

《原 著》

手関節舟状骨骨折における三相 (3 フェーズ) 骨シンチグラフィの有用性について

牧野 直樹* 石垣 武男** 高松 浩一*** 角田 賢二****
今枝 敏彦**** 中村 蓼吾****

要旨 手関節舟状骨骨折 36 例, 37 関節を治癒過程群と偽関節群に分類し三相 (3 フェーズ) 骨シンチグラフィ (3 相骨シンチ) を行い検討した。

血流相では, 治癒過程群は有効であった装具固定に伴う良好な経過を反映して, 橈骨動脈の血流亢進と灌流増加が認められた。一方プール像では, 受傷後 7 日以降には局所の修復の活動性と有効性を反映した放射能集積があり, 経過良好例には集積亢進が, また治癒期には集積低下が顕著であった。このためプール像には後期像以上の有用性が認められた。

舟状骨全体の高度な集積亢進は経過良好例の, そして近位骨片の集積低下は偽関節例のそれぞれ典型的な所見であった。

3 相骨シンチは手関節舟状骨骨折の病勢と予後の判定, 治療経過の判定に有用である。

(核医学 30: 1063-1073, 1993)

I. はじめに

舟状骨骨折は手根骨骨折の中で最も頻度が高く, その後の経過しだいでは偽関節や骨壊死に陥り易い反面, 早期治療により完治が期待できる骨折である¹⁻³⁾。このため早期診断が必須となるが, 従来から骨シンチグラフィはその役割を十分果たしている⁴⁻¹²⁾。しかし一般には単純 X 線写真と断層写真で骨折の診断のみならず, 予後判定や治療効果判定までもがなされている。その上重症例や手術適応例以外は, 一度舟状骨骨折の診断が下れば軽症であれ重症であれ一定期間の装具固定を余儀

なくされる^{1-3, 13-18)}。このためさらに信頼できる予後判定手段が望まれるところである。

その中で骨シンチグラフィ (以下, 骨シンチと略す) にも, 早期診断のほか予後判定をしたり⁸⁾, 三相 (3 フェーズ) 骨シンチグラフィ (以下, 3 相骨シンチと略す) による経過観察の試みはあるが¹²⁾, 偽関節例の検討は不十分である。われわれは 3 相骨シンチにより, 骨折の予後と骨片の viability の判定に資する有用な知見を得たので報告する。

II. 対象および方法

1. 対 象

1989 年 10 月から 1992 年 12 月までの 39 か月間に, 手関節受傷を主訴に当院を受診あるいは紹介された 36 例, 37 関節 (うち 1 例の両側例を含む) を対象に経過観察中のある時期に 1 回の 3 相骨シンチが施行されたが, 2 例は経過観察のため 2 回の検査を施行された。36 例全例で診断が確定し, 13 例はその後に完治が確認された。全体の内

* トヨタ記念病院放射線科

** 名古屋大学医学部放射線医学教室

*** トヨタ記念病院整形外科

**** 名古屋大学医学部附属病院分院整形外科

受付: 5 年 5 月 11 日

最終稿受付: 5 年 7 月 9 日

別刷請求先: 豊田市平和町 1-1 (☎471)

トヨタ記念病院放射線科

牧 野 直 樹

訳は男性 30 例、女性 6 例で 13 歳から 70 歳に分布し (平均年齢 30.1 歳)、左側例は 18 関節で右側例は 19 関節であった。そこで完治例が治癒過程にある時期に検査された群 (治癒過程群)、偽関節の診断が下った前後や偽関節が完成するまでの経過中に検査された群 (偽関節群) に分けて検討した。偽関節群の 22 例に手術が施行され、いずれも術中に偽関節が確認された。治癒過程群では 2 例が治癒が確定する間近に経過観察目的で 3 相骨シンチが施行された。

2. 方 法

$^{99m}\text{Tc-HMDP}$ 740~925 MBq を健側の尺側皮静脈あるいは上腕皮静脈より駆血帯除去後 5 分から¹⁹⁾ ボーラス注入して、手掌側から 3 秒間隔で 60 秒間アンギオ像 (血流相・第 1 相) を撮像し、5 分後から手掌側、手背側の順で 10 分以内にプール像 (平衡相・第 2 相) を撮像した。そして 3 時間後にはプール像 (平衡相) と同手順で後期像 (第 3 相) を撮像し拡大スポット像も加えた。拡大スポット像は高分解能 コリメータによる 4 倍拡大モードを使用して撮像した。またギプス装着中の患者は、改めてギプスを除去し圧迫を解除した後 30 分以上経過してから検査を施行した。

第 1 相の血流相では血流動態や灌流状態を確認するために、毛細血管相を境に動脈相と静脈相に分割し、それぞれ数フレームずつの重ね合わせ像を再構成して検討した²⁰⁾。

撮像装置は OMEGA 500 (Technicare; アロカ) と 1991 年 1 月以降は Sophy camera DSX (Sophamedical; アロカ) を使用した。

骨折の評価は、手関節の腫脹や snuff box の圧痛の有無等の臨床所見を基に、3 相骨シンチと同日に撮像された単純写真の所見を比較して診断した。しかし単純写真で確認できなかった症例は、その後の経過中に単純写真や断層写真で診断された結果をあてた。また骨折部位は両斜位像あるいは断層像から、近位 1/3、腰部、遠位 1/3 (結節部) の 3 部に分類した。偽関節群の診断は、受傷後 3 か月以上経過の時点で手関節痛や腫脹等の症状が残り、単純写真上 (斜位あるいは尺屈位) でも骨折

