

老 化 と 骨 折

濱 弘 道

Fracture Associated with Aging

Hiromichi HAMA

Abstract: With advancing age, bone shows the increase of non-reducible cross links of collagen and biomechanical fragility, which often causes fracture. Bone with aging tends to be low turnover osteoporosis often combined with osteomalacia, which shows low level of calcium and phosphorus in blood. Roentgenological criteria of osteoporosis are biconcavity index of the lumbar spine, metacarpal score and trabecular grading pattern of the femoral neck. Three fractures associated with aging are fracture of the femoral neck, the distal end of the radius and compression fracture of the spine. The prevention of osteoporosis is extremely important as those fractures are closely related to osteoporosis.

Key words: aging, collagen, cross links, osteoporosis, compression fracture, femoral neck fracture.

は じ め に

骨は骨細胞、骨芽細胞、破骨細胞といった細胞と、細胞外基質すなわち有機骨基質としての collagen, proteoglycan, また無機骨基質としての Ca, P などからなりたっている。このような骨が、脳・脊髄・肺などの器官の保護あるいは Ca, P などの貯蔵といった作用以外に、機械的支持という、もう一つの大きな機能を果たすためには、それだけの強度が必要である。

しかし、老化が進むとその強度を次第に失い、容易に骨折を起こすことが知られている。高齢

化社会では、この老化と骨折の問題はきわめて重要である。

骨の老化と骨粗鬆症

骨の力学的強度と最も関連の深いのは collagen であるが、これは骨芽細胞より生成され、細胞外に出て架橋形成が行われ、線維となる(図1)。その加齢による変化は、他の組織ほどには明らかにされていない。老化にしたがい、皮膚、腱、靱帯などがその弾性を失い、硬化するのは、collagen の蓄積のためであるとこれまで考えられてきたが、最近では、むしろ合成された collagen 分子の化学構造上の変化にあると考えられるに至った。

すなわち、collagen は中性塩、酸、アルカリ

京都大学医療技術短期大学部理学療法学科
Division of Physical Therapy, College of Medical
Technology, Kyoto University.
1985年6月29日受付

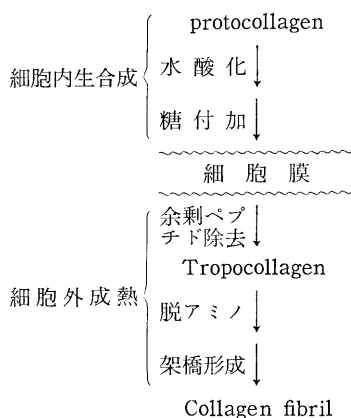
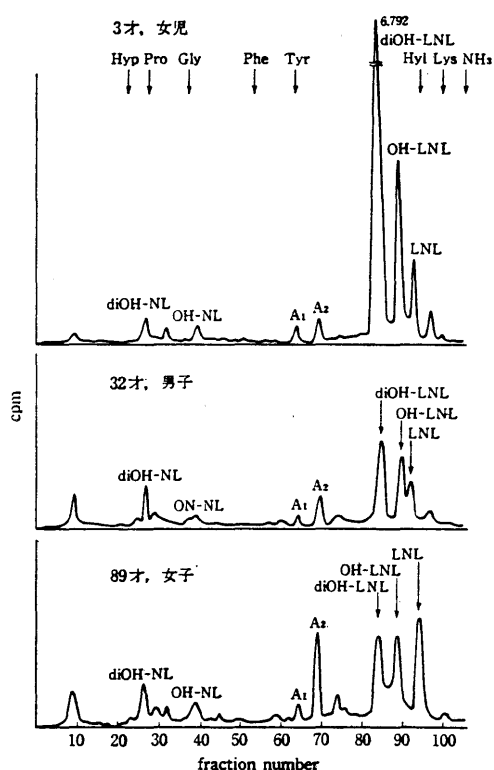


