大腿骨にみられる身体運動抑制の影響
——下腿を切断した高齢男性の一例——

末 永 政 治* 飯 干 明* 仙波伊知郎**

THE EFFECT OF DISUSE ON THE HUMAN FEMUR
——A STUDY IN AN AGED MAN SUFFERED A
LOWER LEG AMPUTATION——

MASAHARU SUENAGA, AKIRA IIBOSHI and ICHIRO SEMBA

Abstract

Human femora obtained from a cadaver of a 70-year-old man were examined by means of bone histometry, image-analysis on X-ray radiographs and a mechanical strength test in order to investigate the effects of disuse on the femora. The patient had been bedfast for seven months until his death because of an amputation of the left lower leg due to a diabetic intractable ulcer on the foot caused by a burn. Other detail records of the medical and the life-style history were also examined.

A marked atrophy of the muscles of the hip and thigh was observed on the amputated side. The macroscopic shape and proportion of the femora were not significantly different between both sides. The results of bending strength test at the mid shaft, disclosed a marked mechanical fragility on the amputated side. The cortical bone area in the shaft showed no significant difference between both sides. However, the degree of bone loss was more pronounced at the anterior region of both shafts. The trabecular bone at the femoral head showed a marked atrophy on the amputated side, especially at the principal compressive group of the trabecular bone. This atrophy was thought to be due to the absence of the compressive stress because of the disuse caused by the amputation. A trabecular bone atrophy was also observed on the normal side and its degree of atrophy was greater than that of age-matched values. The multiple systemic factors such as the diabetes and the bedfast condition might had influenced on the bone metabolism in this case, therefore the careful examination of the systemic conditions was required to disclose the effects of local mechanical conditions on the bone metabolism.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1989, 38 : 139~150)

key words : human femur, disuse, bone atrophy, histometry

1. 緒 言

骨は成長期を過ぎると肉眼的形状には顕著な変化を生じないが、常に一部は破骨細胞によって吸収され、また新しく骨芽細胞によって形成され、終生その内部構造は変化している。このように、既存の骨が吸収され、その部位に新しい骨が形成

されることをリモデリングと言い⁴⁾、リモデリングが円滑に行われることによって、骨の恒常性が保たれている。このリモデリングに直接、間接に影響する要因には、加齢、ホルモン、骨誘導物質、栄養、種々の疾病および身体運動の質と量などがあり、これらが複雑に関連していると言われている。それらの要因のうち、近年、身体運動に

*鹿児島大学教養部保健体育学研究室
〒890 鹿児島市郡元一丁目21-30

**鹿児島大学歯学部口腔病理学講座
〒890 鹿児島市宇宿町1208-1

Division of Health and Physical Education, Faculty of Liberal Arts, Kagoshima University, 1-21-30 Koorimoto, Kagoshima 890.
Department of Oral Pathology, Kagoshima University Dental School, 1208-1 Usuki-cho, Kagoshima 890.

についても, 多くの研究がみられるようになった。

その第一は, 継続的な身体運動によって骨量や骨塩濃度が増大し^{1, 6, 14, 18, 33)} 破断に対する抵抗力も強化されるというものであり⁴¹⁾, 第二には加齢や閉経による骨粗鬆症の予防や治療としての運動効果の報告である^{24, 37, 40, 49, 51)}。第三には実験的な運動抑制^{17, 46, 52, 53, 54)}や臥床^{7, 23)}, 中枢性の麻痺^{39, 43)}, 軟部組織の外傷²⁾および無重力²⁵⁾などによる運動の不足によってもたらされる骨量や骨塩濃度の減少とその回復過程における運動の効果に関するものである³⁶⁾。第四には過度の運動が骨折をひきおこしたり, 長骨の成長を遅らせるという, 誤った運動方法による障害についての報告である^{24, 26, 28)}。しかし, これらの報告の多くは, X線 densitometry や photon absorptiometry による骨量や骨塩濃度の間接的な測定であり, 研究方法においても, 特定の実験的な運動負荷や運動抑制によるある時点での骨代謝の局面は知り得ても, 個体の生涯を通じての骨代謝を反映しているとは言えない⁴³⁾。特に人体例では日常の身体運動が骨の内部構造に及ぼす影響を知ることは一般に困難である。その意味において, ヒトにおける身体運動と骨の内部構造の変化の関連を検索する為に, 直接的な骨の内部構造の観察が可能な解剖体を用いて, その個体のもつ身体運動の特徴および生活史を可能な限り検索し, 多角的な検討を加えることは有益であると考えられる。

本研究では, 左下腿の切断手術によって, 左大腿部の運動が健側に比べ著しく抑制されていたと思われる70歳男性例の両側の大腿骨を検索する機会を得たので, 非脱灰研磨標本による組織計測を中心にX線学的および力学的計測を行い, 運動抑制によってもたらされたと考えられる大腿骨における骨萎縮を多角的に検討した。

