

〔原 著〕

骨折治癒過程のX線検査とゼロラジオグラフィによる観察

金子 昌幸, 大西 隆, 金子 和子,
後藤 邦彦, 稲垣 肇, 竹林 義人,
神田 秀治, 高野 英明, 小林 光道

東日本学園大学歯学部歯科放射線学講座
(主任: 金子 昌幸教授)

Healing Process of Bone Fractures Examined
with X-ray Radiography and Xeroradiography

Masayuki KANEKO, Takashi OHNISHI, Kazuko KANEKO,
Kunihiko GOTOH, Hajime INAGAKI, Yoshito TAKEBAYASHI,
Shuji KANDA, Hideaki TAKANO and Terumichi KOBAYASHI

Department of Dental Radiology, School of Dentistry,
HIGASHI-NIPPON-GAKUEN UNIVERSITY

(Chief: Prof. Masayuki KANEKO)

Abstract

The healing process of bone fractures produced in rat mandibulae was examined with conventional X-ray radiography and xeroradiography. Sixty rats of about 200g were offered to this examination and fractures were experimentally produced in the right mandibulae. Radiological observations were carried out immediately, 1 day, 4 days, 7 days, 14 days, 21 days, 28 days, 35 days, 42 days, 49 days and 56 days after fracturing.

The conventional X-ray radiograms showed no noteworthy changes until the 4th day after fracturing. The radiopacity gradually increased from the 7th Day until the 56th day.

The xeroradiograms obtained on the 4th day showed some early changes which appeared on the periosteal regions of the right mandibulae. The calcification of fractured regions on the xeroradiograms gradually increased until the 56th day, similar to that observed on the conventional X-ray radiograms.

受付: 平成元年2月8日

Key Words: Healing process of bone fracture, conventional X-ray radiography, xeroradiography, rat mandibulae, selenium plate.

はじめに

歯科領域における新しい放射線学的検査法の1つとして、デンタルゼロラジオグラフィが開発されてから、数年が経過した。現在では日常の歯科臨床に欠くことの出来ない検査法として定着している。しかし、ゼロラジオグラフィの利用は実際の臨床利用に限られているのが現状であり、小動物を用いた実験的研究に利用されたとの報告は極めて少ない。骨折治癒過程についての研究は、多くが軟X線検査と病理検査によって為されたものである。そこで、今回、われわれはラット顎骨の骨折治癒過程を、通常

で経日的に観察し、得られた所見を比較検討したので報告する。

材料と方法

実験動物としては、体重200g前後の雄性ラットを使用した。ラットは使用に先立って、一定条件の室内で、約1週間の予備飼育を行った。骨折の作成方法は、右側下顎骨々体部を皮膚外側より鉗子ではさみ、可及的に同一条件の骨折を作成する方法をとった。骨折後の観察は、骨折直後、1日目、4日目、7日目、14日目、21日目、28日目、35日目、42日目、49日目、56日目に行うこととし、対照と各観察時期に5匹ずつ、合計60匹を供した。