図1 Collagenの合成と成熟

により分解されるが、幼若な場合は中性塩可溶性 collagen が多く、年齢とともに不溶性となってくる。加齢による、この差異には分子内、分子間架橋結合の存在が関係し、分子内の aldol 縮合型結合あるいは分子間の Schiff 塩基型結合という、架橋結合の形成量が老化にしたがって増加し、しかもこの結合がとくに、 NaB^3H_4 (ホウ化水素ナトリウム) によって還元される、還元性架橋結合 dihydroxy-lysionorleucine (diOH-LNL) であるとされてきた。ところが実際には、この還元性架橋結合は加齢とともに著明に減少し、この NaB^3H_4 でも還元されない、より複雑で、かつ安定した架橋結合すなわち非還元性架橋結合に変化し、増加していることが明らかにされている¹⁾(図2)。

このような変化が、骨の力学的強度とどのような関係にあるかについては、残念ながらこれまでのところ、明確な結果を示したものはない。ただ老化が進み、collagen の架橋結合が、より安定したものに变化すると反比例して、tensile strength などは減弱し、かえって脆弱性を示すことが明らかにされている。Yamada²⁾ は新鮮骨皮質で tensile strength, compressive strength, bending strength, elasticity などが加齢とともに減弱していることを示し、また、Lindahl & Lindgren³⁾ も大腿骨、上腕骨について同様のことを男女差も含めて明らかにしている(図3)。



diOH-NL: dihydroxynorleucine, OH-NL: hydroxynorleucine, A₁+A₂: hexosylhydroxylysine, diOH-LNL: dihydroxylysionorleucine, OH-LNL: hydroxylysionorleucine, LNL: lysionorleucine

図2 骨コラーゲンの架橋結合分析パターン (藤井克之ら: 骨, 関節軟骨の老化とコラーゲン, 整形外科32, 420, 1981より)

ところで、骨はたえず形成と吸収を行い、remodeling しているが、もしその平衡がくずれ、吸収が大となれば、骨はいわゆる骨量を減じ、粗糙化する。細胞、有機骨基質、無機骨基質を合わせた、このいわゆる骨量が減少している状態は骨粗鬆症とよばれている。老人に起こった骨粗鬆症は、形成率、吸収率ともに減少し、しかも吸収率がより大きい場合に生ずるもので、低回転性骨粗鬆症といわれる。

ここに、興味ある調査結果がある。水野⁴⁾ は 292 名のねたきり老人を家庭訪問し、種々の検査を行った。X線検査では変形性疾患以外に、きわめて多くの骨折ないし骨折類似所見を発見したが、脊椎圧迫骨折は確診、疑診あわせて71

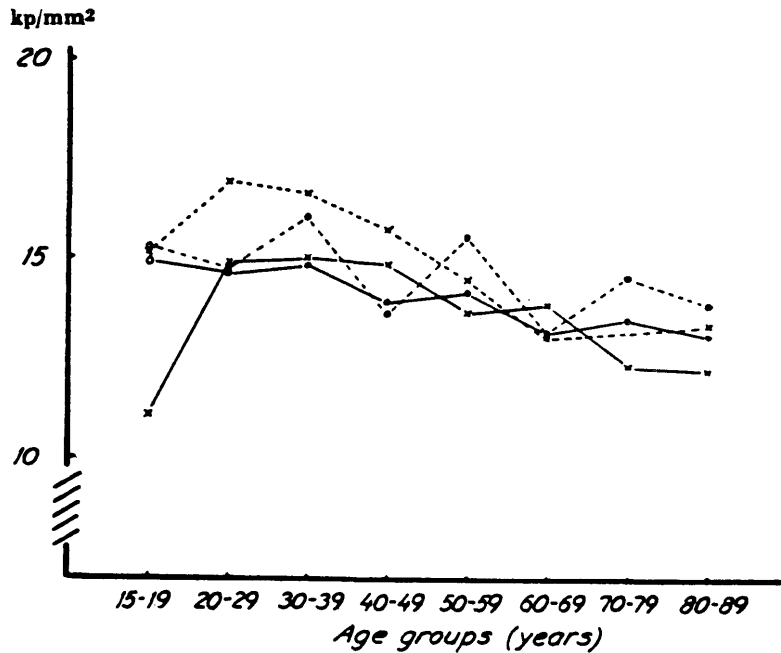


図3 大腿骨、上腕骨の張力の比較 (Lindahl, O. & Lindgren, A. G.: Cortical bone in man. II. Variation in tensile strength with age and sex. Acta orthop. scand. 38:144, 1967. より)
Men o. women x. femur ———, humerus