線が 1 mm 以上に解離し¹⁵⁾、骨折面に転位 (DISI 変形¹⁶⁾) や嚢胞の形成¹⁷⁾ が見られたり、近位骨片に硬化像のある症例に対して行った。

骨シンチの評価は放射能集積を舟状骨自体とその周囲の集積に分けて検討し、集積の程度は以下のごとく分類した。舟状骨の放射能集積が他の手根骨や軟部組織の集積と差がない場合は (-)、他の手根骨と同程度からやや亢進までを (±)、対側よりも集積亢進が明らかな場合を (+)、舟状骨に際立った集積が見られる場合を (++) とした。また近傍や周囲組織の放射能集積の判定では、舟状骨に局限する集積を (-)、周囲に他の手根骨以上あるいは対側以上の明らかな集積の見られる場合を (+) とし、両者の間で舟状骨周囲に僅かな集積の見られる場合を (±) とした。また亢進した舟状骨集積に連続して高い集積亢進が周囲に見られる場合を (++) とした。判定はプラナー像と拡大スポット像の両方で行ったが、所見に解離が見られた場合は拡大スポット像の所見を採用した。

III. 結 果

舟状骨骨折 37 関節中、治癒過程群は 13 関節、偽関節群は 24 関節であった。また骨折部が近位 1/3 にある例が 3 関節、遠位 1/3 にある例が 3 関節で、残りの 31 関節は腰部の骨折であった。このうち 2 関節は近位列骨折合併例や舟状骨有頭骨症候群の症例であった。治癒過程群の受傷後 8 か月目例 (case 13) と 4 か月目再検例が臨床的には治癒例と診断された。

後期像では受傷後 2 日以内に施行された 1 例と偽関節群の 2 例のほか治癒期に施行された 2 例の計 5 例は、集積が舟状骨に局限されたが、残りの全例で舟状骨周囲の放射能集積亢進が認められた。また受傷後 1 週間以内に施行された治癒過程群の 3 例は単純写真では骨折が確認できず、3 相骨シンチ後の断層撮影によってはじめて骨折部位が確認された。

3 相骨シンチは、アンギオ像では動脈相と静脈相を分離して重ね合わせ像で検討したので、橈骨動脈血流や舟状骨への灌流の解析が容易であった。

Table 1 Findings of three-phase bone scintigraphy of scaphoid fractures in the course of complete recovery

Cases	Age & Sex	Intervals from onset	Degree of blood flow of radial artery	Degree of perfusion of scaphoid bone	Degree of uptake at scaphoid bone		Degree of uptake at adjacent area		Degree of uptake in the proximal fragment on pool and static images
					Pool	Static	Pool	Static	
1. K.A.	19 M	2 dys	++	++	+	+	+	-	-
2. #M.K.	29 M	3 dys	+	++	+	++	+	+	+
3. T.S.	70 M	5 dys	+	+	+	+	+	+	-
4. H.I.	40 F	5 dys	+	+	+	+	+	±	±
5. K.Y.	54 F	7 dys	-	++	++	++	++	+	+
6. M.S.	19 F	8 dys	+	+	++	++	++	++	+
7. T.J.	22 M	19 dys	++	++	++	++	++	++	+
8. S.A.	42 M	40 dys	-	+	++	++	++	++	+
9. K.T.	46 M	40 dys	+	++	++	++	++	+	+
10. H.T.	22 M	68 dys	++	+	++	++	++	++	+
□ S.A.	42 M	3.1 mo	-	-	+	+	-	+	+
11. H.M.	38 M	3.7 mo	++	++	++	++	++	++	+
◎□ K.A.	19 M	4 mo	-	-	+	+	-	-	+
12. S.K.	20 M	20 mo	+	+	+	++	+	+	+
◎13. M.S.	21 M	8 mo	-	+	±	+	-	±	+

; Fracture site was in the distal one-third.

□ ; Follow up study was performed.

() ; Fresh fracture with soft tissue inflammation.

◎ ; Fracture was almost completely recovered.

Table 2 Findings of three-phase bone scintigraphy of scaphoid fractures resulted in non-union

Cases	Age & Sex	Intervals from onset	Degree of blood flow of radial artery	Degree of perfusion of scaphoid bone	Degree of uptake at scaphoid bone		Degree of uptake at adjacent area		Degree of uptake in the proximal fragment on pool and static images
					Pool	Static	Pool	Static	
14. Y.K.	21 F	7 dys	+	+	+	+	+	±	-
15. N.U.	23 M	7 dys	-	+	+	+	+	-	-
16. *A.G.	35 F	7 dys	(+)	(++)	(++)	(++)	(++)	(+)	(+)
17. *S.S.	28 M	10 dys	-	+	+	+	-	-	+
18. K.O.	23 M	45 dys	+	+	+	+	±	±	-
19. M.S.	24 M	56 dys	++	++	++	++	++	++	-
20. ▲N.M.	40 M	62 dys	(++)	(++)	(++)	(++)	(++)	(++)	-
21. ▲N.K.	24 M	72 dys	(++)	(+)	(++)	(++)	(++)	(++)	-
22. S.N.	13 M	3.1 mo	-	+	+	+	+	+	-
23. U.A.	26 M	4 mo	-	+	++	++	++	+	±
24. H.K.(l)	15 M	4 mo	/	+	+	+	+	+	-
H.K.(r)	15 M	5 mo	/	+	+	++	+	+	+
25. A.I.	22 M	6 mo	-	+	++	++	+	++	+
26. T.W.	35 F	6 mo	-	+	+	++	+	+	+
27. M.M.	20 M	8 mo	+	++	++	++	++	++	+
28. K.O.	24 M	8 mo	-	+	+	++	±	+	±
29. M.H.	20 M	12 mo	-	+	+	++	±	++	+
30. M.M.	21 M	12 mo	-	++	+	++	+	++	+
31. S.N.	40 M	12 mo	-	±	+	++	+	+	-
32. K.M.	25 M	5 yrs	-	-	+	+	-	+	+
33. M.K.	44 M	7 yrs	+	-	+	+	-	±	+
34. *T.G.	25 M	8 yrs	-	+	++	++	++	++	+
35. #T.K.	62 M	10 yrs	+	+	++	++	++	++	+
36. #T.W.	31 M	unknown	+	+	++	++	++	++	+

