

骨軟部

．画像検査法と適応

A. 単純X線撮影

1．はじめに

骨関節のX線撮影は、もっとも日常的に用いられている検査である。その適応は広く、骨・関節に関連するほとんどの問題が含まれてくる。このガイドラインは、現在行われている骨・関節の単純X線撮影の施行法や適応の変更を目指したのではなく、他の画像診断法の発展に伴って、画像診断全般のなかでより合理的な役割を担わせることを推進することに役立てることを目的としたものである。

2．検査適応

単純X線検査の適応には、骨・関節のほとんどあらゆる病態が含まれる。ただし、スクリーニング目的で用いられる単純X線検査は多用されすぎる傾向にあり、適応の限定が報告されているはずの頭部外傷における頭蓋の単純X線撮影も、いまだ多く施行されている¹⁾。腰痛症や足関節外傷などでも単純X線撮影は多用されすぎる傾向にあるが、Ottawa knee ruleやOttawa ankle rule(注)などにみられるように、個々の施設の特徴や専門性を勘案して適応を限定する努力をはらうことが望ましい^{2,3)}。(注)カナダのStiellらによって報告された救急部門での単純X線撮影の適応基準で

あり、Ottawa knee ruleでは55歳より年長、腓骨頭の圧痛、膝蓋骨の圧痛、90度以上の屈曲制限、外傷直後の荷重不能、救急室での4歩以上の歩行困難のうち1項目以上の症例について膝関節の単純X線を撮影するとするもの、Ottawa ankle ruleは55歳より年長、内・外果部の圧痛、荷重不能のいずれかを満たすものについて足関節の単純X線撮影を行うとするものである。彼らによれば、このような単純な基準を用いるだけで、診断の見逃しを起こすことなく、救急室の単純X線検査を有効に減少させることができたとしている。

3．撮影法

1) 一般的原則

(1) 単純X線撮影は骨・関節のほとんどの問題におけるスクリーニングとしての役割を果たしている。しかしながら、症状の部位と原因となる病変の部位とは必ず

しも一致しないことがあり、X線撮影を病歴聴取や理学所見の採取に先行させることは望ましいことではない。

- (2) 撮影条件はX線発生装置の性能，焦点・フィルム間距離，フィルム・増感紙の選択，現像の条件などで変わりうるので，統一的な基準は設定するのが困難である。ただし，同一条件で撮影することにより，検査所見の比較検討に役立つだけでなく，システムの故障や劣化を早期に検出できるので，各施設ごとに標準的な撮影条件を設定することは必要である。
- (3) 撮影にあたっては十分なコリメーションにより，問題となる部位の質の高い検査に努めることが重要であり，また散乱線除去は体幹や体幹部に近い大関節では必要である。検査にあたっては，目的部位の質の高い検査を得ることが重要であり，“babygram”（注）のように広い範囲を含める検査は原則的には推奨できない。（注）“babygram”とは，新生児や乳児で1枚の撮影に全身を含めてしまうこと。個々の部位に条件を合わせているのではないので個別の部位の詳細な検討には適さない。
- (4) 撮影手技と撮影法のルーチンは施設によって多様であり，統一的な標準を設定することは困難である。しかし，各施設で検査部位別，適応別に標準的撮影のセットを定めておくことは，画質管理と所見の比較検討に有用である。ただし，撮影にあたっては，被検者に応じて個別化されることが望ましい。
- (5) 骨・関節の撮影では，できるだけ直交する2方向以上の撮影を含めることが原則である。ただし，鎖骨などのように十分に角度を変えた多方向撮影が困難な部位がある。解剖学的に複雑な部位では，さらに多方向の撮影が行われる。また複雑な位置決めが必要な特殊撮影や，痛みの部位と関連させなければならない場合には，透視下でのスポット撮影が有用なことがある。これらの選択は，再撮影を繰り返すことなく，なされなければならない。さらにまた，臨床的に異常の疑いが強い場合には，単純X線撮影に時間を費やすことなく，コンピュータ断層撮影とその三次元再構成を行うことも選択の一つに含まれる。

2) 個別の撮影法

- (1) 画像には適正な濃度とコントラストが得られていることが不可欠であり，骨とその周囲の軟部組織とが十分に認識できる必要がある。しかし，肩のように急激に厚みの変わる部位の撮影にあたっては，肩関節と鎖骨外側のように同時には観察しにくい部位が含まれるのはやむを得ない。そのため，条件を変えて撮影しなおす必要が生じることがある。
- (2) 幼児・小児や協調の得られない患者では適切な方法により固定を行うことが重要である。このような患者を多く撮影する施設では固定のための装置や装具を用意しておくことが望ましい。

- (3) 骨折の転位や屈曲の程度は2方向でも過少評価することが多く、必要に応じて適切な斜位像が必要となる⁴⁾。ただし、ルーチンに多方向を撮影するのではなく、個別に方向を設定することが望ましい。
- (4) 頸椎の側面像はスクリーニングにはもっとも重要であり、できるだけ正確な側面像が必要である。なお、不安定性の存在や不安定骨折や靭帯損傷が疑われる場合の頸椎側面の前後屈像の撮影では、検査担当医により臥位あるいは立位中間位でのX線撮影像の適応が検討された後に、その直接監視下で行われなければならない。
- (5) 腰椎のX線撮影は、腰痛症に典型的にみられるように、多用されすぎる傾向にある。CTやMRIでより正確な検査が行える現状を勘案して、斜位撮影のような被曝量の多い撮影をできるだけ行わないですむようにし、また撮影枚数を減少させる工夫が必要である。また解像度をいくぶん犠牲にしても、被曝量の少ないフィルム・増感紙のシステムの採用が推奨される。
- (6) 対側比較撮影は骨端線閉鎖前の小児の骨外傷で施行される。観察者の経験が十分であれば対側撮影が必要なことはほとんどないといつてよいが、救急医療の現場では、経験の十分な医師が常に得られるわけではないので、対側撮影を適宜行うことも容認されるべきである。ただし、ルーチン化することは望ましくない。原則として、医師が異常側を評価して必要を認めた時のみに限定すべきである。
- (7) ストレス撮影は、その施行方法を標準化することには困難が伴う。職業被曝の低減に留意しながら、診断にあたる医師によって行われるか、監視される必要がある。

4. 品質管理

X線撮影装置、カセットや増感紙、自動現像機の維持管理は重要であり、問題が生じた場合には可及的に改善する必要がある。再撮影率や撮影されたフィルムの画質評価により品質改善をはかることが必要である。

撮影装置や撮影システムの作動状況は使用毎あるいは定期的に検討して、不具合があれば直ちに改善する必要がある⁵⁾。

5. 放射線防護

妊娠可能な年齢の女性の検査においては、妊娠の可能性を常に確認することが必要である。

生殖腺防護は可能な限り行い、適切な遮蔽を行う必要がある。たとえば、股関節では初回撮影のみ(2方向以上であれば、正面のみ)の撮影を原則として生殖腺遮蔽なしで撮影し、それ以降の経過観察では生殖腺の遮蔽を加えるようにするとよい。

6. 記録管理

フィルムには、次の情報が消去されたり変更されたりできない方法で含まれていなければならない。それらには、患者氏名、ID番号ないし生年月日など患者の同定に役立つ情報、検査年月日、検査施設、そしてできれば撮影者を特定できるもの（撮影技師、医師のID番号やイニシアル）が含まれる。画像には患者の左右が明示されていなければならない。また、脊椎や下肢の荷重関節で、立位、臥位を併用している場合には、フィルム上に明示されることが望ましい。

フィルムの管理は法律で定められた基準を満たしていなければならないが、臨床的には5年程度さかのぼって比較を行うことは十分な利益を患者にもたらすことを念頭においてフィルムの管理を計画すべきである。

7. デジタルX線撮影（コンピュータ・ラジオグラフィ，CR）

CRの利用とその限界については、十分な検討がなされているわけではないが、CRが通常の単純X線撮影より優れている点は今までのところ指摘されていない^{6,7)}。CRの利点としては、ダイナミックレンジが広いので、濃度の急激に変わる部位（肩など）を1回の撮影で含まれる点が挙げられる。技術的な問題点としては側彎や脚長差の評価に用いる長尺のフィルムが無くこれらの評価は行えない。また、解像度の限界から転位の軽度な骨折では見えなくなる可能性、そしてエッジ処理方式により、骨膜反応の見え方が変わったり、見えなくなったりする可能性が挙げられる。また骨膜下骨吸収の見え方も変化する可能性がある。骨塩量の推定を行う場合にも、通常の単純X線撮影とは異なる見方が必要となる可能性がある。

<文献>

1. Masters SJ, McClean PM, Arcarese JS, et al : Skull X-ray examination after head trauma. *New Engl J Med* 1987 ; 316 : 84-91.
2. Stiell IG, Greenberg GH, McKnight RD, et al : A study to develop clinical decision rules for the use of radiography in acute ankle injuries. *Ann Emerg Med* 1992 ; 21 : 384-390.
3. Stiell IG, Greenberg GH, Wells GA, et al : Prospective validation of a decision rule for the use of radiography in acute ankle injuries. *JAMA* 1996 ; 275 : 611-615.
4. Green SA, Green HD : The influence of radiographic projection on the appearance of deformity. *Orthop Clin North Am* 1994 ; 25 : 467-475.
5. 一般撮影と透視装置の性能モニターについての一般物理に関するACR standard . ACR Standards 1998（放射線科専門医会訳）
6. Buckwalter KA, Braunstein EM : Digital skeletal radiography. *AJR* 1992 ; 158 : 1071-1080.

7. Piriano DW, Davos WJ, Lieber M, et al : Selenium-based digital radiography versus conventional film-screen radiography of the hands and feet. AJR 1999 ; 172 : 177-184.

(岩手医科大学 江原 茂)

B. CT

1. はじめに

CTは骨と石灰化の描出に優れるが、濃度分解能においてMRIに劣ること、X線被曝があること、および全身の検索に適さないことにより骨軟部領域においては限られた症例においてのみ検査が施行される。

2. 適応と禁忌

1) 適応

単純X線写真で不明瞭な骨病変と石灰化病変が適応となる。

- (1) 骨盤や脊椎など解剖学的に複雑な部位の骨折や骨腫瘍などの骨病変の描出。
- (2) 単純X線写真で不明瞭な類骨骨腫などの微小骨病変の描出。
- (3) 骨軟部腫瘍や腫瘍性病変における微細な石灰化の描出。

一般に軟部腫瘍については、石灰化の描出を目的とする以外では、CTが適応となることはない。CTは石灰化以外に脂肪の描出にも優れるが、被曝がなく脂肪の特異的診断が可能なMRIが優先される。

- (4) 骨軟部腫瘍や腫瘍性病変と血管や骨との位置関係の描出。

2) 禁忌

絶対的な禁忌は存在しない。しかしながら、多くの病変は単純X線写真の次にMRIが適応となる。

妊娠の可能性がある場合には、常に被曝による潜在的风险とCTによる利益とのバランスの上で慎重に検査が行われなければいけない。特に、胎児が直接被曝を受ける骨盤部の骨病変では十分に適応が検討されなければならない。

撮像部位の金属はアーチファクトを発生するが、金属の存在は必ずしも適応外とならない。アーチファクトが発生しても目的が十分に達成されることもあるため、検査の目的により適応が判断される。

3. CT装置

装置の基準として以下の能力が必要である。

- 1) スキャン時間：2秒以下
- 2) スライス厚：2mm以下

4 . CT装置の性能管理

性能評価は少なくとも年1回以上は行われなければならない。監視すべき性能の内容は他の部位のCT装置と同様である。

5 . 画像表示

骨病変については骨条件のアルゴリズム、軟部病変については軟部条件のアルゴリズムで画像再構成を行う。症例によっては骨条件と軟部条件のアルゴリズムによる再構成が必要である。

<文献>

- 1 . Feldman F . : Musculoskeletal radiology : then and now. Radiology 2000 ; 216 : 309-316.
- 2 . Pretorius ES , Fishman EK : Spiral CT and three-dimensional CT of musculoskeletal pathology. Emergency room applications. Radiol Clin North Am 1999 ; 37 : 953-974.
- 3 . Murphey MD , Smith WS , Smith SE , et al : From the archives of the AFIP. Imaging of musculoskeletal neurogenic tumors : radiologic-pathologic correlation. Radiographics 1999 ; 19 : 1253-1280.
- 4 . Freedman DM , Dowdle J , Glickel SZ , et al : Tomography versus computed tomography for assessing step off in intraarticular distal radial fractures. Clin Orthop 1999 ; (361) : 199-204.
- 5 . Bearcroft PW : The use of spiral computed tomography in musculoskeletal radiology of the lower limb : the calcaneus as an example. Eur J Radiol 1998 ; 28 : 30-38.
- 6 . Jaovisidha S , Subhadrabandhu T , Siriwongpairat P , et al : An integrated approach to the evaluation of osseous tumors. Orthop Clin North Am 1998 ; 29 : 19-39.
- 7 . Munk PL , Lee MJ , Janzen DL , et al : Lipoma and liposarcoma : evaluation using CT and MR imaging. AJR 169 : 589-594.
- 8 . Panicek DM , Gatsonis C , Rosenthal DI , et al : CT and MR imaging in the local staging of primary malignant musculoskeletal neoplasms : Report of the Radiology Diagnostic Oncology Group. Radiology 1997 ; 202 : 237-246.
- 9 . Manaster JF , Andrews CL , Conway WF , et al : Musculoskeletal radiology. Radiology 1996 ; 198 : 618-621.
- 10 . Pretorius ES , Fishman EK : Helical (spiral) CT of the musculoskeletal system. Radiol Clin North Am 1995 ; 33 : 949-979.