例 (24.3%) と最も多くみられた。大腿骨頸部骨折は46例 (15.8%) で、そのうち50%は本人、家族とも骨折と知らなかったという (表1)。すなわち、受傷機序が軽微な捻挫や打撲といっ

表1 ねたきり老人 (292名) のX線検査結果 (水野耕作ら: ねたきり老人の骨代謝—骨変化ならびに生化学的変化—, 日整会誌 52: 173, 1978より)

	確	疑
肋骨骨折	17	17
脊椎圧迫骨折	50	21
変形性脊椎症 (高度のみ)	47	32
大腿骨頸部骨折 (彎曲も含む)	46	
大腿骨骨折	6	
膝・変形性関節症 (高度のみ)	33	13
胫骨彎曲	3	
橈骨骨折	11	
変形性股関節症	5	

た程度のもので、いかに容易に骨折が起こるかを示している。そして、骨折のため歩行が不能になって、日照の悪い部屋に閉じこもり、したがって食欲も低下し、栄養摂取不足となって骨の廃用性萎縮とともに、骨軟化症の要素が全身の骨に生じたものと考えられるとしているが、肋骨骨折が確診、疑診あわせて34例 (11.6%) もみられたという。これらは、いずれも外傷の既往がなく、しかも著明な胸郭変形を起こしていたとされている。また橈骨骨折11例 (3.7%) は、Colles 骨折のような転位著明なものでなく、骨折線が線状となったもので、体位変換時に手をついただけで起こったものと考えられるものであった。また、これらを男女比でみると、変形性疾患は男女差がないのに反し、骨折は圧倒的に女性に多く、とくに脊椎圧迫骨折は1:8と顕著であった (表2)。estrogen 不足の影響が強く示唆される所見であるが、その骨折像が

表2 ねたきり老人(292名)の骨異常者の男女別
百分比(水野耕作ら：ねたきり老人の骨代
謝一骨変化ならびに生化学的变化一，日整
会誌52：173，1978より)

	男	女
肋骨骨折……………	17.6%	82.4%
脊椎圧迫骨折……………	11.3	88.7
大腿骨頸部骨折……………	20.0	80.0
橈骨骨折……………	27.3	72.7
大腿骨骨折ほか……………	33.3	66.7
(計)……………	(17.1)	(82.9)
変形性脊椎症……………	57.0	43.0
変形性膝関節症……………	30.4	69.6
(計)……………	(47.2)	(52.8)

変形，弯曲といった特殊な状態にあり，これは血液生化学的所見ともあわせて，骨軟化症との合併を示唆するとしている。骨軟化症とは骨の中に類骨組織が過剰にある状態で，Ca，Pの沈着が障害されているものである。血中Ca，P値は，骨粗鬆症では正常であるが，ねたきり老人では低値であり，したがって，骨代謝活動の低下は明らかである。また，alkaline phosphataseは57名(19.5%)に上昇をみ，また複数の骨折を合併している37例中，19例(51.4%)に上昇があり，これは単独骨折76例中，19例(25.0%)と比較して大きな差異を示していた(表3)。

これらはねたきり老人という特殊な母集団からの調査結果ではあるが，老人の骨折の特殊性を示しているといえる。このように，骨粗鬆症と骨軟化症との合併は骨量の減少を意味し，生体力学的脆弱性の要因になりうると思われる。

表3 ねたきり老人(292名)のアルカリフォス
ファターゼ上昇例の分布(水野耕作ら：ねた
きり老人の骨代謝一骨変化ならびに生化学
的变化一，日整会誌52：181，1978より)

	症例	Al-P $\uparrow$	%
全ねたきり老人	292	57	19.5
骨折様所見のないもの	179	19	10.6
骨折様所見のあるもの	113	38	33.6
1部位のみの骨折群	76	14	25.0
複数部位の骨折群	37	19	51.3