* ; Fracture site was in the proximal one-third.

; Fracture site was in the distal one-third.

▲ ; Other carpal bones were involved simultaneously.

() ; Fresh fractures with soft tissue inflammation.

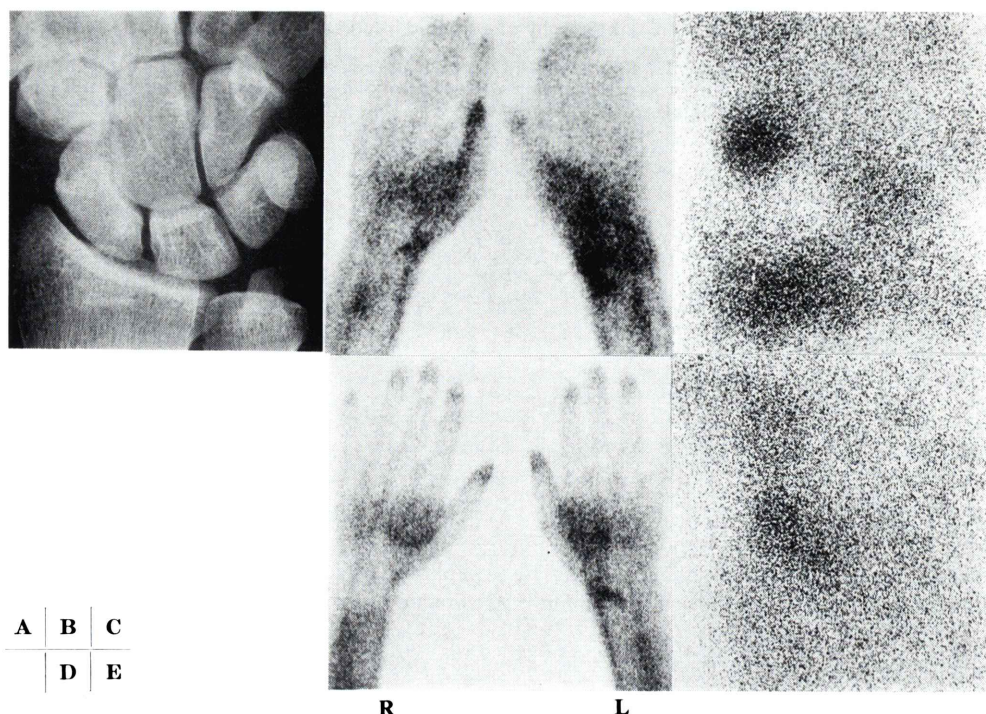


Fig. 1 Case 1. K.A. 19 years old male patient in almost complete recovery was shown. Fracture line could not be detected on conventional radiogram taken two days after the injury (A). Left scaphoid uptake was increased with adjacent increased area on pool image taken on the same day (B) (but it was decreased and localized four months later (D)). Washout was shown from the adjacent increased area, and photopenic defect was also shown in the proximal fragment of scaphoid on the late phase spot film (C). The photopenic defect disappeared and recovered tracer accumulation as much as the distal fragment four months later (E).

プール像には舟状骨や周囲に集積が亢進する傾向があり、後期像では偽関節群の早期を中心に、近位骨片の欠損像が認められた。いずれも受傷後5か月を境に所見の差が認められた (Tables 1, 2).

1. 橈骨動脈の血流亢進

血流亢進は治癒過程群では13関節中10関節と高率であったが、偽関節群には複数の手根骨骨折合併例と両側例の、4関節を除いた20関節中7関節に血流亢進が見られた。一方時間経過例では集積の頻度は少なく、治癒間近の2関節にも血流亢進は見られなかった。

2. 舟状骨の灌流増加

偽関節群では受傷後年数を経過した2例以外の

全例で灌流増加が見られたが、(++)の集積亢進例は24関節中3関節と少数であった。治癒過程群でもほぼ全例に灌流増加があり、(++)の集積亢進も12例中6例に認められた。しかし治癒例と治癒間近例の2例には灌流増加は見られなかった。治癒過程群には受傷後5か月までは(++)の集積増加例が多く、偽関節群とは好対照であった。また受傷直後の2例はプール像に先がけての高度集積亢進があり、周囲組織にも及んでいた (cases 1, 2).

