligament • Evaluation of spinal canal, neural foramens, or facet joints • CT myelography > MR myelography • CT diskography - detection of symptomatic disk hernia
MDCT < MRI
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation of intervertebral disks, spinal cord, or nerve roots/root sheaths

4. 腫瘍・腫瘍類似疾患 (Table 5)

CT の役割は、病変の境界、大きさ、形態、内部性状 (骨化・石灰化、変性、壊死、血管増生など) の評価、骨の変化 (侵食、破壊、硬化など) の有無や程度 (Fig. 8)、進展範囲、隣接する軟部組織や血管との関係の把握が挙げられる。造影剤急速静注後のダイナミック CT 早期像では、腫瘍の血管増生程度を判定でき、CT 血管造影を得ることもできる。

石灰化・骨化、骨破壊の描出は MRI より MDCT が優れているが、他のほとんどの評価は MRI の方が優れている。類骨腫 (Fig. 11)

Table 4. Comparison of MDCT and MRI in the Evaluation of Arthropathic Disease

MDCT > MRI
<ul style="list-style-type: none"> • Depiction of subchondral bone changes (cyst, sclerosis, erosion, destruction, etc.), intraarticular loose bodies (osseous/osteocartilagenous fragments) • Preoperative simulation using 3 D image
MDCT < MRI
<ul style="list-style-type: none"> • Depiction of edematous change of juxtaarticular bone marrow/soft tissue, synovial hypertrophy, joint effusion, or injury of tendons, ligaments, fibrocartilage (meniscus, labrum, triangular fibrocartilage), articular hyaline cartilage, or soft tissue

Table 5. Comparison of MDCT and MRI in the Evaluation of Tumor/Tumor-like Disease

MDCT > MRI
<ul style="list-style-type: none"> • Depiction of bone changes (erosion, destruction, sclerosis, etc.) and ossification/calcification
MDCT < MRI
<ul style="list-style-type: none"> • Evaluation of internal nature (degeneration, necrosis, vascularity, etc.), size, or extent of lesion, or extension to adjacent tissue • Presumption of pathological compositions

や骨芽細胞種、化骨性筋炎など石灰化・骨化が診断の決め手になる病変の診断には MDCT を優先してもよいが、基本的にはまず MRI を施行し、骨の変化や石灰化・骨化の情報など必要に応じて MDCT を追加する。CT 血管造影、MR 血管造影の選択に関しては、空間分解能の高い CT 血管造影の方が血管浸潤などを評価しやすいと思われるが、実際には MRI 施行時に MR 血管造影が撮像されるのが現状と思われる。

5. その他

骨髄炎の早期診断には MDCT より MRI が有用だが、MDCT は進行例における骨破壊の有無や程度の評価、腐骨の同定に適している。

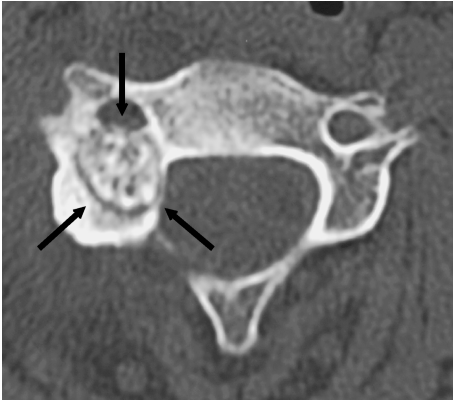


Fig. 11. Osteoid osteoma of C4 spine CT

A well-defined osteolytic change containing internal calcification, which is indicative of nidus of osteoid osteoma, is seen in the right lateral mass (arrows). Reactive sclerotic and hyperostrophic change of the surrounding bone are also depicted.

骨壊死においては、診断、範囲同定ともにMRIが優れているが、大腿骨頭壊死に伴う骨頭圧壊の範囲、程度の描出のためにMDCTが行われることがある。これらの評価もMRIが優先され、MDCTは補助的となる。先天性疾患における骨、関節の変形の描出や種々のパラメータ計測などにもMDCTは有用である。

おわりに

骨軟部領域に関しては、MDCTより濃度分解能のより優れたMRIを優先させる場合が多

く、MDCTの適応は他の領域と比較して限られている。骨化・石灰化の評価にはMRIよりMDCTが優れており、特に骨折の評価においてはMDCTをまず選択する。構造が複雑で単純写真で評価困難な部位での診断や3次元画像による術前シミュレーションなどにおいて有用性が高い。しかし、他はMRIが第1選択でMDCTは補助的となる場合が多い。

現在、256列面検出器を装備したコーンビームCTが実験、臨床試験段階にあるとのことである⁴⁾。このような非常に多くの列検出器を搭載した装置を用いると、能動的な動画を得ることも可能になる。骨軟部領域におけるMDCT動画の有用性はまだ確立されていないが、関節疾患や外傷性疾患などにおいて応用が期待される。

文 献

- 1) 福田国彦, 辰野 聡, 曾雌 茂, 茶園昌明: 骨・関節・脊椎のマルチスライスCT. 日独医報 2003; 48: 219-228
- 2) Chandnani VP, Yeager TD, DeBerardino T, et al.: Glenoid labral tears: prospective evaluation with MRI imaging, MR arthrography, and CT arthrography. AJR 1993; 161: 1229-1235
- 3) Brossmann J, Preidler KW, Daenen B, et al.: Imaging of osseous and cartilaginous intraarticular bodies in the knee: comparison of MR imaging and MR arthrography with CT and CT arthrography in cadavers. Radiology 1996; 200: 509-517
- 4) 医療福祉機器研究所編: 平成11年度成果報告書. 高速コーンビーム3次元X線CT (エネルギー使用合理化), 2000

Musculoskeletal Imaging Diagnosis : The Role of Multi-detector Row CT in Comparison with MRI

Yasuhiro KAWAHARA¹, Masataka UETANI²

*¹Department of Radiology, Nishiisahaya Hospital
3015 Kaidu-machi, Isahaya-shi, Nagasaki 854-0063*

²Department of Radiology and Radiation Biology, Nagasaki University Graduate School of Biomedical Sciences

The development of multi-detector row CT (MDCT) has produced significant benefits in imaging diagnosis. It has led to high spatial resolution of z-axis and decreased scanning time and irradiation dose. Other imaging modalities have also improved, and adequate guidelines for the use of various modalities are needed.

In this review, we discuss the role of MDCT for musculoskeletal imaging diagnosis when compared to MRI. MDCT is valuable for the depiction of bone cortex change and faint calcification, particularly in the evaluation of bone fracture. In most other musculoskeletal conditions such as arthropathies, spinal disorders, and tumors or tumor-like lesions, MRI is usually chosen due to the excellent contrast resolution. MDCT may be used as a supplement to MRI in these cases.