骨の老化の診断

以上のような骨の老化，とくに骨粗鬆症の診断に際し，もちいられる方法としてはX線検査と血液生化学的検査がある⁹⁾。

X線検査：

皮質骨ではその幅が減少し，海綿骨では骨梁の数，幅の減少が認められる。第3腰椎，股関節，左第2中手骨について，それぞれ，index，score，gradingを出す方法が行われている(図4)。

脊椎では，水平骨梁の細小化，減少，ついには消失，さらに椎体の楔状化，扁平化が起こる。これは多数椎にみられることが多いが，第3腰椎椎体の前縁高と中央高の比が，一応の指標となっている。

中手骨では皮質の細小化が検討されるが，皮質の幅を髓腔の幅との比で表わすことで程度を分けている。

大腿骨では，Singh¹⁰⁾の分類でみるように，その近位部の骨梁の変化を6段階に分け，第1次引っぱり骨梁の消失，第1次圧縮骨梁の菲薄化を最も高度の骨粗鬆症としている。

海綿骨の方が皮質骨より代謝回転が大であるため，多くの場合，これらの変化は脊椎に初発する。

血液生化学的検査：

Ca，P，alkaline phosphataseが正常であることを証明する必要がある。ただ，Ca×Pの積は低値を示すことが多く，通常20以下である。しかし，これらに異常のあることも多く，これは先述のように老人の骨粗鬆症には骨軟化症が合併することの多い事実を示唆している。

vitamin Dの活性型，1,25-(OH)₂D₃は低値とするのが最近の考え方であり，これはvitamin Dが腸管からのCa吸収を促進するほか，Pの吸収も促すため，Ca×P値をあげ，石灰化を促進し，また直接，骨を刺激し骨形成を促していることを考えれば当然のことである。

Ca調節にあづかる副甲状腺ホルモンには骨吸収促進作用があるため，老化とともに高値を

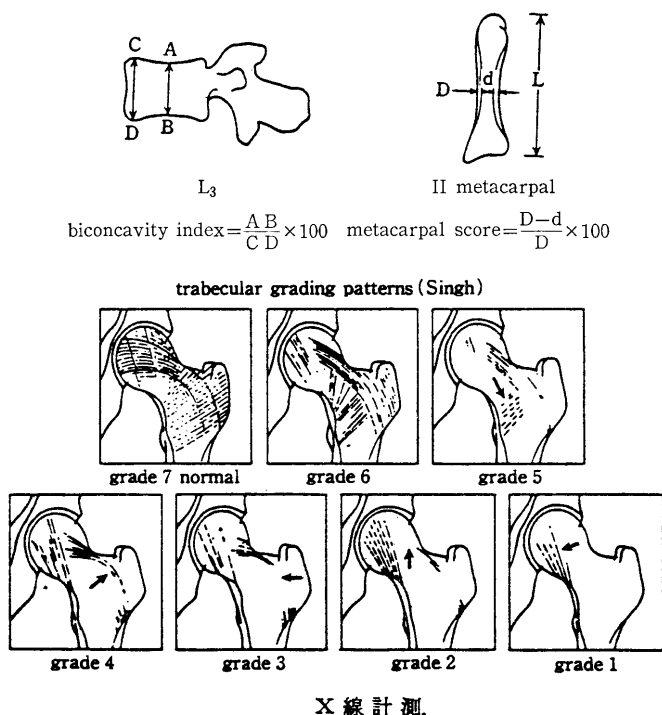


図4 骨粗鬆症のX線計測 (広谷速人ら: 骨粗鬆症の病態, 整形外科 32: 460, 1981より一部改変)

示するのが普通である。

calcitonine は、1963年、ラット甲状腺において発見された、polypeptide hormone で、その後、ヒト、ブタ、ウシの甲状腺などから分離され、強力な血清 Ca, P 低下作用を有する。骨に対しては、その破骨細胞に直接作用してその数を減少させることにより、骨吸収抑制を行うとされている。老化とともに低値を示す。