3. 舟状骨自体の放射能集積

治癒過程群では受傷後7日以降3.7か月までの全例で、舟状骨の放射能集積が高度であったが、

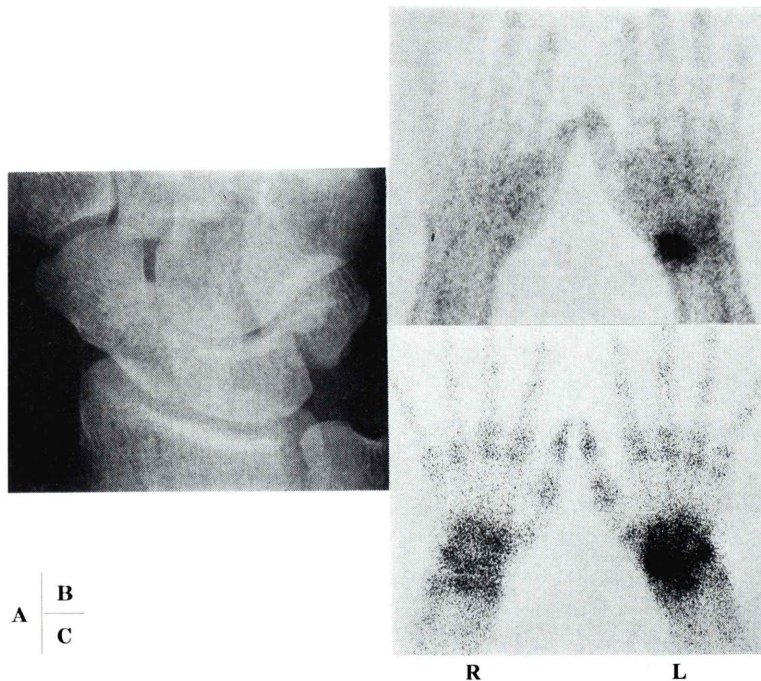


Fig. 2 Case 7. T.J. 22 years old male patient in good clinical course was shown, and every study was performed nineteen days after the injury. Fracture line was clearly demonstrated and not displaced on conventional radiogram (A). Heavily increased scaphoid uptake was associated with adjacent increased area on pool image (B), but still more highly and widely increased area was seen on and around the scaphoid bone on static image (C).

偽関節群では受傷後 5 か月を経過して初めて高度集積例が多数となった。偽関節群では高度集積例の出現時期が遅れていた。

1) プール像

治癒過程群では受傷後 5 日目までは (+) の集積で (Fig. 1), 7 日から 3.7 か月までの 7 例では (++) の集積であったが (Fig. 2), 治癒間近の 2 例と治癒例の 2 例では再び (+) の集積であった。偽関節群では 2 例を除き, 5 か月までは (++) の集積例はなかったが, 5 か月以上の時間経過例になって初めて (++) の集積が出現し, 13 例中 5 例となった。

2) 後期像

プール像とはほぼ同傾向で, 治癒過程群の受傷後 5 か月目までの 8 例と, 偽関節群の受傷後 5 か月経過例の 11 例での (++) の集積が目立った。治癒

間近例や治癒例の 4 例は, 後期像の集積亢進にもかかわらずプール像では集積低下が見られた。偽関節群でも受傷後 5 か月経過例は高頻度の (++) 集積にもかかわらず, プール像では (++) の集積例は減少していた。

4. 舟状骨と近傍の放射能集積亢進

1) プール像

治癒過程群の放射能集積には時間差がさらに明確で, 受傷後 5 日以内の 4 例は (+), 受傷後 7 日以上 3.7 か月経過の 7 例は (++) の集積亢進があり, 5 か月経過例では集積が低下した。そして治癒間近の 2 例や治癒例の 1 例では舟状骨近傍にはもはや放射能集積は見られなかった。一方偽関節群でも受傷後 7 日以内の 2 例は (+) の集積であったが, 10 日経過例や 45 日経過例には舟状骨の周囲に集積亢進はなく, 受傷後 6 か月までの合計

11 例 (3 例の軟部腫脹合併例を除く) でも 9 例が (+) 以下の集積であった。さらに受傷後 8 か月以後では非集積例も見られたが、長期間経過の 3 例には (++) の集積亢進が認められた。

2) 後期像

偽関節群では集積が遅れ、受傷後 5 か月以降の症例に (++) 以上の集積例が多かった。治癒過程群では受傷後 3 日や 5 日の症例でも、舟状骨周囲まで集積亢進があり、8 日目の症例からは (++) の放射能集積亢進が認められたが、治癒間近例では集積が低下した。

プール像との間で解離例が少数見られた。治癒過程群では受傷後 7 日目までの 5 例中 3 例でプール像に集積があるにもかかわらず後期像では洗い出しがあった。しかし治癒間近の 2 例ではプール像の集積がなくなっているにもかかわらず、後期像には集積が残存していた。

5. 近位骨片の放射能集積欠損像

偽関節群には受傷後 4 か月までは 11 関節中 8 関節と高率に近位骨片に一致した欠損像が認められた。また 4 か月を境に 5 か月後の症例からは 1 例 (case 31) を除いて欠損像は認められなかった。しかしこの 1 例には近位骨片内に壊死性変化が認められた。一方治癒過程群でも受傷後 2 日目までの 2 例に近位骨片の欠損像が認められた (Fig. 1)。

6. その他

7 日以後 4 か月以内の症例では治癒過程群に、舟状骨および周囲の (++) の集積が認められた。しかし軟部組織腫脹合併の 3 例では、橈骨動脈血流の亢進や舟状骨灌流増加が高度であり、舟状骨および近傍にも集積亢進が高度に認められたが偽関節に陥っていた。