11. Massengill AD, Seeger LL, Eckardt JJ: The role of plain radiography, computed tomography, and magnetic resonance imaging in sarcoma evaluation. *Hematol Oncol Clin North Am* 1995; 9: 571-604.
12. McEnery KW, Wilson AJ, Pilgram TK, et al: Fractures of the tibial plateau: value of spiral CT coronal plane reconstructions for detecting displacement in vitro. *AJR Am J Roentgenol* 1994; 163: 1177-1181.
13. Manaster BJ: CT or MR imaging for further evaluation of known or suspected musculoskeletal lesions. *AJR Am J Roentgenol* 1994; 162: 1244-1245.
14. Magid D: Computed tomographic imaging of the musculoskeletal system. Current status. *Radiol Clin North Am* 1994; 32: 255-274.

(東京慈恵会医科大学 福田国彦)

C. MRI

1. はじめに

MRIは、骨関節疾患の診断法としては、単純X線検査の次に位置づけられる検査法となっている。MRI検査は、磁場強度やアプリケーション、表面コイルの種類など、装置・ソフトウェアにより、画質が著しく異なる検査法である。

骨軟部疾患のMRIで、同一患者を低磁場装置と高磁場装置で直接比較した研究は比較的少ない。MRIのSN比は磁場強度に比例するが、診断能は必ずしもこのような単純な関係にあるのではない。膝関節や肩関節といった関節における比較研究で、低磁場装置と高磁場装置の診断能はほぼ同等であるという結果が報告されている。しかし、一般的には高磁場装置の画質は低磁場装置よりも明らかに優れている。

2. 撮像法

どのような疾患でも、T1、T2強調像が基本となるが、関節疾患では、対象により最適なシーケンスは異なる。例えば、膝半月板の描出には、プロトン密度強調像やT2*強調像が、T1、T2強調像よりも有用性が高い。したがって、細かい撮像法に関しては、部位別、疾患別にプロトコールを設定することが望ましい。高速スピネコー法は、骨軟部疾患でもルーチンに使用可能で、診断能が低下することは少ないと考えられているが、そのためにはエコートレイン数を大きくしないことが大切である。

3. 検査適応

MRIの対象となる骨軟部疾患には、すべての関節の関節疾患（外傷、炎症、変性疾患など）、骨軟部腫瘍、骨髄性疾患、外傷、感染症など、ほぼすべての骨軟部疾患

が含まれる。関節疾患、特に膝MRIの役割は多くの臨床研究により確立され、診断目的の関節鏡は不要になっている。肩関節、股関節でも、MRIは単純X線検査の次に行われるべき検査法になっている。骨軟部の腫瘍性疾患ではほぼ全例でMRIが撮像されている。ただし、単純X線写真で良性腫瘍であることが確実に診断できる場合には、MRIの適応はない。骨髄腫や白血病といった骨髄性疾患の診断あるいは治療経過観察におけるMRIの応用は、導入当初から期待されている領域である。MRIは骨・石灰化が無信号になることから、骨自体の病変には不向きとの見方があったが、X線検査では描出できない骨折の診断に関してはMRIの有用性が広く認識されている。軟部組織の感染症に対するMRIの応用の報告は今のところ比較的限られているが、有用性は高い。

4. 造影剤投与の適応

関節と骨軟部疾患においても、他の領域と同じく、ほとんどすべての解剖学的構造、疾患、あるいは病態を対象に、造影MRIの応用が検討されてきた。その中で造影剤の使用に関して、同意が得られている分野として、次の四つをあげるのが妥当と考えられる。

- 1) 骨軟部腫瘍：腫瘍の進展範囲の診断、特に悪性腫瘍における生存腫瘍と壊死組織、反応層（周囲の浮腫）との鑑別
- 2) 関節疾患：MR関節造影による関節軟骨、関節内靭帯の描出。炎症性関節炎におけるパンヌスの描出
- 3) 感染症：早期診断、進展範囲検索、治療効果判定
- 4) MRアンギオグラフィ：腫瘍血管の評価

5. 禁忌

MRIの一般的な禁忌に準じる。整形外科で用いられる金属製インプラントは、画質低下の原因とはなるが、これによる障害はなく、検査の禁忌とはならない。

<文献>

1. Beltran J, Chandnani V, McGhee R, Jr., et al : Gadopentetate dimeglumine-enhanced MR imaging of the musculoskeletal system. AJR 1991 ; 156 : 457-466.
2. Cotten A, Delfaut E, Demondion X, et al : MR imaging of the knee at 0.2 and 1.5 T : correlation with surgery. AJR 2000 ; 174 : 1093-1097.
3. Escobedo EM, Hunter JC, Zink-Brody GC, et al : Usefulness of turbo spin-echo MR imaging in the evaluation of meniscal tears : comparison with a conventional spin-echo sequence. AJR 1996 ; 167 : 1223-1227.

- 4 . Hopkins KL , Li KC , Bergman G : Gadolinium-DTPA-enhanced magnetic resonance imaging of musculoskeletal infectious processes. Skeletal Radiol 1995 ; 24 : 325-330.
- 5 . Lang P , Honda G , Roberts T , et al : Musculoskeletal neoplasm : perineoplastic edema versus tumor on dynamic postcontrast MR images with spatial mapping of instantaneous enhancement rates. Radiology 1995 ; 197 : 831-839.
- 6 . Maubon AJ , Ferru JM , Berger V , et al : Effect of field strength on MR images : comparison of the same subject at 0.5 , 1.0 , and 1.5 T. Radiographics 1999 ; 19 : 1057-1067.
- 7 . Rubin DA , Kneeland JB , Listerud J : MR diagnosis of meniscal tears of the knee : value of fast spin-echo vs conventional spin-echo pulse sequences. AJR 1994 ; 162 : 1131-1135.
- 8 . Rupp R , Ebraheim NA , Savolaine ER , et al : Magnetic resonance imaging evaluation of the spine with metal implants. General safety and superior imaging with titanium. Spine 1993 ; 18 : 379-385.
- 9 . Towers JD : The use of intravenous contrast in MRI of extremity infection. Semin Ultrasound Ct Mr 1997 ; 18 : 269-275.
- 10 . Vande-Berg BC , Malghem J , Lecouvet FE , et al : Distribution of serouslike bone marrow changes in the lower limbs of patients with anorexia nervosa : predominant involvement of the distal extremities. AJR 1996 ; 166 : 621-625.

(自治医科大学 杉本英治)

D. 超音波検査

1 . はじめに

超音波検査は一般に低侵襲性で安価であり，外来診療や病棟，手術中にも容易に行うことができるので，骨軟部・関節疾患においても施行される機会が増えている。とくに四肢では，患側と健側の比較を容易に行うことができ簡便である。検査の質は術者の技術・経験に左右されることがあり，術者は検査部位の解剖学的知識や疾患に関して習熟する必要がある。

2 . 使用装置

骨軟部・関節領域で用いられる装置はBモード電子リニア，メカニカルセクタおよびアニュアラレイ探触子が適しており，周波数は7.5～10MHzの使用が望まれる。乳児股関節検査には5 MHzが使用されることがある。

3. 手技

1) 一般的な手技

検査は直接皮膚に探触子を当てる接触走査が行われ、皮膚や皮下組織など表層の病変については適切な音響伝播媒体（水嚢やポリマーゲル）を使用する。

2) 超音波ガイド下穿刺・生検術

骨軟部・関節疾患において適切な穿刺部位，生検部位を決定するために多用されるべき安全・簡便な方法である。

3) 造影剤

近年，ガラクトース微粒子を核として微小気泡を形成し造影剤として投与する造影法が一般化しつつある。本法により組織・病変の血流情報を得ることができ。また一方で気泡を用いてハーモニックイメージングを行うことによりS/N比の高い高解像度画像を得る試みが進歩しており，骨軟部領域における応用の可能性がある。

4) ドブラ法

カラードブラ法，パワードブラ法は血流信号を画像化できるので，骨軟部領域においても既存の血管構造の情報，病変の血流の多寡などを知る上で有用である。

4. 維持管理

1) 装置・探触子の管理

装置および探触子の取り扱いは一般的な注意事項に配慮して行われるべきである。

2) 画像の管理

画像はフィルムやその他のハードコピー，またはデジタルデータの記録媒体を用いて適切に保管・管理する。

5. 適応

1) 関節

先天性股関節脱臼

単純性股関節炎

肩腱板障害

2) 軟部組織

軟部腫瘍

軟部膿瘍

筋肉断裂

腱断裂

3) 骨

骨折治癒過程の判定

骨髓炎

4) 生検

軟部腫瘍の生検に際して、適切な生検部位を決定するために超音波ガイドを行うことが推奨される。

<文献>

1. Abiri MM, Kirpekar M, Ablow RC : Osteomyelitis : Detection with US. Radiology 1989 ; 172 ; 509-511.
2. Chhem RK, Kaplan PA, Dussault RG : Ultrasonography of the musculoskeletal system. Radiol Clin North Am 1994 ; 32 ; 275-289.
3. Hoglund M : Ultrasound diagnosis of soft-tissue tumors in the hand and forearm. A prospective study. Acta Radiol 1997 ; 38 ; 508-513.
4. Kaplan PA, Matamoros A, Anderson JC : Sonography of the musculoskeletal system. AJR 1990 ; 155 ; 237-245.
5. Kaplan PA, Anderson JC, Norris MA, et al : Ultrasonography of post-traumatic soft-tissue lesion. Radiol Clin North Am 1989 ; 27 ; 973-982.
6. Lund PJ, Nisbet JK, Valencia FG, et al : Current sonographic applications in orthopedics. AJR 1996 ; 166 ; 889-895.
7. 瀬本喜啓 : 9. 運動器領域 (新超音波医学 4. 産婦人科, 泌尿器科, 体表臓器およびその他の領域). 医学書院, 東京. 2000, 386-395.
8. 平井都始子, 吉川公彦, 大石 元, 他 : 超音波造影剤SH/TA-508の四肢・骨盤領域における有用性の検討. 脈管学1996 ; 36 ; 21-33.