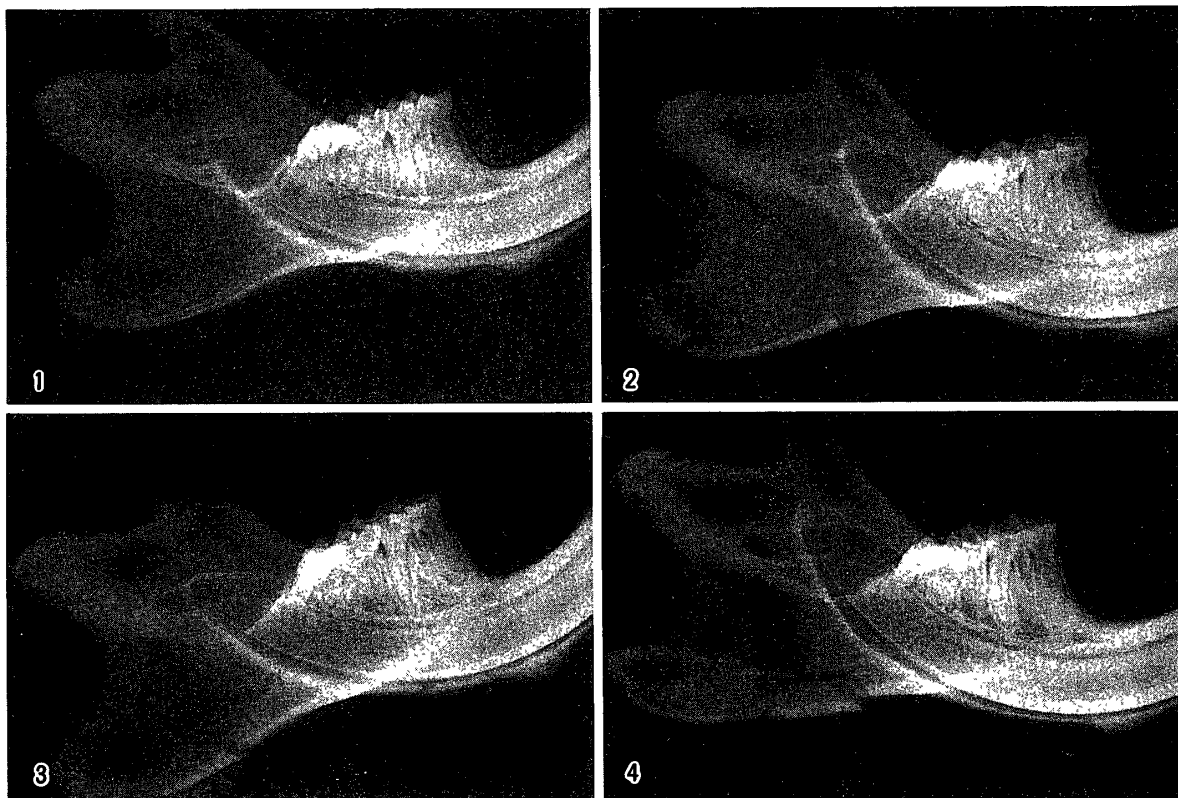


Fig. 1 Conventional X-ray radiogram obtained from the normal rat.
 Fig. 2 Conventional X-ray radiogram obtained immediately after fracturing.
 Fig. 3 Conventional X-ray radiogram obtained on the 1st day after fracturing.
 Fig. 4 Conventional X-ray radiogram obtained on the 4th day after fracturing.

観察の方法は、各観察日に5匹ずつを屠殺し、下顎骨を摘出した後に、可及的に軟組織を除去して、X線写真とゼロラジオグラムを得ることとした。X線撮影は、歯科用X線装置を用い、管電圧60kVp、管電流10mA、距離15cm、照射時間0.4秒の条件で行った。ゼロラジオグラフィは、X線検査に供したものと同一の摘出下顎骨を用い、ひと下顎小白歯部の条件で、距離15cmにて撮影した。X線撮影およびゼロラジオグラフィともに、下顎骨はフィルムならびにカセットに密着させ、可及的にライフサイズに近付けることとした。X線フィルムはkodak社製ウルトラスピードデンタルX線フィルムを用い、現像は同社の指定現像に従った。

結 果

(1) X線検査

対照では、下顎骨々体部の下縁骨皮質が、明瞭なX線不透過像として描出されている。骨折直後では、骨折線が明瞭なX線透過像として認められ、骨折端は鮮鋭かつ不規則である。新生仮骨の出現を認める所見は何等認められない。骨折後1日目でも、骨折直後と同様の所見を示す。骨折後4日目では、骨折端がわずかながら滑らかとなった所見を示すものの、骨折線は未だに明瞭なX線透過像を呈する。新生仮骨の出現を思わせる所見は何等認められない。しかし、骨折後7日目になると、下顎骨々体部下縁骨皮質の外側に、新生仮骨の形成開始を思わせるX線不透過像が認められ始め、外骨膜性に石灰化が開始された所見を呈する。また、骨折線内部