最後に特徴的であった所見を Table 3 に示した。 χ^2 検定で有意であった所見は、受傷後 5 か月までの治癒過程群の、橈骨動脈血流の亢進と舟状骨灌流の増加であり、5 か月目までの偽関節群に見られた近位骨片の集積欠損であった。ただし時系列の要素を重視すれば、治癒過程群の受傷後 7 日以降 3.7 か月までの舟状骨集積の亢進は重要な所見であった。

Table 3 Relationship between each group and characteristic findings of three-phase bone scintigraphy

Intervals from onset	Degree of blood flow of radial artery				Degree of perfusion of scaphoid bone				Degree of uptake at scaphoid bone				Degree of uptake in the proximal fragment on static images			
	++		+		++		+		++		+		++		+	
	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)
Group in good clinical course (13 cases)	4	5	2*		6	5	0*		7	4	0	8	3	0	8	1
before 5 mo (11 cases)																2
after 5 mo (2 cases)	0	1	1		0	2	0		0	1	0	1	1	0	2	0
Group in non-union course (21 cases)	†1	2	4*		1	7	0*		2	6	0	2	6	0	1	6
before 5 mo ‡ (8 cases)																
after 5 mo (13 cases)	†0	4	8*		‡2	8	2*		5	8	0	11	2	0	11	1

†: Cases with soft tissue inflammation are excluded. ‡: A case shown (±) finding is excluded. *: Bilaterally injured case is excluded. Statistically significant with χ^2 test; * $p < 0.05$, ** $p < 0.025$, *** $p < 0.005$.

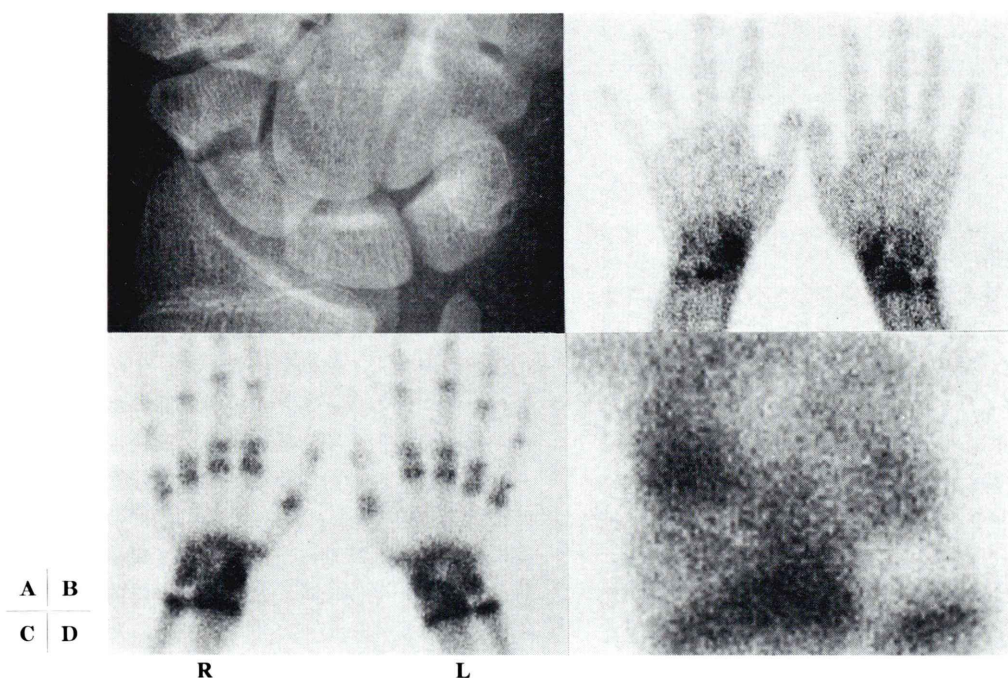


Fig. 3 Case 23. H.K. This was 15 years old male patient with non-unions bilaterally injured within a month. It was not until four months for left wrist and five months for the other that three-phase bone scintigraphy was performed. Fracture line of left scaphoid was in displaced position and it was obviously shown on conventional radiogram (A). Increased uptake was bilaterally seen on and around the scaphoid bones. The left scaphoid was disclosed decreased area in proximal fragment on pool (B) and static image (C). It was more obviously depicted on late phase spot film (D), but right scaphoid (not shown) was seen no decreased area.

7. 症例呈示

3相骨シンチの画像に合わせて、単純写真も手掌側から見た画像で比較した。

1) case 1: K.A., 19 歳, 男性. 受傷後 2 日と 4 か月後に 3 相骨シンチが施行された完治例である. 受傷後 2 日の単純写真では骨折を診断できず (Fig. 1A), 7 日後の断層写真で腰部骨折が確認された. 2 日目からプール像では舟状骨と隣接する軟部組織に, かなり高度の放射能集積の亢進が見られたが (Fig. 1B), 後期像では軟部組織からは洗い出しが進み, 遠位骨片に軽度の集積があるのみで近位骨片には集積欠損が認められた (Fig. 1C). しかし 4 か月後では, プール像には舟状骨に限局した集積を残すのみで (Fig. 1D), 後期像でも近位

骨片は同様に集積を回復し, 舟状骨全体に僅かな集積を認めただけであった (Fig. 1E).