(帝京大学 原澤有美)

E. 核医学検査

1. はじめに

核医学検査では骨病変に対する骨シンチグラフィが大きな割合を占めるが、その他にも腫瘍・炎症シンチグラフィとしてのガリウムシンチグラフィ、骨髄炎の診断における白血球シンチグラフィなど多くの核医学検査が骨軟部領域で施行される。1回の放射性薬剤の投与により全身の骨あるいは軟部組織病変の評価が非侵襲的に可能であり、特に血流、代謝などの機能に関する情報は他の検査では得られ難い。

2. 適応

骨シンチグラフィは、悪性腫瘍における骨転移診断のために施行されることが多いが、その他骨髄炎、ストレス骨折、骨壊死などの診断に広く施行される。一般的

に診断感度は高いが、類骨の活動性および局所血流に応じて放射性薬剤が取り込まれるため、取り込み自体は非特異的であり、臨床情報や他の画像検査所見が重要といえる。炎症性病変では、ガリウム検査や白血球シンチグラフィが施行されるが、慢性炎症では前者が、急性炎症では後者が施行される。腫瘍性疾患においては、ガリウム、タリウム、(MIBI検査)が施行されることもある。組織糖代謝をみる ^{18}F FDG投与によるSPECT検査は、放射性薬剤の配給およびガンマカメラ機能などの環境が整えば、悪性腫瘍の病期判定、再発診断など、適応は広いと考えられる。

3. 検査装置

核医学装置の性能評価法や定期点検の実施方法については日本アイソトープ協会よりガイドラインが示されているが、装置自体のレベルについては明確なもの知られていない。旧式の装置でも症例・適応によっては十分な結果が得られるため、総論的に装置のレベルを規定することは困難であるが、標準的な核医学の検査プロトコルによりすみやかに検査が施行できる装置・環境が望ましい。以下、骨軟部に関係する核医学検査（骨シンチグラフィ、タリウムシンチグラフィ、骨髄シンチグラフィ等）に関連して述べる。

1) コリメータ

骨シンチグラフィ（ ^{99m}Tc -MDPまたは ^{99m}Tc -HMDP）、タリウムシンチグラフィ（ ^{201}Tl Cl）には、低エネルギー用高分解能コリメータを使用する。骨シンチグラフィで、血流像を含める場合には、低エネルギー用汎用コリメータを使用することもある。骨髄シンチグラフィ（塩化インジウム）や白血球シンチグラフィ（ ^{111}In -oxine標識白血球）には、中エネルギー用コリメータを使用するため、これらのコリメータを備えていることが望ましい。

2) ガンマカメラ

- (1) 検査データの保存、検査前後データ処理、適正なフィルミング、PACS化などを考慮した場合、デジタルカメラが望ましい。
- (2) 血流像を含めた動態イメージングでは、標準的な投与量、マトリクスにおいてオーバーフローをきたさないことが必要である。
- (3) SPECT

躯幹部において標準的な投与量、データ収集条件により20～30分でSPECT収集ができること。標準的な前処理フィルタ、スムージング、標準的な再構成フィルタを用いたデータ処理、画像化ができること。

4. 検査方法

「標準的な核医学イメージングプロトコール」参照。

5. 品質管理

性能試験は、米国のNational Electrical Manufactures Association核医学部門から公表されているNEMA規格や日本放射線機器工業会のJESRA規格による方法、日本アイソトープ協会イメージング検査技術専門委員会の「デジタルガンマカメラおよびSPECT装置の定期点検指針」(RI協会法)がある。毎日の点検から、6か月毎の点検まで規定されている。

6. 被曝

放射線を使用する他の検査と同様、核医学検査についても、放射線防護の基本的3原則が適応となる。核医学検査での被験者の被曝は、骨シンチグラフィを例にとると、 ^{99m}Tc 製剤を740MBq投与において、全身の被曝線量は、4 mGy程である。単純X線撮影では、1撮影あたり約0.4~40mGyのレベルであり、骨シンチグラフィで全身骨の画像が得られることを考えると、とくに被曝が多いわけではない。ただし、膀胱・性腺被曝を減らすために、水分摂取や頻回の排尿あるいは尿汚染の留意などを、被験者に指導することが必要である。

妊娠中の検査は、できるだけ避けべきであるが、緊急性のある場合は、十分な説明をおこない患者の同意を得、投与量を最小限にするなどの配慮をする。医療従事者の被曝を少なくする配慮も重要で、放射性薬剤投与時にはシリンジシールドを用いることや、汚染がないように充分注意し指導する。

<文献>

1. (社)日本アイソトープ協会医学・薬学部会、核医学イメージング規格化専門委員会：標準的な核医学イメージングプロトコール(1994年第3次改訂)
RADIOISOTOPES 1994 ; 43 : 81-109 .
2. 尾川浩一：核医学測定装置・利波紀久他編著・最新臨床核医学・第3版・1999 , 51-72 .
3. 松平正道：撮像装置点検マニュアル・利波紀久他編著・最新臨床核医学・第3版・1999 , 698-705.
4. Hines H, et al : Recommendations for implementing SPECT instrumentation quality control. Nuclear Medicine Section--National Electrical Manufacturers Association (NEMA) Eur J Nucl Med 1999 ; 26 : 527-532 .

(聖マリアンナ医科大学 大橋健二郎)

．各論

A. 軟部腫瘍

1．はじめに

軟部組織の腫瘍性病変の術前鑑別診断は困難なことが多く、現行の検査法を用いても画像所見の特異性は高いとは言えない。そのような現状において、病変の部位、範囲および可能な限りの性状診断を行うために無駄のない適切な方法を考慮することが望まれる。

軟部腫瘍の画像診断には以下の撮影法が用いられる。

- 1) 単純X線写真
- 2) CT
- 3) MRI
- 4) 超音波検査
- 5) 核医学検査
- 6) 血管造影

2．臨床所見の重要性

軟部腫瘍は患者もしくは医師が触知することによって発見されることが多い。触診所見、疼痛の有無、皮膚所見の有無などが鑑別診断に有用である。また、臨床経過（発見から受診までの経過、外傷の有無、増大傾向の有無など）も重要である。

3．単純X線撮影の意義

従来から初診時に最初に行われる画像検査法である。その臨床的意義は必ずしも大きいとは言えず、触知できる病変でも単純X線像に描出されない場合が少なくない。そのため、第一に行うべき検査法としてその価値に疑問があるが、石灰化の有無やその形状の診断には有用であり、血管腫や化骨性筋炎など特徴的な石灰化所見を呈する場合にはその後の過剰な検査を防ぐことができる。また、大きさ、発生部位によって良性脂肪腫ではX線透過性の高い腫瘍像が描出されるので特異的診断が可能である。

非特異的な所見を呈する軟部腫瘍では、近傍の骨構造の二次的所見（骨膜反応、骨皮質の侵蝕、破壊など）により、鑑別診断の一助となる。

4．超音波検査の意義

超音波検査は整形外科領域の疾患に対して実際にはあまり広く用いられていない。しかし、病変の存在診断や内部性状を観察する上では初診時に簡便に用いることが

できる。腫瘤性病変の内部性状が嚢胞性か充実性かの鑑別に有用であり、その後の検査の進め方の方向性を考慮するための情報が得られる。

関節周囲の嚢胞性腫瘤は滑膜嚢胞、ガングリオン、半月板嚢胞などがあり、発生部位との関連により診断ができる。嚢胞、膿瘍、血腫の鑑別は必ずしも容易ではないが臨床症状や局所所見を加味することにより診断できる。

四肢の動脈瘤や偽性動脈瘤の診断にも非侵襲的で簡便な診断法である。

5. MRIの意義

軟部腫瘤の画像診断の中心的役割を担うのがMRIである。軟部組織間のコントラストが他の画像診断法に比べて優れており、病変に関して脂肪成分の有無、腫瘍内出血の有無、壊死・嚢胞性変化の有無、周囲組織との境界、進展範囲の描出ができる。また隣接する骨への影響（浸潤、骨膜反応など）周囲筋肉・脂肪織への影響（浸潤、反応性変化、浮腫など）などを描出することができる。これらの所見から病変の部位、範囲、質的診断が行われる。腫瘍の良悪性の鑑別は必ずしも容易ではなく、議論が多い。

一般的に行われる撮像法はT1強調SE法、T2強調SE法（高速SE法を含む）の組み合わせである。その他に脂肪抑制法の併用、造影剤の使用、ダイナミック造影法の併用などが試みられている。

1) 脂肪抑制法の意義

骨軟部領域では、皮下・筋肉間・骨髄の脂肪が高信号強度を呈するので、とくにT2強調像で比較的高信号強度を呈する病変のコントラストが低下したり、造影MRIで軽微な造影効果の評価が困難なことがある。これらの不都合を解消するためにT2強調像または造影T1強調像に脂肪抑制法を併用することが勧められる。化学シフト飽和法による脂肪抑制画像は比較的良好なSN比を保ち、造影MRIにも併用できる。STIR法は比較的短時間で撮像が可能で病変と脂肪組織とのコントラストが良好になるが、装置によってはS/N比が低く、また造影MRIには併用できない。

2) 造影剤（ガドリニウム製剤）使用の適応

軟部腫瘍ではMR所見の特異性の低さから、造影剤投与の適応については議論が多い。充実性腫瘤と嚢胞性腫瘤の鑑別には有用であるが、充実性腫瘤において造影効果の程度やパターンからも特異的な鑑別診断は困難なことが多い。

一方で、造影MRIによって病変の血流の多寡の診断や術後・化学療法後の治療効果の判定、再発病変の診断に有用であり、ダイナミックMRを行うことが勧められている。ダイナミックMRは造影剤の静注（手動注入または自動注入器を用い約1 ml / secで注入）直後から3分または5分後まで連続して撮像を行う。病変の代表的な断面（1～数断面）を選び、約10秒～30秒の撮像法（GRE法またはSE法）を用いる。

造影MRの適応疾患：充実性腫瘍の術前診断

悪性軟部腫瘍の化学療法後の治療効果判定

悪性軟部腫瘍術後の再発の診断

6. CTの意義

MRIが軟部組織の良好なコントラストを描出するので、CTの適応は低減しつつある。

悪性軟部腫瘍の骨や血管への浸潤の評価もMRIでCTと同等以上に評価することができる。

触知される軟部腫瘍

画像検査	適正度	コメント
単純X線撮影	9	腫瘍像の描出 脂肪成分の有無，石灰化の有無 骨の二次性変化（骨膜反応，骨皮質の侵蝕・破壊など）の有無
MRI	9	検査法の第一選択にはならない 腫瘍像の描出 病変の内部性状の診断 周囲組織との関連性の診断
超音波検査	3	腫瘍像の描出 病変内部の性状（充実性，嚢胞性）の診断 石灰化の有無

単純X線で石灰化を含む腫瘍

画像検査	適正度	コメント
CT	5	石灰化の形態，病変内の位置の診断．
MRI	9	病変の部位，範囲，形態の診断 病変内部の性状の診断

単純X線で描出されない病変

画像検査	適正度	コメント
MRI	9	病変の部位，範囲，形態の診断 病変内部の性状の診断
CT	3	MRIに比べて上記の診断能は劣る
超音波検査	4	嚢胞性腫瘍に関して有用 近傍の血管構造との関連性の診断

< 文献 >

- 1 . Aoki T , Nakata H , Watanabe H , et al : The radiological findings in chronic expanding hematoma. Skeletal Radiol 1999 ; 28 ; 396-401.
- 2 . Arkun R , Memis A , Akalin T , et al : Liposarcoma of soft tissue : MRI findings with pathologic correlation. Skeletal Radiol 1997 ; 26 ; 167-172.
- 3 . Berquist TH : Magnetic resonance imaging of primary skeletal neoplasms. Radiol Clin North Am 1993 ; 31 ; 411-424.
- 4 . Crim JR , Seeger LL , Yao L , et al : Diagnosis of soft tissue masses with MR imaging : can benign masses be differentiated from malignant ones? Radiology 1992 ; 185 ; 581-586.
- 5 . Greenspan A , McGahan JP , Vogelsang P , et al : Imaging strategies in the evaluation of soft-tissue hemangiomas of the extremities : correlation of the findings of plain radiography , angiography , CT , MRI , and ultrasonography in 12 histologically proven cases. Skeletal Radiol 1992 ; 21 ; 11-18.
- 6 . 伊藤公一 : 骨・軟部腫瘍におけるMR画像と病理組織像との比較検討 . 日整会誌 1995 ; 69 ; 899-914.
- 7 . Kransdorf MJ , Moser RP , Meis JM , et al : Fat-containing soft tissue masses of the extremities. Radiographics 1991 ; 11 ; 81-106.
- 8 . Kransdorf MJ , Jelinek JS , Moser RP : Imaging of soft tissue tumors. Radiol Clin North Am 1993 ; 31 ; 359-372.
- 9 . Kransdorf MJ , Murphy MD : Imaging of soft tissue tumors (in . Imaging of soft tissue tumors) W.B.Saunders Company, Philadelphia 1997 ; 37-56 .
- 10 . Ma LD , Frassica FJ , Scott WW , et al : Differentiation of benign and malignant musculoskeletal tumors : potential pitfalls with MR imaging. Radiographics 1995 ; 15 ; 349-366.
- 11 . Munk PL , Sallomi DF , Janzen DL , et al : Malignant fibrous histiocytoma of soft tissue imaging with emphasis on MRI. J Comput Assist Tomogr 1998 ; 22 ; 819-826.
- 12 . 西村 浩 , 内田政史 , 迫田 順 , 他 : 軟部腫瘍 . 臨放 1992 ; 37 ; 1427-1447.
- 13 . Panicek DM , Go SD , Healey JH , et al : Soft-tissue sarcoma involving bone or neurovascular structures : MR imaging prognostic factors. Radiology 1997 ; 205 ; 871-875.
- 14 . Teo EL , Strouse PJ , Hernandez RJ : MR imaging differentiation of soft-tissue hemangiomas from malignant soft-tissue masses. AJR 2000 ; 74 ; 1623-1628.
- 15 . Vanel D , Shapeero LG , Tardivon A , et al : Dynamic contrast MRI with subtraction of aggressive soft tissue tumors after resection. Skeletal Radiol 1998 ; 27 ; 505-510.