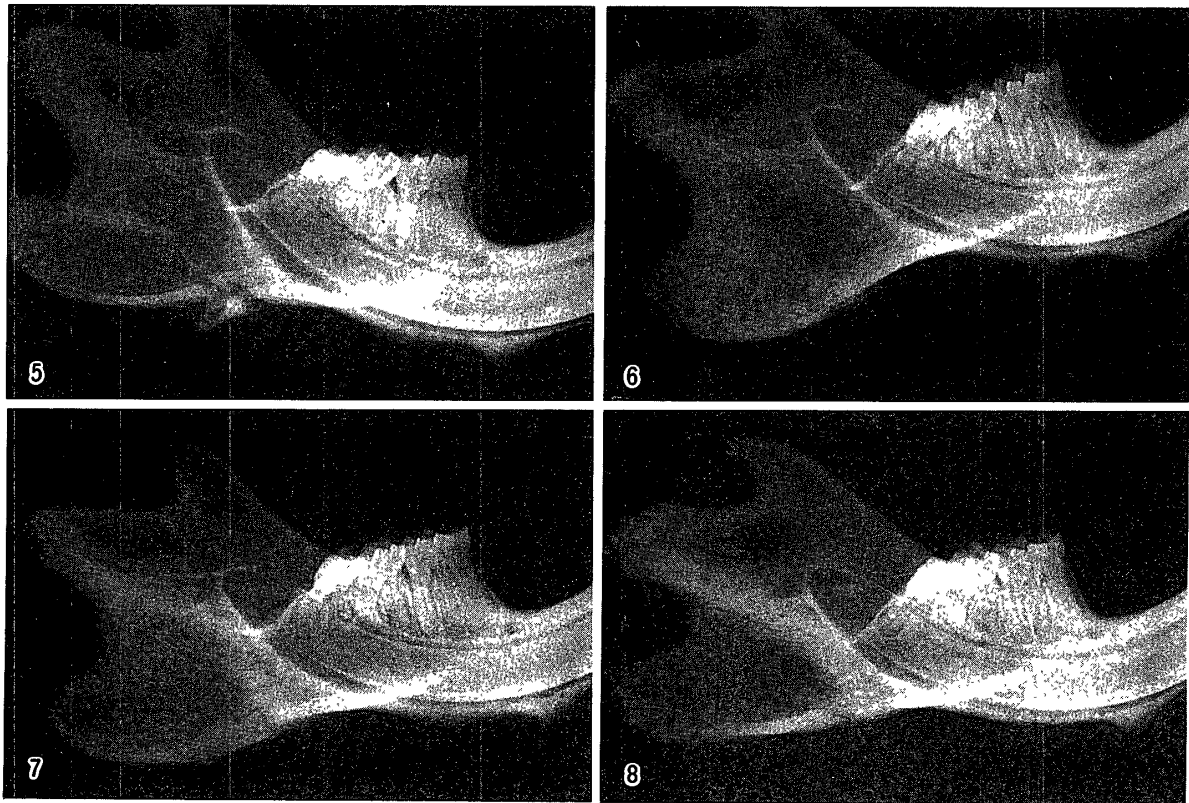


Fig. 5 Conventional X-ray radiogram obtained on the 7th day after fracturing.
 Fig. 6 Conventional X-ray radiogram obtained on the 14th day after fracturing.
 Fig. 7 Conventional X-ray radiogram obtained on the 21st day after fracturing.
 Fig. 8 Conventional X-ray radiogram obtained on the 28th day after fracturing.

も新生仮骨によってX線透過性が減弱し、内部に石灰化が開始された所見を呈する。骨折後14日目では、骨折端両側の下縁骨皮質部に新生仮骨の存在が膨隆状に認められる。骨折線は新生仮骨の形成によって網状に架橋された所見を呈するが、透過性は正常部よりも未だに強い所見を示す。骨折後21日目では、骨折端が新生仮骨によって完全に架橋された所見を呈する。しかし、骨折線は弱いながらも、骨皮質部においてX線透過像として認められる。骨折後28日目でも、石灰化がさらに充進しているものの、21日目とほぼ同様の所見を示す。骨折後35日目では、骨折端は完全に架橋が成され、石灰化の程度も正常骨とほぼ同程度となったが、骨皮質のX線透過性は未だに不均一のままである。骨折後42日目では、骨折線が全く認められず、骨皮質の再生も、正常骨と同様の所見を示す。49日目か

ら56日目では、正常骨（対照）との区別は全く不可能である。

(2) ゼロラジオグラム所見

対照では、下顎骨々体部の下縁骨皮質が明瞭なX線不透過像として認められる。骨折直後では、骨折端の辺縁は不規則かつ鮮鋭であり、骨折線は明瞭なX線透過像として認められる。X線所見に比較して、よりコントラストが強く、骨折線はより明瞭であるが、新生仮骨の出現を思わせる所見は全く認められない。骨折後1日目でも、骨折直後と同様の所見を示す。骨折4日目になると、骨折線は未だに明瞭に認められるが、下縁骨皮質部の骨折線をはさむ近心側骨皮質外側に、新生仮骨の出現が膨隆状に認められ始める。7日目では、骨皮質外側における新生仮骨は更に明瞭となり、骨折線内部の透過性もより減弱した所見を呈する。骨折後14日目では、