2) case 7: T.J., 22 歳, 男性. 受傷後 19 日に検査が施行された腰部骨折の治癒過程例で, 典型的な経過良好例であった. 単純写真で腰部骨折が明らかであったが解離はない (Fig. 2A). プール像 (Fig. 2B), 後期像 (Fig. 2C) とともに舟状骨全体と周囲組織に集積が高度であり, プール像に比べて後期像の集積が勝った.

3) case 23: H.K., 15 歳, 男性. 1 か月の間隔で受傷した両側腰部骨折の偽関節例である. 4 か月経過の左側に注目すると, 単純写真 (Fig. 3A) で遠位骨片の転位と骨折線の解離が明らかであった. プール像 (Fig. 3B), 後期像 (Fig. 3C) とともに両

側の舟状骨と隣接骨のほか周囲軟部組織の遠位側主体に集積亢進が見られたが、左側の拡大スポット像 (Fig. 3D) では近位骨片に集積欠損が認められた。

IV. 考 案

舟状骨骨折は手根骨骨折の中で最も頻度が高く、その血管支配から大腿骨頸部骨折に次いで骨壊死に陥る頻度が高い。また骨折後には治癒が遅延し偽関節をきたし易いが、早期に治療できれば完治が期待できる^{1-3, 13-18}。このため早期診断が必須であり、診断上は重要な骨折である。骨折線が解離し骨片が転位している場合は (displaced fracture)^{14, 16}、偽関節に陥る頻度が高いので早期に内固定術を行うのが大勢ではあるが定説ではない。一方骨折線に解離がなく骨片に転位のない場合は (stable fracture)^{14, 16}、保存的治療の適応となるが装具装着期間や装着方法に異論が多い¹⁵。一般に偽関節の診断のみならず、治療経過や骨片の viability の判定までも X 線写真のみに頼るため、必然的に装具装着期間を長引かせたり、偽関節の発見が遅れたりする。

ところが骨シンチグラフィ (以下、骨シンチ) は舟状骨骨折の早期治療に結びつく早期診断が可能で、occult fracture の診断や、骨折を否定するのにも有用な検査法である⁴⁻¹²。しかし一般には保存的治療の終了時期の決定や偽関節の診断を行うことは、骨シンチでは困難とされ、これにはほとんど言及されていない。われわれの検討の目的は、治療経過の予見と偽関節の診断や近位骨片の壊死の判定に関して信頼できる診断手段を得ることにあった。

また 3 相骨シンチは血流量と血流動態 (血管像)、局所の血液量・充血 (プール像)、骨代謝 (後期像) を反映するとされ、多くの研究報告がある²⁰⁻²⁵。中でも Martire¹² は急性骨折を 3 相骨シンチ上で急性期、亜急性期、治癒期に分けることで、同検査に反映される急性骨折の治癒過程を示した。ただし血管支配が特殊な舟状骨に^{1, 3, 26-28} この結果がそのまま当てはまるとは限らず、ほかには舟状

骨骨折に関する 3 相骨シンチの体系だった報告がないため、われわれはこれを検討対象とした。

血流相からは、治癒過程群では橈骨動脈血流の亢進と舟状骨の灌流増加が、偽関節群とは異なり有意な所見であった。治癒過程群には必然的に装具固定が効果的であったはずである。有効な固定が局所血流を増加させたと考えられ、治癒過程と偽関節過程の判定に資する重要な所見といえる。また血流相は橈骨動脈の正確な情報を得るために、これが表層を走る掌側で撮像した。すなわち舟状骨の血流支配のほとんどが橈骨動脈のため²⁶、舟状骨局所の変化も橈骨動脈血流に反映された。

舟状骨自体の放射能集積は、受傷後 5 か月までの治癒過程群や 5 か月以後の偽関節群のように修復過程の旺盛な時期に一致して高度集積例が多く、修復が少ない受傷後 5 か月目までの偽関節群や治癒間近例では逆に集積は不十分であった。治癒過程に限らずどんな修復過程にも代謝レベルが関与している。骨シンチ上骨折部位が正常化するには 2 年はかかるといわれ⁷、一般に後期像のみからの予後判定は困難とされている⁸。ところが充血による血液量増加を伴い反応が旺盛でしかも有効な修復過程は、その活動性を示す放射能集積亢進がプール像にこそ忠実に反映された。すなわちプール像で集積亢進が高度であれば経過良好といえるが、受傷後 7 日以降に初めて判定可能となった。このため 7 日以降のプール像には、治癒過程と偽関節過程を判定できる可能性がある。

したがって後期像のみでは困難な予後判定もプール像を加味することで可能となる。また舟状骨周囲の集積も舟状骨自体の集積と同様の傾向があり、周囲の反応の活動性もプール像には反映され易い。修復過程は周囲の反応性に依存すると考えられるので、ここでもプール像での集積の多寡が、正に修復過程の活動性と有効性を反映する重要所見と考えられる。

一方、受傷直後の症例では舟状骨の灌流増加はプール像以上であり、外傷による軟部組織の急性炎症は血流相により鋭敏に反映される。そしてこの時期のプール像は洗い出しのある軽度の集積に

過ぎない。しかしそのプール像も受傷後 7 日以降では治癒過程をより忠実に反映している。洗い出しの起こる血流亢進や増加ではなく、局所の血液量すなわち充血を示している。このことから洗い出しのないプール像は、修復過程を血流相や後期像以上にむしろ厳密に反映したといえる。