B. 原発性骨腫瘍の疑い

1. はじめに

痛みや腫脹などの臨床症状から単純X線写真が撮られ、原発性骨腫瘍の画像診断が開始される。まず、骨腫瘍の鑑別診断には患者の年齢や病変の発生部位が重要な情報となる。高齢者では転移性腫瘍や骨髄腫の可能性を常に念頭におくべきである。骨腫瘍の画像診断では単純X線写真による診断法が確立しており、その有用性は今日でも揺るぎないものである。この時点で非腫瘍性病変や良性腫瘍の診断がなされ、過剰な画像検査や生検などの侵襲的な手技を回避することが望ましい。悪性腫瘍が疑われる場合にはさらなる画像検査が必要となるが、良悪性の鑑別において絶対的に信頼性の高い画像検査法はない。むしろ術前の腫瘍進展範囲の把握が目的となり、CTやMRIなどを行うことになる。

2. 単純X線写真

骨腫瘍の良悪性を鑑別する最も信頼のおける画像所見は、長年にわたり病理像との対比がなされてきた骨基質の変化である^{1,2)}。すなわち、単純X線写真における骨吸収の辺縁の性状や骨膜反応の解析が現在でも非常に重要である。組織型の鑑別診断においては、おもに細胞間基質の石灰化のパターンから骨産生腫瘍や軟骨産生腫瘍が鑑別される。四肢の長管骨や短骨に発生した腫瘍では、単純X線写真のみでかなりの質的診断を下すことができる。逆に、躯幹骨や扁平骨の骨基質の変化や石灰化の診断には不十分なことが多い。

良性、悪性にかかわらず、術前の腫瘍進展範囲の診断には単純X線写真のみでは不十分なことが多い。

3. CT

CTも基本的には組織のX線吸収値に基づいた画像であるため、その診断は断層面上に単純X線写真の診断法を応用するものである。特に躯幹骨や扁平骨において、骨基質の微細な破壊像や淡い石灰化基質の性状をみるにはCTが有用である²⁾。長管骨の腫瘍においてはCTによる付加情報は少ない。石灰化の診断が主目的であるため、骨ウィンドウによる表示が望ましく、ヨード造影剤の使用もほとんどの場合必要とならない。MRIの出現以来、骨腫瘍の進展範囲の診断におけるCTの役割は減少した。

4. MRI

MRI画像は組織のX線吸収値とは異なる要素から構成されており、骨腫瘍の画像診断に新たな視点を与える。軟部組織のコントラスト分解能に優れ、多方向の断

層像が得られるため、骨腫瘍の組織型の鑑別診断や進展範囲の診断に威力を発揮する^{2,3)}。まれではあるが、骨シンチグラム陰性の骨腫瘍の存在診断にも有用である^{4,5)}。

残念ながら、MRIの信号強度や内部構造、いわゆる周辺反応層の存在などが良悪性の鑑別には役立たないことはすでに定着している^{2,3,6,7)}。これに対して、MRIにより液体成分や軟骨基質、血液・血管成分、脂肪成分などがより明瞭に描出されるようになり、組織型の鑑別の幅は広がった^{8~11)}。良性骨腫瘍が疑われる場合にも、組織型の鑑別診断のためMRIが行われることがある。

骨腫瘍の術前には進展範囲の正確な把握が必要であり、特に主要な血管や神経、関節との関係を評価して、出来る限り患肢の機能温存が図られる。このためには、軟部組織のコントラスト分解能に優れ、多方向の断層像が得られるMRIが最も重要な検査である^{12,13)}。通常、スピンエコー法のT1, T2強調像にガドリニウム造影を加える。横断像が基本であり、矢状断像や冠状断像を適宜追加する。STIR法や他の脂肪抑制法の併用も有効である。

5. 血管造影

現在、血管造影は骨腫瘍の鑑別診断の目的には用いられていない。術前のマッピングとして外科医より必要とされることがある。

6. 核医学

骨基質に微細な変化しか来さない骨腫瘍の存在診断には、局所の骨代謝の変化を鋭敏に反映する骨シンチグラムが有用である¹⁴⁾。転移性骨腫瘍の診断には非常に有用な検査であるが、原発性骨腫瘍の鑑別診断や進展範囲の診断には用いられない。

7. 超音波

骨腫瘍の疑いにおいて超音波の果たす役割はほとんどない。

原発性骨腫瘍の疑い：初回検査

画像検査	適正度	コメント
単純X線写真	9	
CT	1	
MRI	1	
血管造影	1	
核医学	1	
超音波	1	

原発性骨腫瘍の疑い：臨床的に疑われ単純X線写真で所見のない場合

単純X線写真（済み）

画像検査	適正度	コメント
CT	1	
MRI	8	
血管造影	1	
核医学	8	
超音波	1	

原発性骨腫瘍の疑い：長管骨，良性所見 単純X線写真（済み）

画像検査 適正度 コメント

CT	3	組織型の鑑別のため，あるいは術前の進展範囲の診断として。
MRI	3	組織型の鑑別のため．あるいは術前の進展範囲の診断として。
血管造影	2	術前検査として。
核医学	1	
超音波	1	

原発性骨腫瘍の疑い：長管骨，悪性疑い 単純X線写真（済み）

画像検査 適正度 コメント

CT	4	組織型の鑑別のため。
MRI	9	術前の進展範囲の診断として。
血管造影	3	術前検査として。
核医学	2	多発病変の除外。
超音波	1	

原発性骨腫瘍の疑い：躯幹骨あるいは扁平骨，良性所見 単純X線写真（済み）

画像検査 適正度 コメント

CT	7	組織型の鑑別のため，あるいは術前の進展範囲の診断として。
MRI	3	組織型の鑑別のため，あるいは術前の進展範囲の診断として。
血管造影	1	
核医学	1	
超音波	1	

原発性骨腫瘍の疑い：躯幹骨あるいは扁平骨，悪性所見 単純X線写真（済み）

画像検査	適正度	コメント
CT	7	組織型の鑑別のため，あるいは術前の進展範囲の診断として。
MRI	9	組織型の鑑別のため，あるいは術前の進展範囲の診断として。
血管造影	3	術前検査として。
核医学	2	多発病変の除外。
超音波	1	

<文献>

- 1 . Moser RP , Madewell JE : An approach to primary bone tumors. Radiol Clin North Am 1987 ; 25 : 1049-1093 .
- 2 . Vanel D , Verstraete KL , Shapeero LG : Primary tumors of the musculoskeletal system. Radiol Clin North Am 1997 ; 35 : 213-237 .
- 3 . Dalinka MK , Zlatkin MB , Chao P , et al : The use of magnetic resonance imaging in the evaluation of bone and soft-tissue tumor. Radiol Clin North Am 1990 ; 28 : 461-470 .
- 4 . Jelinek JS , Redmond J , Perry JJ , et al : Small cell lung cancer : staging with MR imaging. Radiology 1990 ; 177 : 837-842 .
- 5 . Colletti PM , Dang HT , Deseran MW , et al : Spinal MR imaging in suspected metastases : correlation with skeletal scintigraphy. Magn Res Imag 1991 ; 9 : 349-355 .
- 6 . Petterson H , Slone RM , Spanier S , et al : Muskuloskeletal tumors : T1 and T2 relaxation times. Radiology 1988 ; 167 : 783-785 .
- 7 . 内田政史 : 原発性骨・軟部腫瘍のMRI . 日医放会誌 1990 ; 50 : 637-648 .
- 8 . Cohen EK , Kressel HY , Frank TS , et al : Hyaline cartilage-origin bone and soft-tissue neoplasms : MR appearance and histologic correlation. Radiology 1988 ; 167 : 477-481 .
- 9 . Tsai JC , Dalinka MK , Fallon M , et al : Fluid-fluid level : a nonspecific finding in tumors of bone and soft tissue. Radiology 1990 ; 175 : 779-782 .
- 10 . Aoki J , Tanikawa H , Ishii K , et al : MR findings indicative of hemosiderin in giant-cell tumor of bone : frequency , causes , and diagnostic significance. AJR 1996 ; 166 : 145-148 .
- 11 . Laredo J-D , Assouline E , Gerbert F , et al : Vertebral hemangioma : fat content as a sign of aggressiveness. Radiology 1990 ; 177 : 467-472 .

12. Bloem JL, Taminiau AHM, Eulderink F, et al : Radiologic staging of primary bone sarcoma : MR imaging, scintigraphy, angiography, and CT correlated with pathologic examination. Radiology 1988 ; 169 : 805-810 .
13. Gillespy T, Manfrini M, Ruggieri P, et al : Staging of intraosseous extent of osteosarcoma : correlation of preoperative CT and MR imaging with pathologic macroslices. Radiology 1988 ; 167 : 765-767 .
14. Vande Streek PR, Carretta RF, Weiland FL : Nuclear medicine approaches to musculoskeletal disease : current status. Radiol Clin North Am 1994 ; 32 : 227-254 .