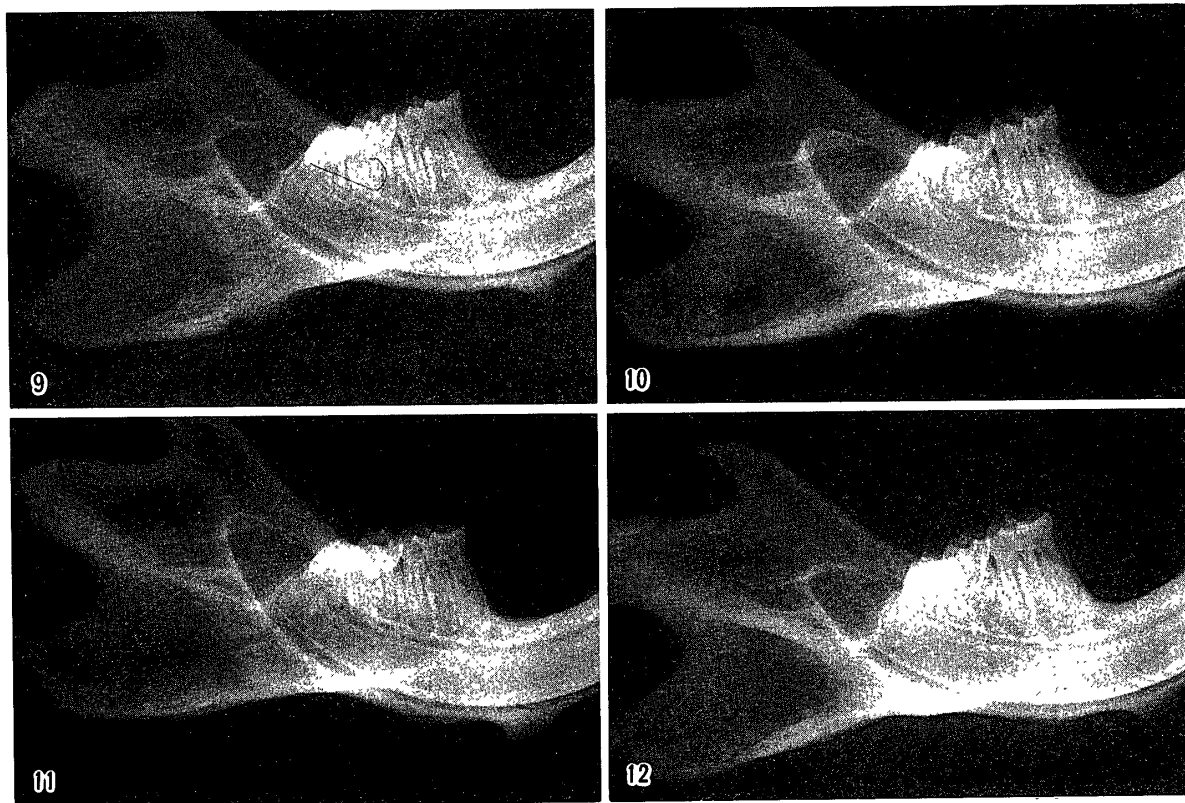


Fig. 9 Conventional X-ray radiogram obtained on the 35th day after fracturing.

Fig. 10 Conventional X-ray radiogram obtained on the 42nd day after fracturing.

Fig. 11 Conventional X-ray radiogram obtained on the 49th day after fracturing.

Fig. 12 Conventional X-ray radiogram obtained on the 56th day after fracturing.

X線所見に一致して、下顎骨々皮質部の骨折端近心側の外側に新生仮骨の膨隆が明瞭に認められる。骨折線は、内部に形成された新生仮骨によって弱いX線透過像として認められる。X線所見では骨折線が弱いX線透過像として認められた骨折後21日目であるが、ゼロラジオグラフィでは未だにより明瞭なX線透過像として認められる。骨折後28日目になると、X線所見では、骨折線が半透過像として認められる程度であるが、ゼロラジオグラフィでは、未だに骨体部骨皮質から下顎枝にわたるより強いX線透過像として認められる。しかし、骨折後35日目になると、ゼロラジオグラム上の骨折線も、X線写真上の骨折線と同様のX線透過性を示し、肉眼的な相違は、骨梁がより明瞭に認められるか否かの程度である。42日目、49日目もX線所見と同様の所見を示し、56日目では正常骨との相違は

全く認められない。

考 察

ゼロラジオグラフィの医学領域における利用の試みは、比較的古くから行われてきたが¹⁾、長い間、いずれも実用化される段階までには至らなかった。真の意味の実用化は、Xerox125 Systemまで待つこととなった。その後、本格的なゼロラジオグラフィによる臨床的研究が開始されたといえる^{2,3)}。現在では、画像診断のための、欠くべからざる方法として定着している。一方、歯科領域におけるゼロラジオグラフィの臨床的応用の試みも、医学領域と同じ頃から開始されている。Pogorzxelaka-Stronczak⁴⁾は歯科用フィルムと同じサイズのプレートを作成し、dental apical xeroradiographyの撮影を試みた。また、Lopinskaら⁵⁾もperiapical xeroradio-