長期経過の偽関節群のプール像で、高度に集積が亢進したのは、無症状で経過することのある偽関節に^{13,18)}、患者も記憶のないほどに軽微な損傷が加わっただけにもかかわらず、症状が再現し結果的には急性期に近い状況にあった症例があることも考えられる。

また近位骨片の放射能集積低下が受傷後 5 か月までの偽関節群に特徴的な所見であったが、これは舟状骨の血管支配に起因する。まず掌側で遠位の結節部が橈骨動脈から直接に分枝を受ける。その後腰部の背側辺縁部で橈骨動脈が手背側に移行した後の分枝を直接に受ける。しかし骨内吻合枝はほとんどない上に近位側の血流の主体は皮質直下の末梢枝の吻合からであるため^{27,28)}、骨折線が腰部から近位寄りにある場合は近位骨片の血流が遮断されることになり、修復は進行せず骨癒合が遅れて偽関節になり、さらには骨壊死にも陥とされている。われわれの症例でも偽関節へ進行中の症例や壊死例、そして一時的にでも血流の途絶えた症例等、修復が進行していない時期に 3 相骨シンチを施行された症例には近位骨片の放射能集積欠損があり、信頼性の高い所見である。しかも現実には骨壊死に陥る症例は少なく^{8,17)}、受傷後 5 か月以降の偽関節群では近位骨片の集積欠損は消失していた。手術時にはほとんどの近位骨片には修復が進んでおり、この時期にはすでに再開血流が確保されていたはずである。3 相骨シンチにはこれらの実情が十分反映されていた。さらに治癒過程群では受傷後 7 日以降の初期例から近位骨片を含めて、プール像後期像ともに高度の集積亢進があり、旺盛な修復を示す充血、血液量の増加と反応の亢進が認められた。これが治癒過程群の特徴例であり、近位骨片には早期から血流が確保されていたことになる。治癒過程群には靱帯の損

傷はあっても僅かで明らかな靱帯損傷を伴う DISI 変形等の転位はなかった。このため周囲からの血流再開は十分望める状況にあった²⁸⁾。

3 相骨シンチのプール像からは、骨折後の近位骨片の血流は周囲の靱帯から再開すると予想される。ただしこれを裏づける研究は少ない²⁸⁾。靱帯損傷がなく、あっても修復可能なほど軽度で、ギプス固定が有効であった経過良好例にプール像の集積亢進が高度に認められたことと、逆に displaced fracture 例に近位骨片の集積欠損が見られたことから、血流が再開するには掌側に位置する scapholunate ligament や radioscapholunate ligament の関与が大きいと思われる。このため 3 相骨シンチは急性反応の残る受傷後早期より、靱帯からの血流再開が始まっているギプス固定中のある時期に施行されることこそ重要で、病勢の把握のほか治療経過の判定や、治癒と偽関節の鑑別が重要となる予後の判定にも資する不可欠な検査法と思われる。

臨床上局所の血流動態や血液量、修復再生の状況を非侵襲的に画像化することは困難である。ひとり 3 相骨シンチにのみその可能性を託されるところであるが、われわれの少ないデータからでもその有用性は確認されたと思われる。その意味では 2 年近く骨折の影響が残る後期像⁷⁾よりも、プール像が特に有意義であり、現状把握のために優れていると思われる。

V. まとめ

舟状骨骨折に 3 相骨シンチを施行して、偽関節の診断や近位骨片の壊死の判定のほか、治療効果や予後の判定に関しても信頼できる診断手段であることが判明した。

血流相では経過良好例に橈骨動脈の血流亢進と灌流増加が見られた。またプール像は修復過程の有効性をより厳密に反映するので、後期像のみでは診断の困難な予後判定もプール像を加味することで可能となった。

3 相骨シンチはギプス固定中に施行されるのが最も有用である。

舟状骨骨折に、骨シンチグラフィを使って血管支配や血行動態、局所血液量の観点から解析した報告はほとんどない。治療経過の判定と骨壊死の診断の精度を高めるためにさらに検討を加えて行きたい。