(群馬大学 青木 純)

C. 原発性悪性骨腫瘍，化学療法の治療効果判定

1. はじめに

骨肉腫における術前化学療法的確な効果判定は，術後化学療法の選択，患肢温存手術の適応を含めた手術術式の決定，および予後の推測のうえで欠かすことができない。現在，骨肉腫の術前化学療法の臨床的效果判定は，身体所見，生化学所見，画像診断が用いられ，最終的な判定は，切除材料の腫瘍最大割面における病理組織学的壊死率を求めて行われる。Raymondによれば，病理組織学的に90%以上の壊死率が得られていれば，91%の症例において長期のdisease-free survivalが得られる。一方，90%以下の壊死率ではわずか14%の症例においてのみdisease-free survivalが得られるにすぎない。病理組織学的判定は最も信頼性の高い方法ながら，標本作製，壊死領域のマッピングなどに時間を要するため，より迅速かつ簡便で信頼性に耐え得る効果判定が臨床的に求められている。

2. 単純X線写真とCT

単純X線写真やCTでは，骨外腫瘍の大きさの縮小，骨外腫瘍の表面に沿った殻状の骨膜骨形成，腫瘍辺縁での反応性骨硬化の出現，腫瘍内石灰沈着の増強が良好な化学療法の効果を反映するといわれている。しかしながらこれらは信頼性のある所見とは言えず，大まかな治療効果の傾向を示すにとどまる。極端な腫瘍容積の縮小を示す症例においても残存腫瘍を認めることや，一方，腫瘍の増大がみられても腫瘍内出血に起因していることもある。またEwing肉腫の治療後には骨粗鬆症を認め，後に骨梁の硬化や骨壊死をきたすことがある。

3. 血管造影

血管造影は化学療法に伴う腫瘍血管や腫瘍濃染の減少が良好な治療効果を反映

し、かつ腫瘍血管および腫瘍滲染の残存の程度と分布とが、生きた腫瘍組織の分布と比較的よく相関することから、ある程度腫瘍壊死の定量的評価が可能とされている。そのため、1980年代には血管造影による評価が行われていた。しかしながらこの方法は侵襲的検査であるため、現在は後述するダイナミックMRIにより置換される傾向にある。

4. 超音波検査

Bモードとドプラによる超音波検査は非侵襲的で繰り返し行える利点がある。骨外腫瘍成分の評価に有効であるが、検査の対象が骨外成分に限られることと、評価が術者に依存し客観性に欠けることが欠点である。今後、超音波造影剤を利用した腫瘍血管に関する臨床研究が行われると考える。

5. 核医学検査

^{99m}Tc -MDPによる骨シンチグラフィ、 ^{67}Ga シンチグラフィ、 ^{201}Tl シンチグラフィ、MIBI-SPECTの中では、 ^{201}Tl シンチグラフィが化学療法の治療効果を比較的反映している。最近では、FDG-PETの有用性に関する報告が増えている。

6. MRスペクトロスコピー

治療効果をよく反映するという短期的な研究報告はあるが、予後との関係における評価はまだ十分なされていない。

7. MRI

MRIは骨外腫瘍の大きさの変化、骨髄内浮腫の変化、腫瘍反応層の評価が非侵襲的に行える。即ち、骨外腫瘍の縮小と骨髄内浮腫の消失および病変辺縁の明瞭化はいずれも良好な治療効果を反映していると考えられる。しかしながら、骨髄内の信号強度の変化や造影剤による増強効果については治療効果との相関性がみられない。

ダイナミックMRIは腫瘍血管の増生状態、腫瘍における造影剤の透過性、および腫瘍壊死を評価することができる。ダイナミックMRIは、従来の血管造影を置換する非侵襲性検査となりつつある。

8. まとめ

悪性骨腫瘍の化学療法の治療効果判定には単純X線写真で全体像の把握をしつつ、化学療法開始前、開始後比較的早期、および化学療法終了時にダイナミックMRIを施行することが役に立つと考える。CTと超音波検査の有効性は限られている。血管造影は非侵襲的なダイナミックMRIにより置換され得る検査である。FDG-PETについては、今後の研究成果が待たれる。

悪性骨腫瘍の化学療法の治療効果判定

画像検査	適正度	コメント
単純X線写真	9	全体像の把握に有用である
ダイナミックMRI	8	通常のMRIはほとんど有用性を認めない
腫瘍シンチグラム	4	
(^{67}Ga , ^{201}Tl , MIBI-SPECT , FDG-PET)		
骨シンチグラム	1	
CT	1	
血管造影	1	
超音波検査	1	

<文献>

- 1 . Chuang VP , Benjamin R , Faffe N , et al : Radiographic and Angiographic Changes in Osteosarcoma after Intraarterial Chemotherapy. AJR 1982 ; 139 : 1065-1069.
- 2 . Rosen G , Caparros B , Huvos AG , et al : Preoperative Chemotherapy for Osteogenic Sarcoma : Selection of Postoperative Adjuvant Chemotherapy Based on the Response of the Primary Tumor to Preoperative Chemotherapy. Cancer 1982 ; 49 : 1221-1230.
- 3 . Smith J , Heelan RT , Huvos AG , et al : Radiographic Changes in Primary Osteogenic Sarcoma Following Intensive Chemotherapy. Radiology 1982 ; 143 : 355-360.
- 4 . Shirkhoda A , Jaffe N , Wallace S , et al : Computed Tomography of Osteosarcoma after Intraarterial Chemotherapy. AJR 1985 ; 144 : 95-99.
- 5 . Kumpan W , Lechner G , Witich GR , et al : The angiographic response of osteosarcoma following pre-operative chemotherapy. Skeletal Radiology 1986 ; 15 : 96-102.
- 6 . Raymond AK , Chawla SP , Carrasco CH , et al : Osteosarcoma Chemotherapy Effect : A Prognostic Factor. Seminars in Diagnostic Pathology 1987 ; 4 : 212-236.
- 7 . Erlemann R , Reiser MF , Peters PE , et al : Musculoskeletal Neoplasms : Static and Dynamic Gd-DTPA - enhanced MR Imaging. Radiology 1989 ; 171 : 767-773.
- 8 . Carrasco CH , Charnsangavej C , Raymond AK , et al : Osteosarcoma : Angiographic Assessment of Response to Preoperative Chemotherapy. Radiology 1989 ; 170 : 839-842.
- 9 . Erlemann R , Reiser MF , Peters PE , et al : Musculoskeletal Neoplasms : Static and Dynamic Gd-DTPA - enhanced MR Imaging. Radiology 1989 ; 171 : 767-773.
- 10 . Holscher HC , Bloem JL , Nooy MA , et al : The Value of MR Imaging in

- Monitoring the Effect of Chemotherapy on Bone Sarcomas. *AJR* 1990 ; 154 : 763-769.
- 11 . Erlemann R , Sciuk J , Bosse A , et al : Response of Osteosarcoma and Ewing Sarcoma to Preoperative Chemotherapy : Assessment with Dynamic and Static MR Imaging and Skeletal Scintigraphy. *Radiology* 1990 ; 175 : 791-796.
 - 12 . Pan G , Raymond AK , Carrasco CH , et al : Osteosarcoma : MR Imaging after Preoperative Chemotherapy. *Radiology* 1990 ; 174 : 517-526.
 - 13 . Sanchez RB , Quinn SF , Walling A , et al : Musculoskeletal Neoplasms after Intraarterial Chemotherapy : Correlation of MR Images with Pathologic Specimens. *Radiology* 1990 ; 174 : 237-240.
 - 14 . Ramanna L , Waxman A , Binney G , et al : Thallium-201 Scintigraphy in Bone Sarcoma : Comparison with Gallium-67 and Technetium-MDP in the Evaluation of Chemotherapeutic Response. *The Journal of Nuclear Medicine* 1990 ; 31 : 567-572.
 - 15 . Seeger LL , Widoff B , Bassett LW , et al : Preoperative Evaluation of Osteosarcoma : Value of Gadopentetate Dimeglumine-Enhanced MR Imaging. *AJR* 1991 ; 157 : 347-351.
 - 16 . Ehara S , Kattapuram SV , Eggin TK , et al : Ewing's Sarcoma : Radiographic Pattern of Healing and Bony Complications in Patients with Long-Term Survival. *Cancer* 1991 ; 68 : 1531-1535.
 - 17 . Baere TD , Vanel D , Shapeero LG , et al : Osteosarcoma after Chemotherapy : Evaluation with Contrast Material-enhanced Subtraction MR Imaging. *Radiology* 1992 ; 185 : 587-592.
 - 18 . MacVicar AD , Olliff JFC , Pringle J , et al : Ewing sarcoma : MR imaging of chemotherapy-induced changes with histologic correlation. *Radiology* 1992 ; 184 : 859-864.
 - 19 . van der Woude HJ , Bloem JL , Holscher HC , et al : Monitoring the effect of chemotherapy in Ewing's sarcoma of bone with MR imaging. *Skeletal Radiol* 1994 ; 23 : 493-500.
 - 20 . Wellings RM , Davies AM , Pynsen PB , et al : The value of computed tomographic measurements in osteosarcoma as a predictor of response to adjuvant chemotherapy. *Clin Radiol* 1994 ; 49 : 19-23.
 - 21 . van der Woude HJ , Bloem JL , van Oostayen JA , et al : Treatment of High-Grade Bone Sarcoma with Neoadjuvant Chemotherapy : The Utility of Sequential Color Doppler Sonography in Predicting Histopathologic Response. *AJR* 1995 ; 165 : 125-133.
 - 22 . Lang P , Honda G , Roberts T , et al : Musculoskeletal Neoplasm : Perineoplastic

- edema versus Tumor on Dynamic Postcontrast MR Images with Spatial Mapping of Instantaneous Enhancement Rates. *Radiology* 1995 ; 197 : 831-839.
- 23 . van der Woude HJ , Bloem JL , Verstraete KL , et al : Osteosarcoma and Ewing's Sarcoma After Neoadjuvant Chemotherapy : Value of Dynamic MR Imaging in Detecting Viable Tumor Before Surgery. *AJR* 1995 ; 165 : 593-538.
- 24 . Kinoshita T , Tatezaki S , Matsuzaki O , et al : Ultrasonographic monitoring of the effects of preoperative chemotherapy in osteosarcoma and Ewing's sarcoma. *International Orthopaedics* 1995 ; 19 : 312-314.
- 25 . Lang P , Vahlensieck M , Matthay KK , et al : Monitoring Neovascularity as an Indicator of Response to Chemotherapy in Osteogenic and Ewing Sarcoma Using Magnetic Resonance Angiography. *Medical and Pediatric Oncology* 1996 ; 26 : 329-333.
- 26 . Soderlund V , Larsson SA , Bauer HCF , et al : Use of ^{99m}Tc -MIBI scintigraphy in the evaluation of the response of osteosarcoma to chemotherapy. *Eur J Nucl Med* 1997 ; 24 : 511-515.
- 27 . Kobayashi Y , Ozaki T , Takeda T , et al : Evaluation of the effects of preoperative chemotherapy in bone sarcomas. *Acta Orthop Scand* 1998 ; 69 : 611-616.
- 28 . Ozacan Z , Burak Z , Kumanlioglu K , et al : Assessment of chemotherapy-induced changes in bone sarcomas : Clinical experience with ^{99m}Tc -MDP three-phase dynamic bone scintigraphy. *Nuclear Medicine Communications* 1999 ; 20 : 41-48.
- 29 . Ongolo-zogo P , Sau TJ , Desuzinges C , et al : Assessment of osteosarcoma response to neoadjuvant chemotherapy : comparative usefulness of dynamic gadolinium-enhanced spin-echo magnetic resonance imaging and technetium-99m skeletal angioscintigraphy. *Eur Radiol* 1999 ; 9 : 907-914.
- 30 . Khadrawy AME , Hoffer FA , Reddick WE : Ewing's sarcoma recurrence vs radiation necrosis in dynamic contrast enhanced MR imaging : a case report. *Pediatr Radiol* 1999 ; 29 : 272-274.
- 31 . Kunisada T , Ozaki T , Kawai A , et al : Imaging Assessment of the Responses of Osteosarcoma Patients to preoperative Chemotherapy. *CANCER* 1999 ; 86 : 949-956.
- 32 . Abudu A , Davies AM , Pynsent PB , et al : Tumour volume as a predictor of necrosis after chemotherapy in Ewing's sarcoma. *J Bone Joint Surg* 1999 ; 81-B : 317-322.

