

《原 著》

Bone Dynamic Study

——股関節領域における Factor 解析法の検討——

中島光太郎* 外山比南子* 石川 演美* 畠山 六郎*
 秋貞 雅祥* 宮川 俊平**

要旨 股関節疾患の骨動態検査の評価に、Factor 解析法を応用し、RI 投与後早期の情報を骨 factor と血管系 factor、軟部組織系 factor に分離できた。変形性股関節症に滑膜炎を合併した例では骨以外の軟部組織系 factor でも異常集積が認められ、これは手術所見から滑膜の炎症を検出したものと考えられた。大腿骨骨頭無膿性壞死例では、4 時間後の静態画像および phase 2 画像 (RI 投与後 5~10 分の加算画像) と比較して、骨 factor 画像は臨床経過との相関がよかった。本法は、従来行っていた情報の時間的分離を行う 3-phase 骨スキャン解析法に比べ、機能的分離を可能とした。また、骨病変の検出や経過観察、骨周囲臓器の病変との区別において、静態画像や 3-phase 骨スキャン解析法から得られない情報が得られた。

I. はじめに

核医学検査における骨疾患の評価は、RI 投与後 3~5 時間に全身像と、必要に応じてスポット像を撮影して行うのが一般的である。しかし、静態画像のみから疾患の鑑別や経過観察をすることは難しい。そこで、従来から動態解析がさかんに試みられている。

西岡ら¹⁾は、膝関節に関心領域を設定して作成した Tc-99m MDP の動態曲線をコンパートメントモデルを想定して解析した。しかし、関心領域の動態曲線を解析する方法は、その設定部位によっては、周囲の軟部組織や血管系によるバックグラウンドの影響が異なり、再現性が問題となる。

一方、Maurer ら²⁾は RI 静注直後に得られる血管相 (phase 1) と 5~10 分の血液プール相 (phase 2)、3 時間以上経過した後撮影する通常の

骨シンチグラム像 (phase 3) を作成する 3-phase 骨スキャン解析法を試みた。この報告によれば、骨髓炎のように血流の豊富な病変では phase 1, 2 における集積が目立ち、反応に、非炎症性滑膜炎や偽関節、あるいは変形性股関節症などでは phase 3 のみで異常集積が認められた。われわれの施設でも、股関節病変に応用を試み、phase 1~2 の時期から異常集積を認める疾患と phase 3 で異常集積を認める疾患が存在した。しかし、その程度を定量するために、関心領域の計数を比較すると、関心領域の選び方によって結果が異なってくる。これは phase 1~2 の時期の画像では大腿動・静脈や股関節周囲の軟部組織、骨への集積が互いに重なり合って分離できないことが原因となっている。

最近、Factor 解析が心臓、肺、腎機能等の解析に用いられ、重なり合った機能の異なる部位の分離が可能とされている^{3,4)}。今回、われわれは骨の動態解析に Factor 解析の応用を試み、従来の 3-phase 骨スキャン解析法と比較検討した。

II. 対 象

正常群として、悪性腫瘍の術前あるいは、術後経過観察症例の中から骨転移の認められない 8 例

* 筑波大学附属病院放射線科

** 同 整形外科

受付：62年 6月 29日

最終稿受付：63年 10月 25日

別刷請求先：茨城県日立市城南町 2-1-1 (番 317)

日立製作所茨城病院センター

日立総合病院放射線診療科

中島 光太郎

を検討した。疾患群として滑膜炎を合併しない変形性股関節症5例、滑膜炎の合併した変形性股関節症1例、外傷性股関節脱臼後の大腿骨骨頭無腐性壊死1例を対象とした。

III. 方 法

1) データ収集

Tc-99m MDP 15 mCi をボーラスで肘静脈より投与して、両側股関節の RI 集積を経時的に計測した。データ収集には Siemens 社 Pho/Gamma LEM シンチカメラおよびコンピュータ・システム(シンチパック 1200)を使用し、RI 投与直後から1枚/15 sec で 100 枚、計25分間行った。さらに、RI 投与4~5時間後に100秒間股関節領域の静態画像を収集し、そのデジタル画像を phase 3 画像とした。