骨折とその治療

このように骨の老化があるときには、容易に骨折を起こすわけであるが、最後にその主たる骨折とその治療につき述べる。

1. 脊椎圧迫骨折

脊椎の骨梁は大腿骨、腸骨のそれに比べ、本来細小であり、これが老化によって数も幅も減少してくると、荷重に抗しきれずに骨折を起こす。微小骨折 microfracture とよばれるものがあるが、水平骨梁が消失した段階では残る垂直

骨梁をおしつぶすに要する重量は、それまでの1/4 以下で十分であるといわれる⁷⁾。したがって、体をひねるとか、しりもちをつくとかいった、ささいな動作で、圧迫骨折が起こる(図5)。とくに女性では男性の4～5倍の頻度で起こる。

圧迫骨折では激痛を訴えるのが普通であり、まず安静が必要である。鎮痛抗炎症剤の投与のほか、免荷のために臥床させる。臥床姿勢を理想的に保つためにベッドもかためのものを用意する必要がある。

3～4週後には起立歩行させるが、この場合、装具をつけさせるのがよい(図6)。装具は脊椎にかかる圧を軽減させるので楔状化、扁平化の防止にある程度、有効である。楔状椎、扁平椎は後弯形成をきたし、腰背筋の伸張だけでなく、棘上・棘間靱帯、関節包の伸張を起し、頑固な疼痛の原因となるので、できるだけ避けなければならないし、臥床期間中は腰背筋の廃用性萎縮を防ぐために、等尺性運動が重要であ

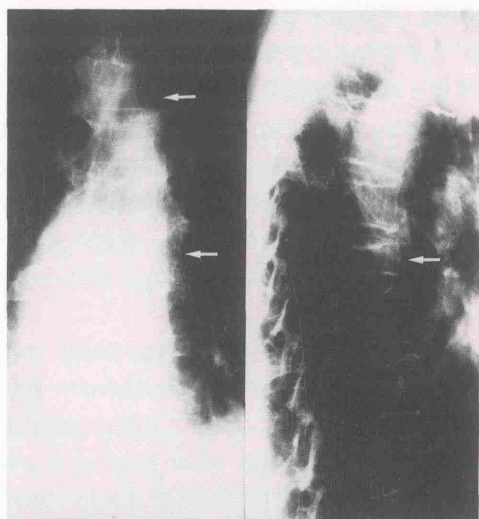


図5 脊椎圧迫骨折



図6 硬性胸腰椎装具

る。

しかし、圧迫骨折を起こす誘因は、日常生活で、ごく普通にみられるものであるため、骨粗鬆症の予防が、なによりも肝要である。そのために、蛋白、牛乳の摂取が奨められ、Ca, vitamin C, D の投与、内分泌製剤の投与が行われることがある。Ca は 1.0~1.5g/日が必要である。食餌によるほか、内服、注射で行うことも

ある。vitamin C, D は内服、注射いずれの方法によって投与されてもよい。vitamin D としては、近年、活性型 $1,25-(OH)_2-D_3$ がよくもちいられている。活性型 D_3 の利点は作用の発現も早く、たとえ作用の亢進によって高 Ca 血症が起こっても、中止すれば3~4日で元に戻る点にある。

内分泌製剤のうち、estrogen は閉経後の婦人に骨粗鬆症が多い事実などから、古くからもちいられているが、その作用は副甲状腺ホルモンによる骨吸収を抑制することにあると考えられている。ただ副作用として性器よりの不正出血、子宮内膜肥厚などがあるので、十分注意が必要である。

蛋白同化ホルモンは短期間に腰背痛消失、筋量の増加をきたすものの、X線学的な改善をもたらしにくい。ため、骨粗鬆症の際にみられる疼痛の原因が、骨の変化によるものでなく、脊柱支持の軟部組織、腰筋の弱化にあるとする主張の根拠にもなっているが、この場合も副作用として男性化作用があり、使用法がむずかしい。calcitonine は腰背痛に対し有効との報告があり、とくに vitamin D, Ca との併用療法で著効がある。ただ polypeptide であるため、過敏反応に注意を要する。