D. 骨転移における骨シンチグラムの適応

1. はじめに

このガイドラインは、現在の検査方法や適応の標準を明示することを目指したのではなく、今日多様化された画像診断法の中で、骨転移の評価のために骨シンチグラムを有効に利用するための手引きとなることを目的としている。

^{99m}Tc のリン酸化合物による骨シンチグラムは骨病変の検出に有用な検査である。特に転移性骨腫瘍の検出能においては、単純X線撮影の感度より優れていることが一般的に知られている。悪性腫瘍の既往のある患者における骨転移の検索は、次のような点で患者のケアに有用である。

- 1) 原発巣の治療に際しての病期分類
- 2) 症状のない潜在性骨転移の検索
- 3) 悪性腫瘍の既往のある患者で単発性骨病変を発見した際の鑑別診断

骨シンチグラムによる治療後の経過観察については、一部で行われているが、議論の余地がある。この点については後述する。

2. 発生部位

- 1) 悪性腫瘍の骨への転移の好発部位は脊椎、骨盤、胸郭、それに頭蓋を中心とした体幹部、および上腕骨と大腿骨の近位部である。体幹部の異常の検出には単純X線撮影は必ずしも十分には鋭敏ではないため、骨シンチグラムがほとんどの場合に適応となる。
- 2) 脊椎は転移の好発部位であるが、単純X線撮影の感度の低い部位であり、骨シンチグラムは有用である。ただし、変形性脊椎症との鑑別が問題となることが多いため、特異度は必ずしも高くない。今日MRIで脊椎を広範囲にカバーすることが可能であり、脊椎に限定した場合、どちらでスクリーニングするかは議論の余地がある。
- 3) 骨盤および胸郭も転移の好発部位であるが、腸骨も肋骨も扁平なため単純X線撮影は必ずしも鋭敏ではなく、またMRIも十分な解像がえられないため、骨シンチグラムが特に有用な部位である。CTはこのような部位の評価に適しているが、マルチスライスCTが普及することによって、体幹部が容易に広範囲にカバーできるようになると、スクリーニングの方法としてどちらが優れているかはやがて問題となるかもしれない。
- 4) 四肢末梢の骨への転移の頻度は低く転移全体の13%程度とされているが、肺癌のみ例外的に四肢末梢に高い転移の頻度がある¹⁾。しかし、通常単純X線撮影による骨検索では、四肢末梢は十分に含まれないため、骨シンチグラムの全身検

索が可能な特徴が十分に生かせる部位である。また、ACRの適応基準では、転移を有する患者の四肢長管骨の病的骨折の症例は、骨シンチグラムによる全身骨検索の適応となるとしている²⁾。

3. 無症状の転移の検索

骨シンチグラムを無症状の骨転移の検索に用いることの意義は、早期発見により予後の改善が可能であるという前提に基づいている。しかし、その十分な根拠は見出されていない。早期の転移性病変発見が予後の改善に役立っているという客観的なデータが、今後の研究により明らかにされる必要がある。

ベースライン検査として、骨転移の可能性が低い初期の段階で骨シンチグラムを撮影することは比較検討に役立つ。しかし、肋骨の潜在骨折を除いては、単純X線撮影などとの相関によって診断が可能であり、ベースライン検査をルーチンに施行することは一般的には推奨されない。

4. 骨転移の種類

- 1) 溶骨性転移と硬化性転移：硬化性転移は核種をもっとも強力に集積し、陽性率の高い病変である。それに対して溶骨性変化の強い病変では、骨破壊の強い病変の中心では集積が減少することがあり、典型的にはcold lesionとなる。これは時に偽陰性の原因となる。一般的に転移巣への集積は、集積の低い骨破壊部と集積の高い硬化性病変部および病変周囲の集積の混在により成り立っており、集積の高さと病変の大きさは単純には関連しない。
- 2) 単発性転移：今日の検査法では単発性骨転移の頻度は、骨シンチグラムを用いた検討では10%程度と低い³⁾。また、悪性腫瘍の既往のある患者で骨シンチグラムで診断された単発性の脊椎圧迫骨折の症例に占める転移の頻度は、わずかに10%を上回る程度とされている³⁾。単発性の肋骨病変を骨シンチグラムでみることは多いが、転移である可能性は10%ないしそれ以下である⁴⁾。そのため、悪性腫瘍の既往を有する成人患者の単発性骨病変では、骨シンチグラムにより全身の骨検索を行うことは鑑別診断としても有効な手段である。ただし乳癌は例外であり、単発性骨病変としてみられた転移は21%に上り、特に脊椎に好発すると報告されている⁵⁾。また、乳癌患者の胸骨の単発性集積は80%において転移であったと報告されている⁶⁾。
- 3) びまん性骨転移：広範な転移が起これると、骨への集積の上昇がびまん性になり、病変部と健常部とのコントラストがつかないため、偽陰性の原因となりうる。その極端な例がsuper bone scanである。
- 4) 骨髄浸潤と骨梁間転移：多発性骨髄腫や白血病以外の腫瘍でも、たとえば肺小

細胞癌，肝癌などでは初期には骨梁に沿って浸潤し，骨梁間転移としてみられることがある。このような転移は単純X線撮影でみえないばかりか，骨シンチグラム像も陰性となる⁷⁾。また粘液型脂肪肉腫でも骨シンチグラム上の異常を呈すること無く広範な骨髄への転移を来すことが知られている。このような腫瘍のステージングにはMRIが必要となる⁸⁾。

- 5) 骨転移を初発とする悪性腫瘍：悪性腫瘍の既往のない骨の症状を訴える50歳以上の患者において，骨シンチグラムにより，転移性腫瘍が10%程度に発見されたとする報告がある³⁾。このような悪性腫瘍の既往のない患者で，骨に関連する症状をもつ患者には骨シンチグラムは推奨されておらず，その意義はさらに検討される必要がある。

5. 腫瘍の原発

骨転移を起こし易い腫瘍は，前立腺癌と乳癌であり，肺，消化管，腎，肝臓，膵臓がそれに次ぐ。

- 1) 前立腺癌：前立腺癌では無症状に進行する骨転移が多く，骨シンチグラムのよい適応であった。しかし，今日PSAによるスクリーニングがきわめて有用である⁹⁾。PSAが 0.3ng/ml 以下では骨転移の可能性は極めて低いとされているが，ACRの基準では 10ng/ml では適応とはならず， 20ng/ml を越えてはじめて骨シンチグラムの適応とならしている²⁾。
- 2) 乳癌：乳癌も前立腺癌と並んで無症状のうちに進行する癌が多く，骨シンチグラムのよい適応とされていたが，活発なマンモグラフィによるスクリーニングが行われ，早期の乳癌の頻度が高くなる傾向にある。今日，初期の乳癌で無症状の例では，骨シンチグラムは適応とはならない¹⁰⁾。ACRの基準ではstage の乳癌は骨シンチグラムの適応としていない。実際にはstage の乳癌を合わせても骨転移の頻度は5%に至らないとされている³⁾。従って，ACRの基準ではstage で症状があるもののみを骨シンチグラムの適応としている²⁾。
- 3) 肺癌：非小細胞癌の術前ステージングにおいては，CTにより小さいうちに原発巣が発見され，最初に転移をおこす肺門や縦隔のリンパ節の評価が容易になったことから，骨シンチグラムの役割は必ずしも大きいわけではない。小細胞癌では転移の頻度が高く，早期から高い陽性率があり，治療の適応を考慮する場合のステージングに役立つ。ただし，骨シンチグラムによる経過観察に関する十分な報告はなく，ルーチンの経過観察に加えることについては議論の余地がある。
- 4) 骨肉腫：間葉系由来の骨・軟部肉腫の骨転移は通常極めてまれなため，骨シンチグラムの適応とはならない。ただし，骨肉腫だけは例外で，腫瘍自体が核種を取り込むため，原発巣，骨転移のみならず軟部組織，リンパ節，各臓器の転移巣

まで検索が可能であり、有用性が認められている。また骨肉腫では肺転移を生ずる前に骨に潜在的な転移巣がみられるという報告があり¹¹⁾、ACRの基準でも骨シンチグラムの施行を推奨している²⁾。

- 5) 造血器腫瘍：多発性骨髄腫や悪性リンパ腫のような造血組織由来の腫瘍は陽性率が低い¹²⁾、肋骨、胸骨や肩周囲のように特に評価の困難な部位でなければ適応とはならない。ACRの適応基準では多発性骨髄腫の広がり¹²⁾の検索には骨シンチグラムを推奨していない²⁾。Langerhans型組織球症でも同様に陽性率が低く骨シンチグラムは有用ではないとされている¹³⁾。ただしEwing肉腫は単発性病変として始まり骨転移を来すので、転移の評価に役立つ¹⁴⁾。
- 6) 腎癌：潜在性骨転移の頻度が低く、骨シンチグラムのルーチンの使用は推奨されていない。
- 7) 甲状腺癌、特に乳頭状腺癌や濾胞腺癌では、腫瘍に特異的に取り込まれる¹³¹Iが用いられ、^{99m}Tcリン酸化合物による骨シンチグラムは転移巣の確認以上の役割はなく、転移巣の検索には通常適応とはならない。

6. 経過観察

治療との関連は集積の程度の消長により骨シンチグラムでも評価できる。特に放射線治療後では、集積が低下するのが観察される。しかし、治療に反応して一過性に集積が増大したり(flare phenomenon)、骨転移が必ずしも予後決定因子ではないため、予後との相関が十分に証明できないこともあって、あまり積極的には利用されていない。治療効果の判定には多くの場合単純X線撮影が用いられるが、骨病変の治療後の変化は病変の辺縁に限定され、病変自体の正常な骨への回復はほとんどの場合、不十分、不完全であり、予後の一般的に短い転移性骨病変では大きな変化は通常期待できない。

<文献>

1. Krishnamurthy GT, Tubis M, Hiss J, et al : Distribution pattern of metastatic bone disease. JAMA 1977 ; 273 : 2504-2506.
2. ACR Appropriateness Criteria : Metastatic bone disease. ACR, Reston VA, 1995.
3. Jacobson AF : Bone scanning in metastatic disease. Collier BD, Fogelman I, Rosenthal L (eds) Skeletal nuclear medicine. St. Louis : Mosby-Year Book 1996 : 87-123.
4. Tumei SS, Beadle G, Kaplan WD : Clinical significance of solitary rib lesions in patients with extraskeletal malignancy. J Nucl Med 1985 ; 26 : 1140-1143.
5. Boxer DI, Todd CEC, Coleman R, et al : Bone secondaries in breast cancer : the solitary metastasis. J Nucl Med 1989 ; 30 : 1318-1320.

- 6 . Kawi AH , Stomper PC , Kaplan WD : Clinical significance of isolated scintigraphic sternal lesions in patients with breast cancer. J Nucl Med 1988 ; 29 : 324-328.
- 7 . Yamaguchi T , Tamai K , Yamato M , et al : Intertrabecular pattern of tumors metastatic to bone. Cancer 1996 ; 78 : 1338-1394.
- 8 . Kattapuram SV , Khurana JS , Scott SA , et al : Negative scintigraphy with positive magnetic resonance imaging in bone metastases. Skeletal Radiol 1990 ; 19 : 113-116.
- 9 . Terris MK , Klonecke AS , McDougall R , et al : Utilization of bone scans in conjunction with prostate-specific antigen levels in the surveillance for recurrence of adenocarcinoma after radical prostatectomy. J Nucl Med 1991 ; 32 : 1713-1717.
- 10 . Coleman RE , Rubens RD , Fogelman I : Reappraisal of the baseline bone scan in breast cancer. J Nucl Med 1988 ; 29 : 1045-1049.
- 11 . Goldstein H , McNeil BJ , Zufall E , et al : Changing indications for bone scintigraphy in patients with osteosarcoma. Radiology 1980 ; 135 : 177-180.
- 12 . Woolfendon JM , Pitt MJ , Durie BG , et al : Comparison of bone scintigraphy and radiography in multiple myeloma. Radiology 1980 ; 134 : 723-728.
- 13 . Siddiqui AR , Tashjian JM , Lazarus K , et al : Nuclear medicine studies in evaluation of skeletal lesions in children with histiocytosis X. Radiology 1981 ; 140 : 787-789.
- 14 . Frankel RS , Jones AE , Cohen JA , et al : Clinical correlation of ⁶⁷Ga and skeletal whole body radionuclide studies with radiography in Ewing's sarcoma. Radiology 1974 ; 110 : 597-603.