2) データ処理

得られたデータはシンチパック 1200、および GMS-55A を使って処理した。

ダイナミック・データは収集後膀胱部分をマスクして切りすぐれた後 Factor 解析を行った。

各画像を 8×8 の画素に分割して作成した 64 個の時間-放射能曲線のうち、計数の多いものから 32 個を選んで 3-factor を決定した。それぞれの factor に対応する factor 画像は、 64×64 画素で算出した。

さらに、3-phase 骨スキャン解析法と比較するために、最初のダイナミック・データから 0~1 分間の加算画像 (phase 1 画像) と 5~10 分間の加算画像 (phase 2 画像) を作成した。定量解析のために両股関節部と両大腿骨骨幹部に ROI を設置し、左右股関節比と股関節部/大腿骨骨幹部比を求めた。

IV. 結 果

1. 正常群

正常例の 3-factor 画像と対応する時間-放射能曲線、および phase 1~3 画像を Fig. 1 に示した。時間-放射能曲線は、(a) 静注直後急速にピークを作り、その後速やかに減少する血管系パターン

(Fig. 1 FACTOR 2)、(b) 静注後数分で緩やかにピークを作り、徐々に減少する軟部組織を主体とするパターン (Fig. 1 FACTOR 3)、(c) 静注後徐々に集積の増加する骨のパターン (Fig. 1 FACTOR 1) に分離された。おのおのの曲線に対応する画像を血管系 factor 画像、軟部組織系 factor 画像、そして骨 factor 画像とした。今回の正常群では、8 例中 6 例で良好に分離されたが、2 例でわずかに血管系 factor 画像に骨成分がオーバーラップしてきた。

2. 変形性股関節症群

滑膜炎を合併していない変形性関節症の場合には、5 例とも骨 factor 画像のみに異常集積が認められた (Fig. 2, ←)。Fig. 2 に両側の変形性股関節症例 (症例 1) の 3-factor 画像および phase 1~3 画像を示した。骨 factor 画像と phase 3 画像は、ほぼ同じ画像であった。血管系および軟部組織系 factor 画像に異常集積は見られなかった。phase 2 画像では股関節部に一致して異常集積が見られた。

3. 滑膜炎を合併した変形性股関節症

Figure 3 は44歳女性 (症例 2)。右変形性股関節症で経過観察していたが股関節部の強い痛みが出現したため、関節周囲の滑膜炎の合併が示唆された症例である。phase 2 および phase 3 画像では前症例と同様に右股関節部に強い異常集積が認められた (Fig. 3, ←)。factor 画像では前症例と異なり骨のみならず、軟部組織系 factor 画像にも異常集積が認められた (Fig. 3, ←)。この症例では手術所見で滑膜の炎症性の肥厚が確認された。

4. 大腿骨骨頭無腐性壊死の症例

Figure 4 と Fig. 5 は22歳の男性 (症例 3)。左股関節の外傷性脱臼整復後、股関節の可動域制限で発症した症例である。Fig. 4 は受傷後 1 か月、9 か月、1 年半の phase 2 画像、phase 3 画像とシンチグラムである。ここでシンチグラムとは 4 時間後のアナログ画像をいう。Fig. 5 は同時期の factor 画像である。この症例は受傷後 6 か月ではほとんど症状が消失した。