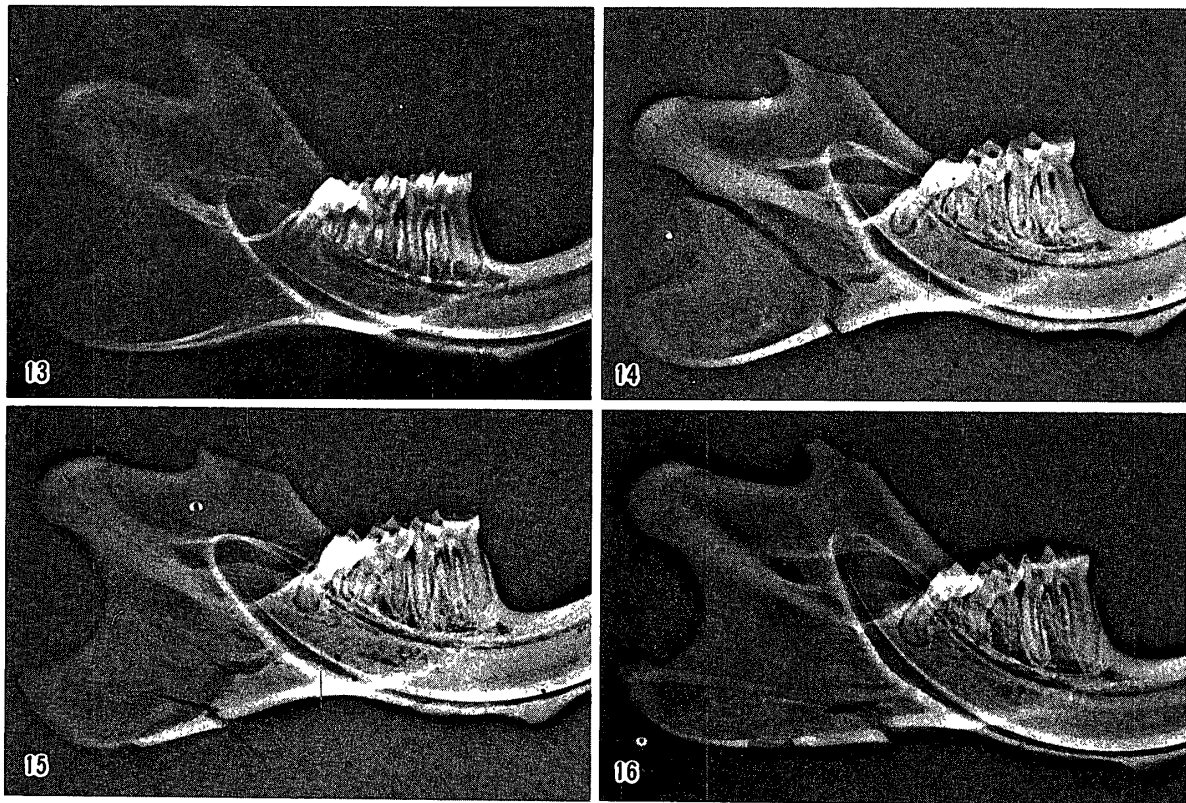


Fig. 13 Xeroradiogram obtained from the normal rat
 Fig. 14 Xeroradiogram obtained immediately after fracturing.
 Fig. 15 Xeroradiogram obtained on the 1st day after fracturing.
 Fig. 16 Xeroradiogram obtained on the 4th day after fracturing.

graphyの2例を報告している。しかし、これらの試みも、医学領域と同様に、実用化に至るものでは無かった。その後、White⁹⁾が歯科用ゼロラジオグラフィ装置を試作して、Xerox 125 systemとの比較、ならびに歯科用フィルムとの比較を行った。1980年になってから、Dental Xeroradiography 110 Systemという歯科専用のX線電子写真装置が確立された。本邦においても、1984年から販売が開始されることとなり、現在に至っている。

ゼロラジオグラフィは電子複写の原理を利用したものであり、X線フィルムの代わりにセレンを蒸着したアルミ板を感光板として用い、帯電部にカーボンの粉末を吸着させて画像化するものである⁷⁻⁹⁾。従って、エッジ効果による高コントラストの画像となり、マッハ効果によってより明瞭な画像として認識される。これらの特

性から、歯槽硬線や骨梁の観察など、微細な構造の把握が要求される歯科領域の診断に、最も適した検査法の1つと考えられる。

ゼロラジオグラフィの利点は、従来のX線フィルムによるイメージに比較して、高コントラストのイメージが得られ、微細構造の把握が容易であること、従来の1/2以下の被曝線量であること、画像化するまでの時間が短いこと、複雑な写真処理を必要としないことなどが挙げられる。事実、日常の臨床においても、骨梁の観察や唾液腺造影の観察には、極めて有用であることが多い⁹⁻¹³⁾。また、近年では、パノラマ撮影をゼロラジオグラフィで行うことも試みられ¹⁴⁾、骨折、嚢胞あるいは腫瘍など種々の病変についての報告も認められる¹⁵⁾。これらの報告から、ゼロラジオグラフィによる診断は、より判定の下しやすいものと考えられる。