(江原 茂)

E. 大腿骨頭壊死

1 . はじめに

大腿骨頭の無腐性壊死は比較的頻度の高い疾患で、その病態は骨髄の細胞成分の壊死である。無腐性壊死のリスクファクターは股関節脱臼、大腿骨頸部骨折、副腎皮質ホルモンの服用、膠原病、血色素症など無数にある。若年成人期に大腿骨頭の二次的な圧潰により全関節置換術の必要にせまられることもあるなど保健衛生上重要な問題である。無腐性壊死の原因のうち非外傷性では両側性のことが多く、障害の程度はさらに増す。

2. 無腐性壊死の診断法

無腐性壊死に特異的な理学所見や検査データはないので、臨床的に無腐性壊死が疑われたときに画像診断が生検以外に確定診断可能な方法はない。画像診断法としては単純X線写真、断層撮影、コンピュータX線断層(CT)、核医学検査、磁気共鳴画像(MRI)がある。これらの方法は費用、診断の正確度、提供される情報の点でかなり違いがある。

3. 無腐性壊死診断の重要性

無腐性壊死の治療法としてCore decompression, 遊離骨移植, 血管柄付き骨移植, 骨軟骨同種移植, 骨切り術, 電気刺激が推奨されてきたが, 最適な治療法については未だに議論がされている。いずれの治療法を選択するにせよ無腐性壊死の早期診断と病期診断は以下の2つの理由から重要である。第一に患者の股関節痛の原因が無腐性壊死であると診断されれば, その他の感染, 腫瘍, 潜在骨折などの特異的な治療を必要とする疾患を除外することができる。第二に無腐性壊死の正確な診断と病期診断は新しい治療法の有効性を判定する上で基本となる。

4. 単純X線写真

単純X線写真は最も安価で, 広く普及している画像診断法である。単純X線写真は無腐性壊死が疑われた患者について最初の検査として行われるべきである。大腿骨頭の無腐性壊死のX線所見はよく知られているが, それぞれの方向の撮影について診断的有効性を検証した研究はない。軟骨下骨折あるいは皮質の圧潰はいずれか一方の画像でしか認められないことがあるので, 一般的には正面像とfrogleg側面像の両方が必要と考えられる。断層撮影は骨頭の圧潰の程度を把握するため用いられることがあるが, 無腐性壊死における感受性, 特異性を検証した研究はない。

5. CT

CTは無腐性壊死の診断において骨シンチグラムやMRIよりも感受性は低いが, 正診率は単純写真と同等か優れている。CTの主な役割は二次的な変形性関節症の重症度と大腿骨頭の圧潰の範囲を決定することにある。この情報は骨切り術や関節置換術の手術計画に役立つ。

6. 骨シンチグラムとMRI

X線写真上異常のない無腐性壊死の診断において, 骨シンチグラムとMRIはいずれも感受性の高い検査である。しかしMRIの方が骨シンチグラムよりも感受性, 特異性いずれも高く, 優れた検査である。MRIの感受性は88~100%であるのに対し

て、骨シンチグラムでは72～87%である。SPECTを加えることで骨シンチグラムの感受性は改善されるが、MRIの正診率はさらに高い。MRIが骨シンチグラムに比べてもう一つ有利な点はMR上の無腐性壊死の所見が特徴的で他の疾患と鑑別ができることである。単純X線写真上所見のない無腐性壊死でMRIあるいは骨シンチグラムが疑陰性を示す症例がある。その場合は両方の検査が行われることがある。

7. 無症状のハイリスク患者のスクリーニング

ハイリスクではあるが無症状のグループに対して無腐性壊死のスクリーニングを行う必要があるかどうかについては議論のあるところである。MRIでは副腎皮質ホルモンを服用しているが股関節痛のない患者の6～22%に典型的な無腐性壊死の所見がみられる。これらの無症状の患者について行われた追跡調査によれば、痛みを発症したり股関節の圧潰にまで発展する例はむしろ少数で大部分は変化がないか、正常化する例もある。その後発症するかどうかは人により異なるので、早期に治療を行うべき患者を選ぶことは不可能である。現時点では無症候性の無腐性壊死に対する予防的治療が有益であることが証明されていないので、スクリーニングを正当化する根拠はない。ただMRIでみられる壊死の範囲によってその後の圧潰が予測できることがわかってきた。従って大腿骨頭の広い範囲に及ぶ無腐性壊死においては早期に治療的介入を行うべきであると考えられる。将来的には大腿骨頭の圧潰を防ぐための治療法の評価研究においては治療前にMRIによって壊死の範囲を評価することが求められる。

8. 大腿骨頸部骨折患者のスクリーニング

大腿骨頸部骨折患者の無腐性壊死発症の危険性が高いことはよく知られている。骨片偏位の少ない大腿骨頸部骨折患者の大部分は経験的には内固定により治療される。偏位の大きい場合は骨折癒合不全や無腐性壊死のリスクが高いため、ふつうは大腿骨頭置換術が行われる。大腿骨頸部骨折後に骨頭の血流が途絶しているか否かが画像診断により判定できれば治療法の選択上役に立つことは確かである。すなわち大腿骨頭の血流が保たれていれば、骨片の偏位の大小に関わらず内固定を、大腿骨頭の血流がなければ大腿骨頭置換術を選択するのが妥当であろう。虚血がおこってから48時間以内においては単純MRI、骨シンチグラムのいずれも大腿骨頭の血流を評価する上で有効ではない。犬の大腿骨頭壊死モデルと13例の大腿骨頸部骨折患者においてガドリニウム造影後のMRで大腿骨頭の血流を正確に測定できたと報告がある。しかし造影MRIを大腿骨頸部骨折患者の骨頭血流評価法として確立するにはさらなる研究が必要である。

ハイリスク患者の股関節痛，最初の検査

画像検査	適正度	コメント
骨盤正面像	9	股関節痛を訴えるAVNの危険度の高い患者について最初に行う検査。
股関節のfrog leg側面像	9	大腿骨頭の前後面の評価に必要。
股関節のcross table側面像	1	軟部組織の重なりのため，細部の評価には向かない。
CT	1	最初の検査としては不適切。
骨シンチグラム	1	AVNの診断に有用だが，最初の検査ではない。
MRI	1	AVNの診断能は最も高いが，最初の検査ではない。

ハイリスク患者の股関節痛，単純X線写真が陰性の場合

画像検査	適正度	コメント
MRI	9	AVNの診断において最も鋭敏度，特異度が高い。
骨シンチグラム	1	MRIのない場合やMRIで陰性だが，AVNの疑いが解消できない場合に適応となる。
CT	1	骨シンチグラムやMRIに比べて鋭敏度が劣る。
造影MRI	1	灌流の評価は必要ではない。

<文献>

1. Bassett LW, Gold RH, Reicher M, et al: Magnetic resonance imaging in the early diagnosis of ischemic necrosis of the femoral head. Clin Orthop 1987; 214: 237-248.
2. Beltran J, Herman LJ, Burk JM, et al: Femoral head avascular necrosis: MR imaging with clinical-pathologic and radionuclide correlation. Radiology 1988; 166: 215.
3. Camp JF, Colwell CW: Core decompression of the femoral head for osteonecrosis. J Bone Joint Surg 1986; 68 (A): 1313-1319.
4. Coleman BG, Kressel HY, Dalinka MK, et al: Radiographically negative avascular necrosis: detection with MR imaging. Radiology 1988; 168: 525-528.
5. Conklin JJ, Alderson PO, Zizic TM, et al: Comparison of bone scan and radiograph sensitivity in the detection of steroid-induced ischemic necrosis of bone. Radiology 1983; 147: 221-226.
6. Ficat RP: Idiopathic bone necrosis of the femoral head. J Bone Joint Surg 1985; 67 (A): 3-9.

- 7 . Fordyce MJF , Solomon L : Early detection of avascular necrosis of the femoral head by MRI. *J Bone Joint Surg* 1993 ; 75 (B) : 365.
- 8 . Genez BM , Wilson MR , Houk RW , et al : Early osteonecrosis of the femoral head : detection in high-risk patients with MR imaging. *Radiology* 1988 ; 168 : 521.
- 9 . Glickstein MF , Burk DL , Schiebler ML et al : Avascular necrosis versus other diseases of the hip : sensitivity of MR imaging. *Radiology* 1988 ; 169 : 213.
- 10 . Ha11and AM , Klemp P , Botes D , et al : Avascular necrosis of the hip in systemic lupus erythematosus : the role of magnetic resonance imaging. *Brit J Rheum* 1993 ; 32 : 972.
- 11 . Hauzeur JP , Pateels JI , Schoutens A , et al : The diagnostic value of magnetic resonance imaging in non-traumatic osteonecrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg* 1989 ; 71 (A) : 641.
- 12 . Kalunian KC , Hahn BH , Bassett L : Magnetic resonance imaging identifies early femoral head ischemic necrosis in patients receiving systemic glucocorticoid therapy. *J Rheum* 1989 ; 16 : 959.
- 13 . Kim KY , Lee SH , Moon DH , et al : The diagnostic value of triple head single photon emission computed tomography (3H-SPECT) in avascular necrosis of the femoral head. *Internat Orthop* 1993 ; 17 : 132.
- 14 . Kokubo T , Takatori Y , Ninomiya S , et al : Magnetic resonance imaging and scintigraphy of avascular necrosis of the femoral head : prediction of subsequent segmental collapse. *Clin Orthop* 1992 ; 277 : 54.
- 15 . Kopecky KK , Braunstein EM , Brandt KD , et al : Apparent avascular necrosis of the hip : appearance and spontaneous resolution of MR findings in renal allograft recipients. *Radiology* 1991 ; 179 : 523.
- 16 . Laffargue P , Dahan E , Chagnaud C , et al : Early-stage avascular necrosis of the femoral head. MR imaging for prognosis in 31 cases with at least 2 years follow-up. *Radiology* 1993 ; 187 : 199.
- 17 . Lane P , Maul M , Schorner W , et al : Acute fracture of the femoral neck : assessment of femoral head perfusion with gadopentetate dimeglumine-enhanced MR imaging. *AJR* 1993 ; 160 : 335.
- 18 . Lee MJ , Corrigan J , Stack JP , et al : A comparison of modern imaging modalities in osteonecrosis of the femoral head. *Clin Radio1* 1990 ; 42 : 427.
- 19 . Magid D , Fishman EK , Scott WW , et al : Femoral head avascular necrosis CT assessment with multiplanar reconstruction. *Radiology* 1985 ; 157 : 751-756.
- 20 . Markisz JA , Knowles RJR , Altchek DW , et al : Segmental patterns of avascular necrosis of the femoral heads : early detection with MR imaging. *Radiology* 1987 ; 162 : 717.

- 21 . Meyer SJF , Vahey TN : Imaging algorithm for Avascular necrosis of the hip. *Rheum Dis Clin North AM* 1991 ; 17 : 799-802.
- 22 . Mitchell DG , Kressel HY , Arger PG , et al : Avascular necrosis of the femoral head : morphologic assessment by MR imaging , with CT correlation. *Radiology* 1986 ; 161 : 739-742.
- 23 . Mitchell DG , Rao VM , Dalinka MK , et al : Femoral head avascular necrosis : correlation of MR imaging radiographic staging , radionuclide imaging , and clinical findings. *Radiology* 1987 ; 162 : 709-715.
- 24 . Mulliken BD , Renfrew DL , Brand RA , et al : Prevalence of previously undetected osteonecrosis of the femoral head in renal transplant recipients. *Radiology* 1994 ; 192 : 831-834.
- 25 . Nadel SN , Debatin JF , Richardson WJ , et al : Detection of acute avascular necrosis of the femoral head in dogs : dynamic contrast-enhanced MR imaging vs spin-echo and STIR sequences. *AJR* 1992 ; 159 : 1255.
- 26 . Nagasawa K , Tsukamoto H , Tada Y , et al : Imaging study on the mode of development and changes in avascular necrosis of the femoral head in systemic lupus erythematosus : long-term observations. *Brit J Rheum* 1994 ; 33 : 343.
- 27 . Resnick D , Niwayama G. Osteonecrosis : diagnostic techniques , specific situations , and complications. In Resnick D , Niwayama G , ed. *Diagnosis of Bone and Joint Disorders*. Philadelphia : WB Saunders, 1988 : 3238-3287.
- 28 . RobinSon HJ , Hartleben PD , Lund G , et al : Evaluation of magnetic resonance imaging in the diagnosis of osteonecrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg* 1989 ; 71 (A) : 650.
- 29 . 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-B : 213-219.
- 30 . Seiler JG , Cristie MJ , Homra L : Correlation of the findings of magnetic resonance imaging with those of bone biopsy in patients who have stage- or ischemic necrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg* 1989 ; 71 (A) ; 28.
- 31 . Shih TTF , Su CT , Chiu LC , et al : Evaluation of hip disorders by radiography , radionuclide scanning and magnetic resonance imaging. *J Formos Med Assoc* 1993 ; 92 : 737-744.
- 32 . Siddiqui AR , Kopecky KK , Wellman HN , et al : Prospective study of magnetic resonance imaging and SPECT bone scans in renal allograft recipients : evidence for a self-limited subclinical abnormality of the hip. *J Nucl Med* 1993 ; 34 : 381.
- 33 . Steinberg ME : Early diagnosis of avascular necrosis of the femoral head. *Inst Course Lect* 1988 ; 37 : 51-57.