受傷後 1 か月では左股関節領域の骨 factor 画像に集積が目立ち、軟部組織系 factor 画像でも同

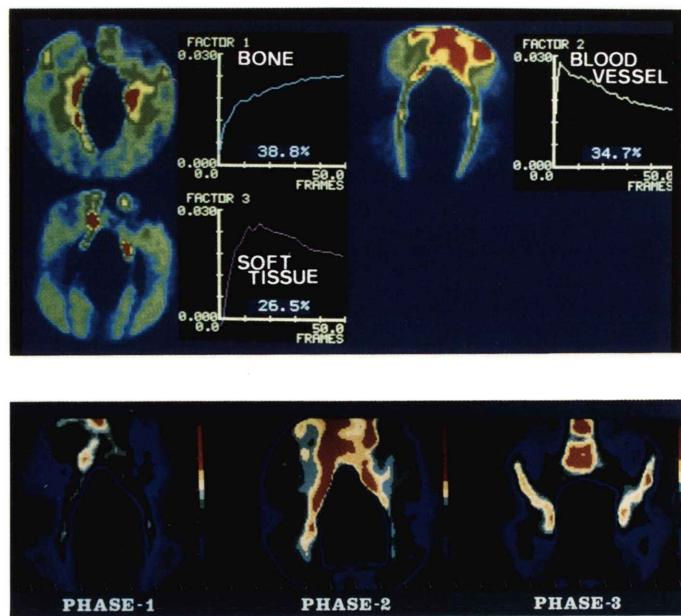


Fig. 1 In a normal patient, 3-factor images and their corresponding time-activity curves (upper), and 3-phase images (lower) are shown.

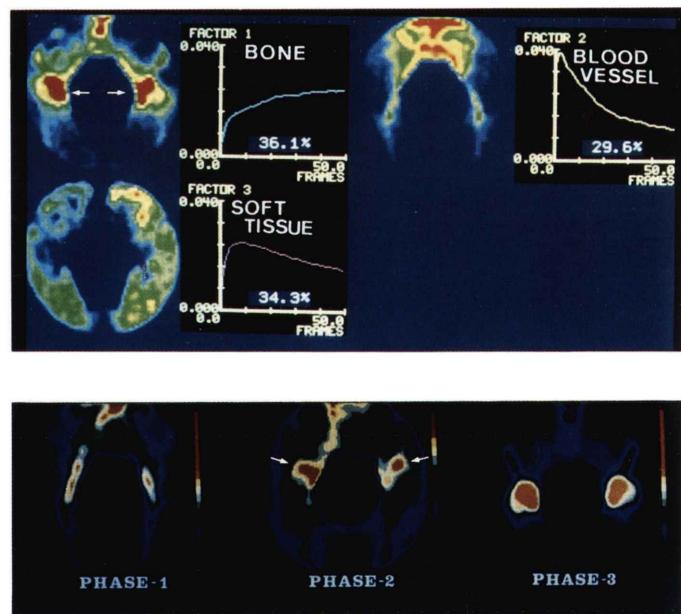


Fig. 2 Images of 3-factor images and curves (upper) and 3-phase images (lower) in a patient with bilateral osteoarthritis (case 1).

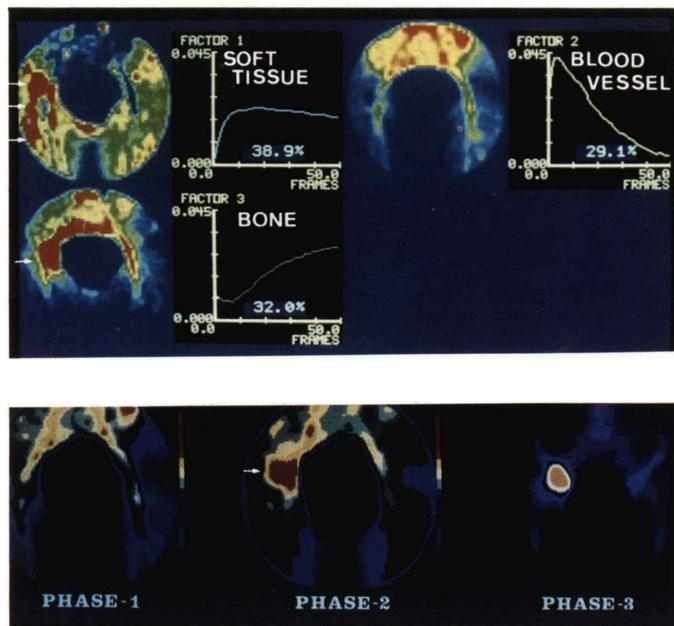


Fig. 3 3-factor images and curves (upper) and 3-phase images (lower) in a patient of osteoarthritis of right hip joint with synovitis (case 2).