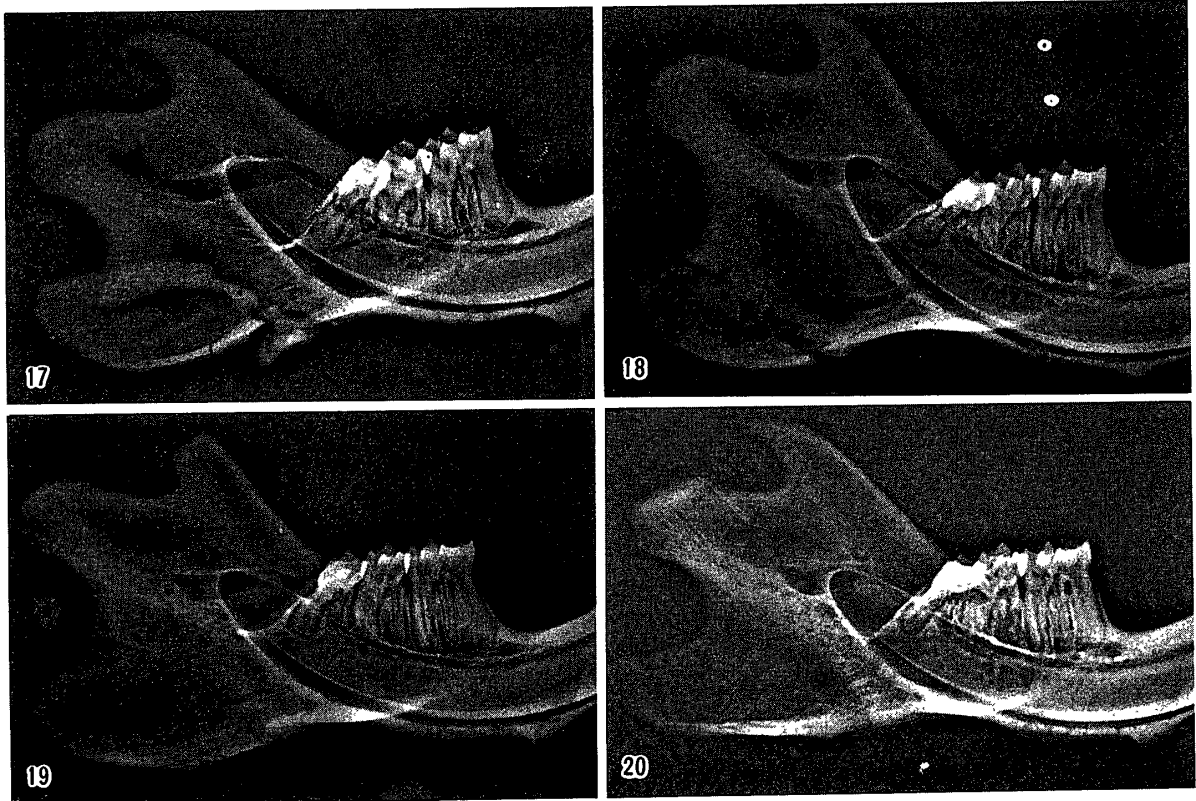


Fig. 17 Xeroradiogram obtained on the 7th day after fracturing.
 Fig. 18 Xeroradiogram obtained on the 14th day after fracturing.
 Fig. 19 Xeroradiogram obtained on the 21st day after fracturing.
 Fig. 20 Xeroradiogram obtained on the 28th day after fracturing.

しかし、これらの利点を持ちながらも、ゼロラジオグラフィの利用は臨床分野のみに限られているのが現状であり、微細な観察が要求される実験的研究に利用されたとの報告はほとんど認められない。わずかに佐藤¹⁶⁾の報告が認められる程度である。佐藤¹⁶⁾はラット顎骨に実験的骨折を作成し、その治癒過程を軟X線検査、ゼロラジオグラフィ、骨シンチグラフィで検索した。その結果、ゼロラジオグラフィで得られたイメージは軟X線検査で得られたイメージよりも、より明瞭であったと述べている。

われわれの実験は佐藤¹⁶⁾とは異なり、通常のX線検査とゼロラジオグラフィで検索したものである。しかし、得られた結果は、佐藤¹⁶⁾と同様であり、骨折後4日目から、X線検査では認められなかった新生仮骨の出現が、ゼロラジオグラフィで明瞭に認められ始めた。初期の微細な変