34. Sweet, DE, Madewell JE : Pathogenesis of osteonecrosis. In Resnick D, Niwayama G, ed. Diagnosis of Bone and Joint Disorders. Philadelphia : WB Saunders, 1988. 3188-3237.
35. Takatori Y, Kokubo T, Ninomiya S, et al : Avascular necrosis of the femoral head : natural history and magnetic resonance imaging. J Bone Joint Surg 1993 ; 75 (B)217.
36. Tervonen O, Mue11er DM, Matteson EL, et al : Clinically occult avascular necrosis of the hip : prevalence in an asymptomatic population at risk. Radiology 1992 ; 182 : 845.
37. Thickman D, Axel L, Kressel HY, et al : Magnetic resonance imaging of avascular necrosis of the femoral head. Skeletal Radio1 1986 ; 15 : 133-140.
38. Tooke SMT, Nugent PJ, Bassett LW, et al : Results of Core decompression for femoral head osteonecrosis. Clin Orthop 1988 ; 288 : 99-104.

(聖母病院 大和 実)

F. Insufficiency骨折の疑い, 高齢者の骨盤痛で単純X線検査が正常

1. はじめに

不全骨折とは、骨粗鬆症などにより脆弱化した骨に、正常のストレス、あるいは軽微な外傷が加わることにより起きる骨折である。外傷自体は軽微なため、患者が意識していないことも多い。仙骨不全骨折は、オステオポロシスのある高齢者の腰痛、骨盤痛の原因として重要なものである。この骨折は、婦人科の悪性腫瘍により放射線治療を受けた例に好発し、そのような例では、臨床的には転移性骨腫瘍との鑑別が問題になる。仙骨の不全骨折の臨床診断は、発症時期がはっきりしないことや、単純X線では所見がなくしばしば合併する脊椎変性のための腰痛と誤診されやすいため、臨床診断は必ずしも容易ではない。恥骨の不全骨折も骨盤痛の原因となる。これは主に鼠径部から股関節に痛みを生じるが、同時に仙骨不全骨折を合併して、骨盤痛を訴えることがある。臨床的に仙骨不全骨折が疑われ、単純X線写真が正常の場合には、CTや骨シンチグラムなど、より感度の高い画像診断が必要である。

2. 検査法

- 1) CTは、仙骨不全骨折の確定診断に有用で、多くの研究からはCTが最も診断的であるとされている。CTでは、仙腸関節のガス像 (Vacuum phenomenon) や仙骨骨折内にガスが証明されることもある。
- 2) 骨シンチグラムは、仙骨不全骨折の診断に非常に有用である。骨シンチグラムで

仙骨翼に一致するH字形の集積を示す場合が多く、この所見は非常に特徴的で、これだけでも診断はほぼ確定する。

- 3) MRIは、骨折自体ではなく、骨折に伴う骨髄や軟部組織の評価に有用であり、またその異常信号の分布から、不全骨折の診断も可能である。また、骨シンチグラムと比較して、骨シンチグラムでは異常集積のない早期(24時間以内)に骨折の診断が可能とされるが、不全骨折に伴う骨髄の異常信号は必ずしも特異的な所見ではない。患者の年齢層から見て、鑑別診断として転移性腫瘍が最も問題になるが、異常信号の分布や病歴から鑑別は比較的容易である。MRIで不全骨折が疑われる患者、特に高齢者では、仙骨不全骨折以外にも、骨や軟部組織の損傷を伴う場合が多い。MRIにより仙骨を含む骨盤全体の骨折や軟部組織損傷を診断することができる。

Insufficiency Fxの疑い 高齢者の骨盤痛で単純X線検査が正常

画像検査	適正度	コメント
骨シンチグラム	9	特徴的パターンあり
CT	9	診断的検査法
MRI	3	軟部組織損傷を含め、骨盤全体の評価可能

<文献>

1. Moreno A, Clemente J, Crespo C, et al: Pelvic insufficiency fractures in patients with pelvic irradiation. Int J Radiat Oncol Biol Phys 1999; 44: 61-66.
2. Peh WC, Ooi GC: Vacuum phenomena in the sacroiliac joints and in association with sacral insufficiency fractures. Incidence and significance. Spine 1997; 22: 2005-2008.
3. Grangier C, Garcia J, Howarth NR, et al: Role of MRI in the diagnosis of insufficiency fractures of the sacrum and acetabular roof. Skeletal Radiol 1997; 26: 517-524.
4. Peh WC, Khong PL, Yin Y, et al: Imaging of pelvic insufficiency fractures. Radiographics 1996; 16: 335-348.
5. May DA, Purins JL, Smith DK: MR imaging of occult traumatic fractures and muscular injuries of the hip and pelvis in elderly patients. AJR 1996; 166: 1075-1078.
6. Grasland A, Pouchot J, Mathieu A, et al: Sacral insufficiency fractures: an easily overlooked cause of back pain in elderly women. Arch Intern Med 1996; 156: 668-674.

- 7 . Blomlie V , Rofstad EK , Talle K , et al : Incidence of radiation-induced insufficiency fractures of the female pelvis : evaluation with MR imaging. AJR 1996 ; 167 : 1205-1210.
- 8 . Stabler A , Beck R , Bartl R , et al : Vacuum phenomena in insufficiency fractures of the sacrum. Skeletal Radiol 1995 ; 24 : 31-35.
- 9 . Peh WC , Khong PL , Ho WY , et al : Sacral insufficiency fractures. Spectrum of radiological features. Clin Imaging 1995 ; 19 : 92-101.
- 10 . Mammone JF , Schweitzer ME : MRI of occult sacral insufficiency fractures following radiotherapy. Skeletal Radiol 1995 ; 24 : 101-104.
- 11 . West SG , Troutner JL , Baker MR , et al : Sacral insufficiency fractures in rheumatoid arthritis. Spine 1994 ; 19 : 2117-2121.
- 12 . Gotis-Graham I , McGuigan L , Diamond T , et al : Sacral insufficiency fractures in the elderly. J Bone Joint Surg Br 1994 ; 76 : 882-886.
- 13 . Weber M , Hasler P , Gerber H : Insufficiency fractures of the sacrum. Twenty cases and review of the literature. Spine 1993 ; 18 : 2507-2512.
- 14 . Blomlie V , Lien HH , Iversen T , et al : Radiation-induced insufficiency fractures of the sacrum : evaluation with MR imaging. Radiology 1993 ; 188 : 241-244.
- 15 . Lundin B , Bjorkholm E , Lundell M , et al : Insufficiency fractures of the sacrum after radiotherapy for gynaecological malignancy. Acta Oncol 1990 ; 29 : 211-215.
- 16 . Brahme SK , Cervilla V , Vint V , et al : Magnetic resonance appearance of sacral insufficiency fractures. Skeletal Radiol 1990 ; 19 : 489-493.
- 17 . Cotty P , Fouquet B , Mezenge C , et al : Insufficiency fractures of the sacrum. Ten cases and a review of the literature. J Neuroradiol 1989 ; 16 : 160-171.
- 18 . De Smet AA , Neff JR : Pubic and sacral insufficiency fractures : clinical course and radiologic findings. AJR 1985 ; 145 : 601-606.
- 19 . Cooper KL , Beabout JW , Swee RG : Insufficiency fractures of the sacrum. Radiology 1985 ; 156 : 15-20.

(杉本英治)

G. ストレス骨折, スポーツ選手の下腿痛

1. はじめに

ストレス骨折は、特徴的な病歴と部位によりその診断が強く疑われるが、担当医のもつ臨床情報や経験によるところが大きい。また、それ自体は良性疾患であるが、鑑別疾患としてあげられる骨髄炎や腫瘍では、診断計画や治療方針が大きく変わる

ため、適切な診断が重要となる。

2. 単純X線写真

単純X線撮影で骨膜反応・皮質肥厚や帯状の硬化像などの典型的な所見があれば診断されるが、特に発症早期では単純X線撮影の感度は低く、発症から経過観察期間を含め約50%とされる²⁾。しかし、最初の検査としては、単純X線撮影が適当で、有意な所見が得られれば他の検査は不要となる。

3. 骨シンチグラフィ

骨シンチグラフィは、従来よりストレス骨折の診断のゴールドスタンダードであり、感度が高い検査である。運動選手においては症状がみられない部位での取り込み上昇も認められ生理的なストレス反応でも陽性となりうる。取り込み上昇のパターンの多くは非特異的であり、関節炎、骨髄炎や骨腫瘍などの鑑別が問題となる。また、手足の関節近傍や手根・足根骨などの、より詳細な解剖が必要な部位では病変部位が特定し難い。

4. MRI

MRIは、骨シンチグラフィとほぼ同程度の感度とされ、補助的あるいは骨シンチグラフィのかわりに施行される。MRI検査にあたって、病歴が不詳であったり、ストレス骨折を疑っていない場合では、より悪性度の高い骨腫瘍などと誤診される可能性があり注意を要する。手足の関節近傍や手根・足根骨などの、より詳細な解剖が必要な部位でも診断は容易である。

5. X線断層撮影とCT

X線断層は、CTによる再構成画像による評価に移行されつつある。CTのストレス骨折の診断感度の報告は少ないが、感度は低い。

その1：スポーツ選手の下腿痛，ストレス骨折疑い，最初の検査

画像検査	適正度	コメント
単純X線写真	9	最初の検査として必要
CT	1	
MR	1	
骨シンチグラム	1	
X線断層写真	1	

その2：スポーツ選手の下腿痛，ストレス骨折疑い，単純X線正常

画像検査	適正度	コメント
単純X線写真	9	通常，この期間で症状改善
14日後再検		みられる。待つことのリスクは少ない
CT	1	
MR	6	担当医その他により，早急な診断が要求される場合
骨シンチグラフィ	4	担当医その他により，早急な診断が要求される場合
X線断層	1	

その3：スポーツ選手の下腿痛，ストレス骨折疑い，単純X線正常

骨シンチグラフィ陽性

画像検査	適正度	コメント
単純X線写真	7	診断確定・経過観察のため
14日後再検		
CT	1	
MR	1	通常不要
X線断層	1	

<文献>

1. Daffner RH, Pavlov H : Stress fractures : current concepts. AJR 1992 ; 159 : 245-252.
2. Greaney RB, Gerber FH, Laughlin RL, et al : Distribution and Natural History of Stress Fractures in U.S. Marine Recruits. Radiology 1983 ; 146 : 339-346.
3. Ammann W, Matheson GO : Radionuclide Bone Imaging in the Detection of Stress Fractures. Clin J Sport Med 1991 ; 1 : 115-122.
4. Geslien GE, Thrall JH, Espinosa JL, et al : Early Detection of Stress Fractures Using 99mTc-Polyphosphate. Radiology 1976 ; 121 : 683-687.
5. Hayes CW, Conway WF, Sundaram M : Misleading Aggressive MR Imaging Appearance of Some Benign Musculoskeletal Lesions. Radiographics 1992 ; 12 : 1119-1134.
6. Kiss ZS, Khan KM, Fuller PJ : Stress Fractures of the Tarsal Navicular Bone : CT Findings in 55 Cases. AJR 1993 ; 160 : 111-115.
7. Somer K, Meursman K : CT of stress fracture. JCAT 1986 : 109-115.
8. Lee JK, Yao L : Stress Fractures : MR Imaging. Radiology 1988 ; 169 : 217-220.
9. Meyers SP, Wiener SN : Magnetic resonance imaging features of fractures using the short tau inversion recovery (STIR) sequence : correlation with radiographic findings. Skeletal Radiol 1991 ; 20 : 499-507.

- 10 . Peh WC , Evans NS : Pelvic insufficiency fractures in the elderly. Ann Acad Med Singapore 1993 ; 22 : 818-822.
- 11 . Abe H , Nakamura M , Takahashi S , et al : Radiation-induced insufficiency fractures of the pelvis : evaluation with ^{99m}Tc-methylene diphosphonate scintigraphy. AJR 1992 ; 158 : 599-602.

(大橋健二郎)