以上のような内分泌製剤による治療は、最近とくに進歩した分野で、今後ますます新しい知見が加わり、骨の老化に対する予防的な内科的治療として重要になると思われる。

2. 大腿骨頸部骨折

前述のように、転倒しなくても、下肢をひねるとかいった、わずかな外力が加わっても大腿骨頸部骨折を起こし、歩行不能になる。また、このような軽微な誘因であるため、本人も、周囲も全く気づかず放置され、発見されたときは手術不能となってそのまま、ねたきりとなることもある。

大腿骨頸部骨折は内側骨折(図7)、外側骨折(図8)とに分けられるが、そのうち内側骨折は骨癒合がえにくい骨折である。これは骨折部



図7 大腿骨頭部内側骨折

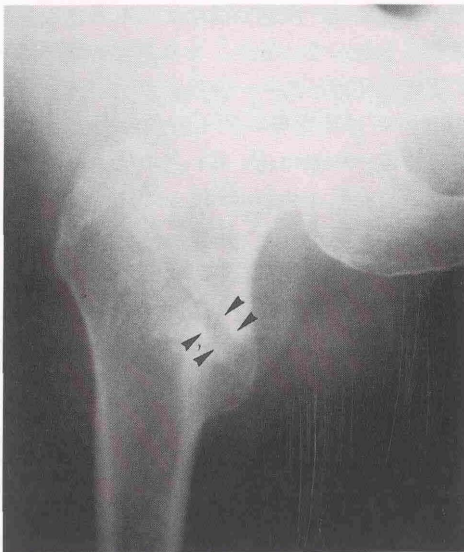


図8 大腿骨頭部外側骨折

が関節内にあるため、外骨膜を欠き、しかも滑液の影響を受けること、血行が悪いこと、骨折部に剪力がはたらき易いことなどによっているが、近年人工医用材料の開発がめざましく、人工骨頭置換術によって早期歩行が可能となった。20年ほど前から、Austin-Moore 型人工骨頭す

なわち、不銹鋼でできた、本来の大腿骨骨頭と同じ大きさのもので置換する方法が行われるようになったが、頸部骨折の患者は骨粗鬆の傾向があるため、人工骨頭に比べ力学的に弱い骨は長い間には徐々に摩滅して、中心性脱臼や、大腿骨骨幹部への沈下を起し、疼痛の原因となることが明らかになった。また、骨頭が大きいため、摩擦トルクが大きいことも欠点の一つであった。

近年、人工骨頭の大きさを直径 22mm の小さなものとし、この上に polyethylene 製の bearing insert と、さらにその外側に大腿骨頭と同じ大きさの金属製の outer head をかぶせた、Bateman 型人工骨頭が開発された(図9)。この人工骨頭の場合は、可動性が主として、骨頭と bearing insert との間でえられるため、臼と outer head との間での摩擦トルクは非常に小さくなった。術直後1週間は 2~3kg で牽引を行うが、術翌日より積極的に上体を起こし、1週目には坐位がとれるようにし、10日目には車椅子がつかえるようにする。この間, suspen-