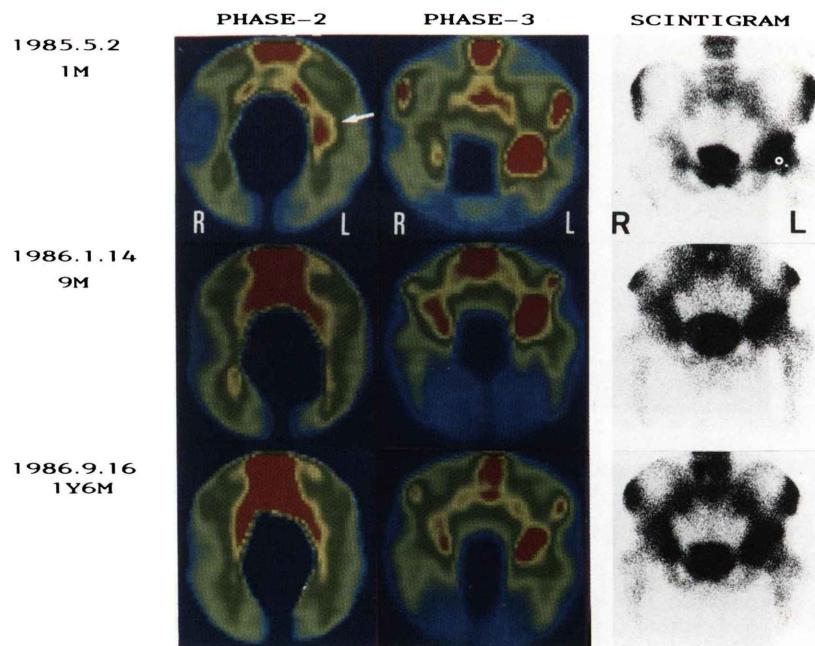


Fig. 4 Images of phase 2, and phase 3 in the patient (case 3) with aseptic necrosis at hip joint, examined one month (upper), 9 months (middle) and one and a half year (lower) after injury.