文 献

- 1) Cave EF: The carpus, with reference to the fractured navicular bone. *Arch Surg* **40**: 54-76, 1940
- 2) Russe O: Fracture of the carpal navicular: Diagnosis, non-operative treatment and operative treatment. *J Bone Joint Surg* **42-A**: 759-768, 1960
- 3) Mazet R, Hohl M: Fractures of carpal navicular: Analysis of ninety-one cases and review of the literature. *J Bone Joint Surg* **45-A**: 82-112, 1963
- 4) Rosenthal L, Hill RO, Chuang S: Observation on the use of ^{99m}Tc -phosphate imaging in peripheral bone trauma. *Radiology* **119**: 637-641, 1976
- 5) Ganel A, Engel J, Oster Z, Farine I: Bone scanning in the assessment of fracture of scaphoid. *J Hand Surg* **4**: 540-543, 1979
- 6) Jorgensen TM, Andresen JR, Thommesen P, Hansen HH: Scanning and radiology of the carpal scaphoid bone. *Acta Orthop Scand* **50**: 663-665, 1979
- 7) Matin P: The appearance of bone scans following fractures, including immediate and long-term studies. *J Nucl Med* **20**: 1227-1231, 1979
- 8) Bellmore MC, Cummine JL, Crocker EF, Carseldine DB: The role of bone scans in the assessment of prognosis of scaphoid fractures. *Aust NZ J Surg* **53**: 133-137, 1983
- 9) Nielsen PT, Hedeboe J, Thommesen P: Bone scintigraphy in the evaluation of fracture of the carpal scaphoid bone. *Acta Orthop Scand* **54**: 303-306, 1983
- 10) Stordahl A, Schjoth A, Woxholt G, Fjermeros H: Bone scanning of fractures of the scaphoid. *J Hand Surg* **9-B**: 189-190, 1984
- 11) Brismar J: Skeletal scintigraphy of the wrist in suggested scaphoid fracture. *Acta Radiol* **29**: 101-107, 1988
- 12) Martire JR: The role of nuclear medicine bone scans in evaluating pain in athletic injuries. *Clin Sports Med* **6**: 713-737, 1987
- 13) London PS: The broken scaphoid bone: The case against pessimism. *J Bone Joint Surg* **43-B**: 237-244, 1961
- 14) McLaughlin HL, Parker JC: Fracture of the carpal navicular (scaphoid) bone: Gradations in therapy based upon pathology. *J Trauma* **9**: 311-319, 1969
- 15) Cooney WP, Dobyns JH, Linscheid RL: Fractures of the scaphoid: A rational approach to management. *Clin Orthop* **149**: 90-97, 1980
- 16) Weber ER: Biomechanical implications of scaphoid waist fractures. *Clin Orthop* **149**: 83-89, 1980
- 17) Leslie IJ, Dickson RA: The fractured carpal scaphoid: Natural history and factors influencing outcome. *J Bone Joint Surg* **63-B**: 225-230, 1981
- 18) Ruby LK, Stinson J, Belsky M: The natural history of scaphoid non-union: A review of fifty-five cases. *J Bone Joint Surg* **67-A**: 428-432, 1985
- 19) Desail A, Intenso C: The "Tourniquet effect". *J Nucl Med* **25**: 697-699, 1984
- 20) 牧野直樹, 石垣武男, 佐久間真行, 高松浩一, 角田賢二, 中村蓼吾: キーンベック病における 3 フェーズ骨シンチグラフィの有用性について. *核医学* **29**: 1419-1427, 1992
- 21) Duong RB, Nishiyama H, Mantil JC, Bever JD, Duong SL, Weinberg S: Kienboeck's disease: Scintigraphic demonstration in correlation with clinical, radiographic and pathologic finding. A case report. *Clin Nucl Med* **7**: 418-420, 1982
- 22) Park HM, Wheat LJ, Siddiqui AR, Burt RW, Robb JA, Ransburg RC, et al: Scintigraphic evaluation of diabetic osteomyelitis: Concise communication. *J Nucl Med* **23**: 569-573, 1982
- 23) Maurer AH, Holder LE, Espinola DA, Rupani HD, Wilgis EFS: Three-phase radionuclide scintigraphy of the hand. *Radiology* **146**: 761-775, 1983
- 24) Koman LA, Nunley JA, Wilkinson RH, Urbaniak JR, Coleman RE: Dynamic radionuclide imaging as a mean of evaluating vascular perfusion of the upper extremity: A preliminary report. *J Hand Surg* **8**: 424-434, 1983
- 25) Greyson ND, Tepperman PS: Three-phase bone studies in hemiplegia with reflex sympathetic dystrophy and the effect of disuse. *J Nucl Med* **25**: 423-429, 1984
- 26) Gelberman RH, Menson J: The vascularity of the scaphoid bone. *J Hand Surg* **5**: 508-513, 1980
- 27) Taleisnik J, Kelly PJ: The extraosseous and intraosseous blood supply of the scaphoid bone. *J Bone Joint Surg* **48-A**: 1125-1137, 1960
- 28) Travaglini F: Arterial circulation of the carpal bones. *Bull Hosp Joint Dis NY* **20**: 19-36, 1959

Summary

The Utility of Three-Phase Bone Scintigraphy in the Assessment of Fractured Carpal Scaphoid

Naoki MAKINO*, Takeo ISHIGAKI**, Koichi TAKAMATSU***, Kenji TSUNODA****, Toshihiko IMAEDA**** and Ryogo NAKAMURA****

**Department of Radiology, Toyota Memorial Hospital*

***Department of Radiology, Nagoya University School of Medicine*

****Department of Orthopedic Surgery, Toyota Memorial Hospital*

*****Department of Orthopedic Surgery, Nagoya University School of Medicine*

Thirty-seven joints in 36 patients with a fractured carpal scaphoid were evaluated by three-phase bone scintigraphy. They were classified into two groups according to their progress. Some were in good clinical condition and some in a non-union condition.

Increased blood flow in the radial arteries and ample perfusion on and around the scaphoid bones on blood flow images suggested a good clinical course. The activity and the effectiveness of remodeling correlated well with the degree of scaphoid uptake on blood pool images taken more than seven days after the injury. Scaphoid uptake was more localized or there was almost none on blood pool images in cases with nearly complete recovery while it was amply visualized on static

images. Blood pool images were indispensable for analyzing lesions and evaluating the clinical course.

Two typical findings of scaphoid fractures were found on both blood pool and static images. One was diffusely increased scaphoid uptake seen in cases with a good clinical course, and the other was decreased uptake at proximal fragments seen in cases with non-union.

It is concluded that three-phase bone scintigraphy provides useful information for evaluating the process of scaphoid fractures which cannot be obtained by means of conventional bone scintigraphy.

Key words: Three-phase bone scintigraphy, Scaphoid fracture, Non-union.