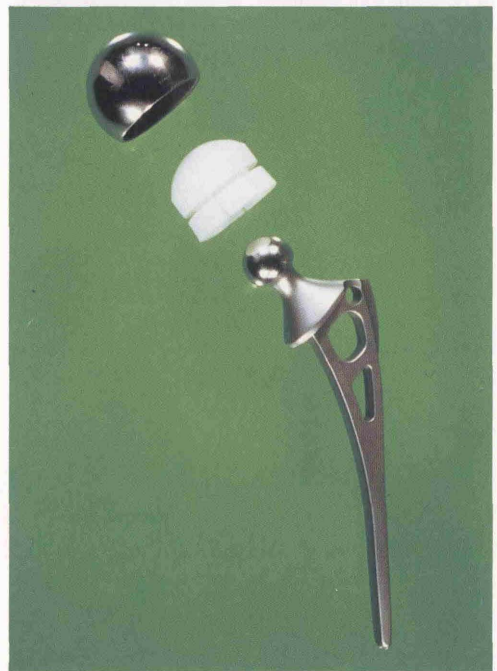


図9 Bateman 型人工骨頭

sion traction を行って、内・外転自動運動を行う。術後3週で全荷重と階段昇降を許す人が多い。

一方、外側骨折は、骨癒合が比較的良好な部位であるため、従来より骨接合術が行われてきた。Kirschner 鋼線を多数刺入する、multiple pinning 法や、三翼釘をもちいた、McLaughlin 法などがあるが、これらの方法では、少なくとも1ヵ月間は歩行ができず、したがって、種々の合併症が引き起こされた。最近では sliding compression screw 法あるいは骨折部を展開せず、大腿骨内頸部よりX線透視下に Ender pin という、長い可撓性ピンを骨折部をこえて、骨頭まで刺入固定する方法が開発された(図10)。この方法によれば、術後ただちに歩行できる利点があり、術前に十分整復さえしておけば、比較的容易な手術でもあり、好んで行われている。早期離床を可能にした点、すぐれた方法といえる。



図10 大腿骨頸部外側骨折に対する Ender pin 固定

3. 橈骨末梢部骨折

老人では手をついて倒れればもちろん、手をひねるといった、ささいな誘因で橈骨末梢部を骨折することがある。転倒の際は、屈側凸の変形をきたす Colles 骨折が多いが、手をひねったりした場合はヒビが入るだけの亀裂骨折が多く(図11)、骨粗鬆症の傾向があるため、関節面まで多数の骨折線が入り、バラバラになることもある。また整復後、骨折端がくいこんで再転位したり、骨癒合の遅延のため長期の外固定が必要となって、手関節、手指の拘縮をきたしやすく、若年者と異なり臨床的に問題となることがある。そこで、最近では Sarmiento によって始められた機能的ギプス固定が行われるようになった。すなわち、腕橈骨筋の緊張をとるため、従来の前腕回内位でなく、回外位として整復し、肘関節から中手骨骨頭までギプス固定をなし、肘関節屈曲、伸展(ただし、 -45° まで)また手関節掌屈を許可することによって、固定期間(4週)中の拘縮予防を図るものである⁸⁾。

お わ り に

骨の老化は高齢化社会における、重要な問題の一つであり、その易骨折性と骨癒合不全は特



図11 橈骨末梢部の亀裂骨折

微的な臨床的問題を提起する。本稿では、骨の主成分である collagen の老化と、生体力学の問題ならびに骨の老化の診断法およびその臨床的問題とくに骨折の治療法について述べた。できるかぎり適切な処置を行い、単に寿命の延長を図るだけでなく、質の高い人生をより長く確保させることが肝要である。

(本論文の一部は、第59回日本リハビリテーション・セミナー「老人のリハビリテーション」において発表した。)

文 献

- 1) 藤井克之, 梶原敏英, 室田景久: 骨, 関節軟骨の老化とコラーゲン, 整形外科32: 416—424, 1981.
- 2) Evans, F. G.: Mechanical properties of bone, p. 222, Charles C. Thomas, Springfield, 1973.
- 3) Lindahl, O. & Lindgren, A. G.: Cortical bone in man. II. Variation in tensile strength with age and sex. Acta orthop. scand. 38: p. 141—147, 1967.
- 4) 水野耕作, 柏木大治, 藤田久夫, 広畑和志: ねたきり老人の骨代謝—骨変化ならびに生化学的变化—, 日整会誌52: 171—185, 1978.
- 5) 廣谷速人, 大西紀夫, 土光茂治, 福永仁夫, 森田陸司: 骨粗鬆症の病態, 整形外科32: 459—465, 1981.
- 6) Singh, M., Nagrath, A. R. and Maini, P. S.: Changes in trabecular pattern of the upper end of the femur as an index of osteoporosis. J. Bone and Joint Surg. 52A: 457—467, 1970.
- 7) Bell, G. H. Dunbar, O. and Beck, J. S.: Variation in strength of vertebrae with age and their relation to osteoporosis. Calc. Tiss. Res. 1, 75—86, 1967.
- 8) 大平信広: 橈骨下端骨折, 整形・災害外科28: 649—654, 1985.