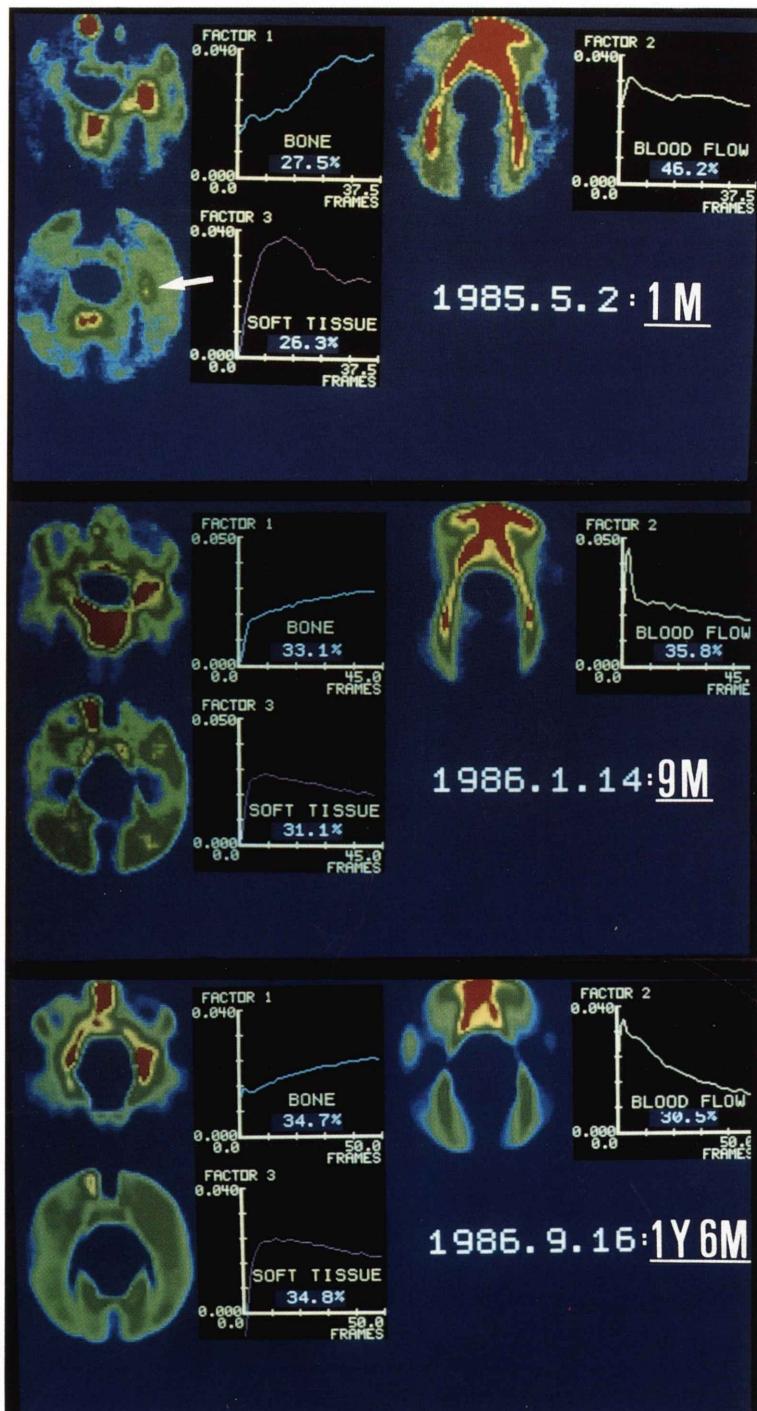


Fig. 5 3-factor images and curves in a patient with aseptic necrosis of hip joint (case 3), examined one month (upper), 9 months (middle) and one and a half year (lower) after injury.

Table 1 Quantitative evaluation for Tc-99m MDP accumulation in the hip joints of a patient with aseptic necrosis (case 3) examined at three times. Mean values were calculated from the ratios of eight normal controls

Date (post traumatic)	Injured/Normal hip		Bilateral hip/Femoral shaft			
	3-F.A.B*	Phase 3	3-F.A.B*		Phase 3	
			Inj.	Norm.	Inj.	Norm.
1985.5.02. (one month)	2.37	2.37	3.11	1.31	5.68	2.40
1986.1.14. (nine months)	1.33	1.43	1.89	1.42	3.75	2.62
1986.9.16. (one and a half year)	1.03	1.21	1.73	1.68	3.11	2.57
Norm. Mean**	1.096	0.991	1.614		1.814	
S.D.	0.198	0.116	0.868		0.356	

*: Bone factor image **: for eight normal controls

部に集積が認められる (Fig. 5, ←). また同時期の phase 2 画像でも、左股関節に集積増加が認められた (Fig. 4, ←). 9か月以降の軟部組織系 factor 画像では、phase 2 画像と同様に異常集積が消失した。経過を追って評価するために、骨 factor 画像と phase 3 画像における集積比 (左右股関節比、股関節部/大腿骨骨幹部比) を正常例と比較して Table 1 に示した。骨 factor 画像では 9か月以降、集積がしだいに低下し、症状が消失した受傷後 1 年半の画像では、正常者の集積比にかなり近づいている。phase 3 画像は、経過とともに徐々に集積が低下しているものの、症状が全く消失している受傷後 1 年半でも、股関節部の集積比は正常者の値と比較して依然かなり高値を示した。