化の観察には、ゼロラジオグラフィがより有効であることが確認された。また、通常のX線検査では骨折部と正常部の相違が不明瞭となる28日目以後でも、ゼロラジオグラフィでは骨折線が明瞭に描出され、わずかな石灰化の相違をも明瞭に描出出来ることが確認された。これらの時期の検索には、X線検査よりも、ゼロラジオグラフィがより勝っていることが明らかとなった。

一方、X線検査による顎骨々折治癒過程の観察は、同一個体を用いて、同一条件で生存状態のまま観察できることが最も望ましい。しかし、通常の歯科用X線装置は、管電圧が60kVp内外であり、X線フィルムの性質からも、微細な解剖学的構造を明瞭に把握することは困難である。このような欠点を補うために、これまでの実験の多くでは、より鮮鋭度の高い軟X線撮影が好んで用いられてきた。われわれは、摘出し

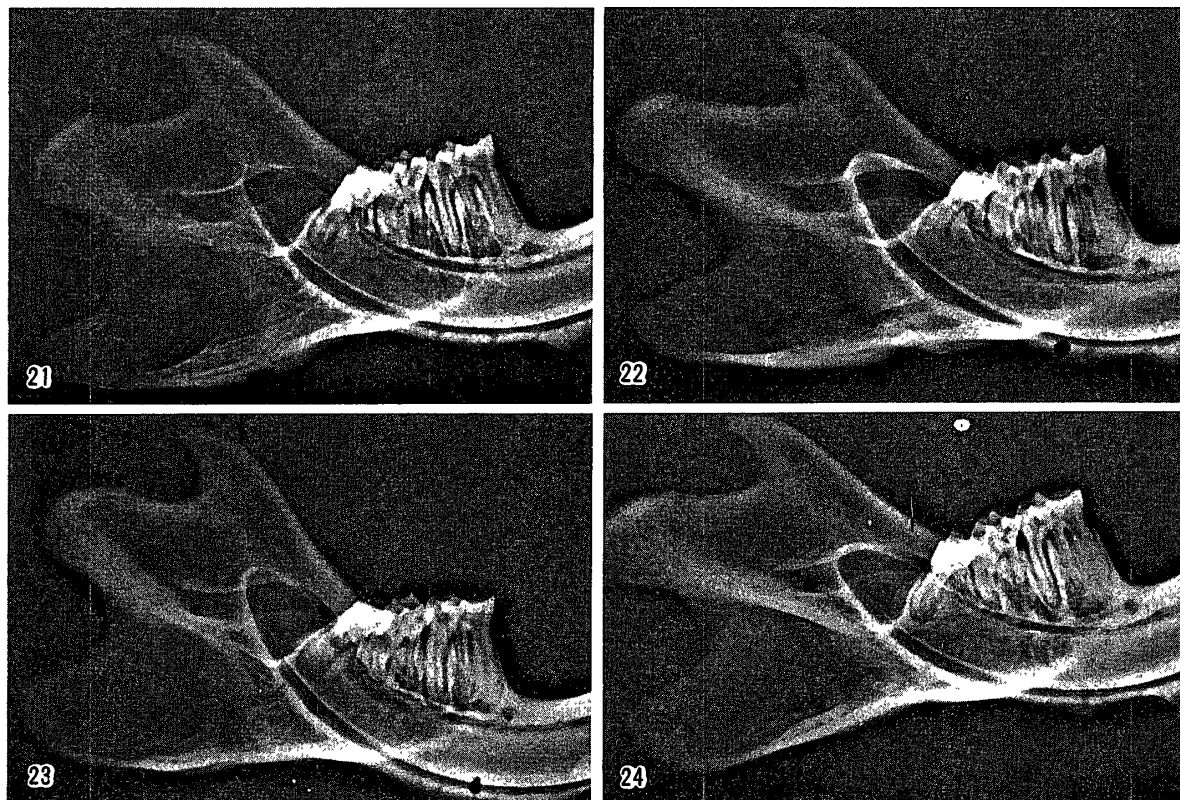


Fig. 21 Xeroradiogram obtained on the 35th day after fracturing.
 Fig. 22 Xeroradiogram obtained on the 42nd day after fracturing.
 Fig. 23 Xeroradiogram obtained on the 49th day after fracturing.
 Fig. 24 Xeroradiogram obtained on the 56th day after fracturing.