V. 考 察

骨シンチグラフィーは核医学検査の中で、最も多く行われているものの一つである。しかし、静態画像の検討のみでは得られる情報が限られている。そこで以前から、種々の動態解析が試みられてきた。

Maurer らによって検討された解析方法である 3-phase 骨スキャン解析方法は²⁾、RI 投与後、早期の血流に依存した RI 分布と骨の代謝に依存する分布と時間的に分離して比較するというもので、骨疾患の鑑別に有用であるとされていた。われわ

れも大腿骨骨頭無腐性壊死、外傷性股関節脱臼、大腿骨頸部骨折、さらには変形性股関節症などの診断、経過観察に 3-phase 骨スキャン解析法を応用した。しかし、早期の血流やバックグラウンドが優位となる時期の RI 集積の増加が骨由来なのか、関節周囲の軟部組織由来なのか、あるいは血管成分そのものの増生なのかといった疾患の本質に迫った鑑別には至らなかった。

最近、Factor 解析を用いて心臓や肺、腎臓など機能的な評価の試みがされるようになってきた^{3,4)}。

Cavaillolles ら⁵⁾が心プール・ゲート検査に応用して記述しているように、Factor 解析では、ROI を選ぶことなしに異なる曲線を描く部位とその曲線を描出することができる。例えば、正常な心機能を有する場合には、収縮期に心房を表す凸になる曲線と心室を表す凹になる曲線が得られる。しかも、両者が重なり合っている部分があつても分離してそれぞれの曲線が得られ、それぞれの factor 画像の値から、重なりの程度が求められた。また、両者と全く異なる部位が存在するときには、第三の factor が得られ異常部が診断できた。また、Bazin ら⁶⁾により、移植肝の経過観察に Factor 解析を応用して、肝胆道系からの排泄を示すパターンの割合が経過とともに増大することが示された。

今回、われわれが対象とした股関節領域も鼠径部の血管系や軟部組織、骨が重なり合って存在し、プラナー画像では分離できない。一方、各組織での RI 動態は異なっている。そこで股関節疾患に Factor 解析を応用し、RI 動態からの分離を試みた。

正常群に Factor 解析を行った結果、Fig. 1 の例のように時間-放射能曲線は RI 静注直後にピークを作り、以後速やかに低下する曲線で表される血流を示すパターンと、早期になだらかなピークを形成した後徐々に低下する血液プールを示すパターン、早期には低値であるが時間の経過とともに急速に集積の増加する、骨代謝過程に符合するパターンに分かれた。おのおのの factor を、血管系 factor、軟部組織系 factor、それに骨 factor とした。同時に、それぞれの時間-放射能曲線で表される factor 画像を見ると、各 factor が比較的よく分離して表現されている。このように、RI 投与後早期の集積に対して factor 解析を行って、骨 factor 画像とその他の factor 画像とを Tc-99m MDP の動態を示す時間-放射能曲線から分離することができる。しかし、RI 投与の際に十分なボーラス投与ができなかったり、何らかの原因により血流が緩徐で、血管系パターンに特徴的な RI 投与後早期の鋭いピークをもった曲線が得られない場合、各 factor の分離画像が得られなくなることがあった。

データ処理の際に膀胱や尿管、腎臓が画面の中に入る場合でも分離が不十分となるので、十分なマスクをして解析を行う必要があった。

factor 数を 4 にしても検討したが、臨床的に意味のある結果は認められず、3-factor が適当であった。

変形性股関節症例では、全例 Factor 解析による画像の分離が良好で、炎症を伴わない場合の異常集積は骨 factor 画像のみに認められた。また、3-phase 骨スキャン解析法では phase 2 画像、phase 3 画像に異常集積が認められた (Fig. 2)。このことは、変形性股関節症では RI 投与後比較的早期より罹患骨へ骨代謝過程を経て再構築のため