た組織を通常の診断用X線写真で観察したが、その結果は金子ら¹⁷⁾の報告と同様であり、線質と線量を調整すれば、かなり明瞭な画像を得られることが判明した。金子ら¹⁸⁾および佐藤¹⁶⁾の報告の中で見られる軟X線写真と、ほぼ同程度の解像力を示すものであった。

いずれにしても、X線所見およびゼロラジオグラム所見の両者とも、骨折作成後14日目までは新生仮骨が盛んに形成される時期であることが推測された。また、21日目以後に得られた所見は、新生仮骨が徐々に石灰化を亢進し、正常の骨構造に近づく過程であることが推測され、49日目を過ぎると、石灰化の程度が正常骨と同等となり、新生仮骨の骨化が完了していることが推測された。

結 論

今回、われわれは、ラット顎骨の骨折治癒過程を通常のX線検査とゼロラジオグラフィで経日的に観察し、両者で得られた所見を比較して前述のごとくの結果と以下の結論を得た。

- (1) X線検査では、骨折後4日目まで、新生仮骨の出現は認められなかった。7日目から骨折線内部の石灰化開始と、骨皮質外側における新生仮骨の出現が認められ始めた。その後、石灰化は徐々に亢進し、35日目からは対照群と同様のX線所見を示した。
- (2) ゼロラジオグラフィは、骨折後4日目から、新生仮骨の出現が骨皮質外側に認められ始めた。その後、骨折部の石灰化は徐々に亢進し、X線所見とほぼ同様の経過を示した。しかし、骨折線は35日目まで明瞭に認められ、ゼロラジオグラフィの鋭敏性が証明された。42日目以後では骨折線は認められず、対照群と同様のX線所見を示した。

文 献

1. Campbell, C.J., Roach, J.F. and Grisolia, A. : A comparative study of xeroradiography in the recording of rentgen image of bone specimens, *J. Bone and Joint surgery*, 39-A ; 577-588, 1957.
2. Wolfe, J.N. : Xeroradiography of the bones, joints, and soft tissues, *Radiology*, 93 ; 583-587, 1969.
3. Wolf, J.M., Dooley, R.P. and Harkins, L.E. : Xeroradiography of the breast: A comparative study with conventional film mammography, *Cancer*, 28 ; 1569-1574, 1971.
4. Pogorzelska-Stronczak, B. : The use of xeroradiography in dentistry, *Pol. Rev. Radiol. Nucl. Med.*, 27 ; 266-276, 1963.
5. Lapinskas, V. A. and Lapinskene, A. V. : Xeroradiography and the prospects of its use in stomatology, *Stomatologija*, 47 ; 35-38, 1968.
6. White, S.C., Stafford, M.L. and Beeninga, L. R. : Intra-oral xeroradiography, *Oral Surg.*, 46 ; 862-870, 1978.
7. Reiskin, A.B. : *Advances in Dental Radiology*, 55-65, PSG Publishing Company, Littleton, Massachusetts, 1980.
8. 東与光, 青山亘, 鈴木信一郎 : *Oral Radiology*, 改訂第7版, 日本医事新報社, 256-258, 東京, 1987.
9. 鹿島勇 : *Dental Xeroradiography～基礎と臨床への応用～*, 学際企画, 東京, 1984.
10. 山口治利, 中村卓, 神田重信 : 著名な主管拡張を呈したSjögren's syndromeの耳下腺像, *歯放*, 21 ; 45-46, 1981.
11. 三輪邦弘, 湯浅賢二, 神田重信 : Renal osteodystrophy 患者の手の xeroradiogram : *歯放*, 20 ; 298-299, 1981.
12. Takashi NAKAMURA, Harutoshi YAMAGUCHI and Shigenobu KANDA : Disappearance of metastatic calcification in hand with renal osteodystrophy, *Dent. Radiol.*, 20 ; 295-297, 1981.
13. Kashima, I., et al. : Clinical application of new high quality imaging system, *KANAGAWA Bultin*, 10 ; 1983.
14. 古跡養之眞, 古跡孝和, 牧野高雄 : パノラミックゼロラジオグラフィ, *歯放*, 23 ; 210-211, 1984.
15. 佐藤強志, 河野一典, 末永重明, 藤村三千代, 森田康彦, 野井倉武憲, 山下佐英 : 急激な顎骨侵襲を来した癌腫の3例, *歯放*, 26 ; 42-47, 1986.
16. 佐藤和夫 : 骨シンチグラフィとゼロラジオグラ

1. Campbell, C.J., Roach, J.F. and Grisolia, A. :

- フィーを用いた骨傷治癒過程に関する基礎的研究,
神奈川歯学, 22:490-505, 1987.
17. 金子和子, 前田静一, 郭東英, 小林光道, 金子昌幸:
ラット顎骨骨折治癒過程に関する実験的研究, 口科
誌, 38:66-81, 1989.
18. 金子昌幸, 前田静一, 後藤邦彦, 佐野友昭, 郭東英,
大西隆, 金子和子: 骨傷治癒過程の実験的検討—軟
X線所見とマイクロラジオグラム所見を中心に—,
東日本歯誌, 6:31-37, 1987.