の集積が盛んであることが考えられる。また、変形性股関節症は一般に炎症所見に乏しいが、時に強い炎症は伴い、溶骨性の変化をもたらす場合が生じ、疼痛、機能障害を訴えてくる。末期の変形性股関節症でも同様の症状を呈してくる。この場合は骨頭の置換術あるいは、骨切り術の適応となるが、周囲の炎症を伴う場合は、大腿骨頭の全置換術が必要である。症例 2 (Fig. 3) のように炎症を伴った場合には、骨以外の factor 画像 (この例では軟部組織系 factor 画像) への異常集積が認められた。この症例ではさらに factor 数を増やしても炎症病巣を特定するような他の factor は得られず軟部組織系 factor とするのが妥当であった。この理由として、炎症により股関節周囲の軟部組織の血液プールの増加が考えられる。炎症を伴わなかった症例 1 (Fig. 2) と比較すると Factor 解析の利点と考えるが、すべての症例がこれで説明できるかはさらに検討を要する。このように Factor 解析では軟部組織系 factor 画像から炎症の有無が診断できたのに対し、phase 2 画像では炎症の有無にかかわらず異常集積を示し、鑑別診断には寄与しなかった。

大腿骨骨頭無腐性壞死症例 (症例 3) の受傷後 1 か月の factor 画像では、異常集積が骨 factor 画像のみならず、軟部組織系 factor 画像でも出現していた。これは、RI 投与後早期の集積が骨由来のみではないことを示しているものと思われた。臨床的には骨頭の血流回復を示すのではないかと考えられるが、脱臼整復の影響あるいは症例 2 の場合のような炎症も考えられ、確認はされていない。

経過観察を各 factor 画像と phase 2, 3 画像で行い、合わせて定量評価を骨 factor 画像と phase 3 画像で行った (Table 1)。日常ルーチン撮影で行っている 4 時間後のシンチグラム (phase 3 画像) では、症状が消失しても股関節部にかなりの集積が認められたのに対して、骨 factor 画像では集積が低下して、正常者の集積比に近くなり臨床経過との相関が高かった。この症例では、受傷後 1 か月での phase 2 画像の異常集積と軟部組織系 factor

画像の異常集積とはよく対応していた。しかし、受傷9か月後では、投与後早期の骨への集積を見ている骨 factor 画像で異常集積が表れているにもかかわらず、phase 2 画像には表れなかった。このことは、次のように説明できる。Fig. 1 の時間-放射能曲線を見ると、phase 2 画像の時期には血管系や軟部組織系への分布が優位で骨の放射能はまだ低く、骨以外の成分への集積を主体に反映している。したがって症例3の場合 phase 2 画像には、骨の代謝過程に乗った集積変化の方はあまり寄与していないことを示している。すなわち、phase 2 画像は骨以外の成分の集積異常が優位に描出され、たとえ骨への集積異常があっても、その程度によっては他の成分にかくれて見落とされる場合があることになる。これに対して、骨 factor 画像は骨の再構築や骨の溶解のような骨の代謝過程の情報を $Tc-99m$ MDP の生体内での動態を示すと思われる時間-放射能曲線のパターンから分離して描出することができるので、RI 投与後早期の骨への集積を他の factor を分離して評価できる。このことはまた、骨の代謝過程によらない骨内部の変化、例えば大腿骨骨頭壞死や骨頭骨折の際の血流回復に対応する $Tc-99m$ MDP の集積変化を骨の再構築による集積変化と分離して評価できることを示唆している。

Factor 解析は直接正常集積と異常集積を分離することはできないが、異常集積が、骨代謝の亢進によるものなのか、血流の増加によるものなのか、あるいはそれ以外(今回は血液プールとした)の因子によるものなのかを分離することができる点で疾患の鑑別診断や臨床経過の把握などに有用であると思われる。しかし、「それ以外の因子」については血液プールを代表としてまとめたが、それだけでよいかどうかは今回の検討では結論はだせない。今後の課題としたい。

VI. まとめ

- 1) $Tc-99m$ MDP を用いた股関節領域疾患の動態解析に Factor 解析法を応用し、RI 投与後早期の情報を時間-放射能曲線から三つの factor に分離でき、おのおの骨 factor, 血管系 factor, 軟部組織系 factor とした。
- 2) Factor 解析により得られた骨 factor 画像は従来より応用されていた 3-phase 骨スキャン解析法と比較して、より骨への集積の変化に敏感であった。
- 3) 炎症を伴った変形性股関節症例では、軟部組織 factor 画像も集積増加が認められた。その結果、Factor 解析法が従来の 3-phase 骨スキャン解析法より鑑別診断に有用であると思われた。
- 4) 大腿骨骨頭無腐性壊死症例に経過観察を行った結果、骨 factor 画像は phase 2, 3 画像よりも臨床経過をよく反映していた。

文 献

- 1) 西岡淳一、木村正己、水谷 寛：骨 scintiscan・動態曲線の数学的分析の試み——局所血流後と骨代謝度の推定——。整形外科 31: 353-358, 1980
- 2) Maurer AH, Chen DC, Cumargo EE, et al: Utility of three phase skeletal scintigraphy in suspected osteomyelitis: Concise communication. J Nucl Med 22: 941-949, 1981
- 3) Dipaola R, Bazin JP, Aubry F, et al: Handling of dynamic sequences in nuclear medicine. IEEE trans Nucl Sci NS-29: 1310-1321, 1982
- 4) Aurengo A, Bazin JP, Lumbroso J, et al: Factor analysis as an aid in the interpretation of dynamic scintigrams of transplanted kidney. Proceed 3rd World Congress of the Federation of Nuclear Medicine and Biology. Paris, pp. 3167-3170, 1982
- 5) Cavaillolles F, Bazin JP, Di Paola R: Factor Analysis in Gated Cardiac Studies. J Nucl Med 25: 1067-1079, 1984
- 6) Bazin JP, Di Paola F, Aubry F, et al: Factor Analysis of Dynamic Structures. Informatek users group newsletter 1: 3-5, 1984

Summary

Bone Dynamic Study —Evaluation for Factor Analysis of Hip Joint—

Kotaro NAKAJIMA*, Hinako TOYAMA*, Nobuyoshi ISHIKAWA*,
Rokuro HATAKEYAMA*, Masayoshi AKISADA* and Shunpei MIYAGAWA**

*Department of Radiology, Institute of Clinical Medicine, University of Tsukuba

**Department of Orthopedics, Institute of Clinical Medicine, University of Tsukuba

Factor analysis was applied to dynamic study of Tc-99m MDP for the evaluation of hip joint disorders.

Fifteen patients were examined; eight were normal, six were osteoarthritis in which one accompanied synovitis was included, and one was aseptic necrosis on the head of the femur.

In normals, according to the Tc-99m MDP kinetics, three factor images and time-activity curves were obtained which were named as blood vessel, soft tissue, and bone factor images and curves.

In the patient with osteoarthritis, increased accumulation of the hip joint was shown in bone factor image only. But in one patient, who took osteoarthritis with synovitis, marked accumulations of the Tc-99m MDP appeared not only on

the bone factor image but also on the soft tissue. Operation revealed thickening synovial tissue around the hip joint, caused by inflammatory process.

In follow-up studies of the patient with aseptic necrosis on the head of the left femur, excessive accumulations, which were seemed in his left hip joint on both bone and soft tissue factor images at first, were decreased respondently to the treatment of this lesion.

In conclusion, the factor analysis was useful for differential diagnosis of the hip joint disorders and observation of the clinical course of the hip joint disorders.

Key words: Factor analysis, Bone dynamic study, 3-phase bone analysis, Osteoarthritis, Aseptic necrosis.