II. 症例と検索方法

A. 症 例

症例は70歳の男性で, 本学医学部の系統解剖実習用として提供された遺体である。死亡時の身長は160 cm, 体重35 kgであった。ホルマリン固定後約6カ月間保存されたのち, 標本を採取し

た。既往歴としては18歳で虫垂炎手術, 48歳時に胆石症, 慢性肺炎や肺結核で入院治療を受けた。50歳頃から糖尿病に罹患し投薬治療を続けた。69歳時に左足背部の熱傷のため入院。経過不良で難治性潰瘍となり, 4カ月後に左下腿1/2の部位で切断手術を受けた。術後7カ月で肺炎のため死亡した。熱傷受傷後立位片脚歩行は行えず, 臥床のまま入院生活を送ったが, 入院中, 健側は臥床での下肢の屈伸や体位を変える際の支持等の運動が可能であった。家族からのヒヤリングによると, 生前の職業はデスクワーク中心の仕事に従事し, 定期的な身体運動などは行っておらず, 日常的な身体運動は少なかった。また, 大腿骨採取時の所見では, 健側に比較して切断側の股関節は関節面が密着し, 他動的な可動域も減少しており, 膝関節においても切断側は関節面が密着し, 半月板は著しく萎縮し, 可動域も減少していた。このことから, 切断側の大腿部は健側に比較して著しく運動が抑制されていたものと推察された。

B. 検索方法 (Fig. 1)

1. 肉眼的検索

下肢全体の変化の指標として, 下肢帯および大腿の筋群について湿重量を台秤 (Yamato 社製 D-816) で計測した。大腿骨の採取にあたっては, 付着している軟組織をできるだけ丁寧に除去し, 近位端と遠位端の骨端軟骨が付着した状態で大腿骨の湿重量を台秤で計測した。また, マルチンの方法²⁷⁾により大腿骨の肉眼的形態計測を行った。

2. 大腿骨骨幹部皮質骨の検索

1) 力学特性: 骨幹部皮質骨の力学特性を調べるために, 骨幹中央部で三点曲げ試験を行った^{22, 28, 32)}。万能引張圧縮試験機 (新興通信工業製 TOM 500) を用い, 支持台間の距離100 mm, 分速5 mm で骨幹中央部に後方から前方に向かって荷重し, 降伏点までの負荷を測定した。

2) 軟X線写真による皮質骨量の計測: 曲げ試験における荷重点である骨幹中央部, 荷重点から近位側および遠位側に各々50 mm離れた部位から各々厚さ5 mmの横断切片を切り出し, 軟X線撮影装置 (SOFTX 社製 CSM-2) にて, 軟X線写真を撮影し, その写真からデジタル

(WACOM 社製 WT-4000) を用いて全断面積と皮質域面積を計測し、皮質一断面域比を算出した。

3) 非脱灰標本による組織計測：骨幹部から得た横断切片は、通法に従い、エタノール脱水後、ポリエステル系樹脂（リゴラック）に包埋し、カッティングマシン（西ドイツ EXAKT 社製 BS 3000）により薄切後、精密研磨機（西ドイツ EXAKT 社製 MG 4000）を用いて厚さ約 25 μm の非脱灰研磨標本を作製し、メチレンブルー・フクシン重染色を施した。近位側および遠位側の標本から Fig.1 に示す様に前、後、内、外方部の各領域について 100 倍の顕微鏡写真を撮影し、写真上でデジタイザを用いて全骨組織量、オステオン数、オステオン面積および全管腔域面積を計測し、単位骨組織あたりのオステオン数（単位オステオン数：Osteon number per unit cortical bone area）、単位骨組織あたりに占めるオステオン面積の割合（オステオン面積比：Osteon area per unit cortical bone area）および単位皮質域に占める全管腔域の割合（皮質多孔率：Cortical porosity ratio）を算出した⁴⁵⁾。なお、曲げ試験の荷重点である骨幹中央部は組織破壊が生じているため、組織計測には用いなかった。

3. 大腿骨近位端海面骨の検索

1) 単純X線写真による骨粗鬆化の評価：両側大腿骨近位端の単純X線写真を撮影し、骨粗鬆症の臨床診断に用いられている Singh の指数により⁴²⁾、粗鬆化の程度を評価した。

2) 軟X線写真による海面骨量の計測：大腿骨小転子の直下で切り離した近位端をカッティングマシンを用いて頭・頸部の中央を通る線分で前頭断し、その断面から前方に厚さ 3 mm の切片を切り出した。軟X線写真を撮影し、その写真からイメージプロセッサ（NEXUS 社製 NEXUS 6400）を用いて、Fig.1 に示す頭部と頸部における全骨組織量および全骨量を計測し、単位骨量を算出した。

3) 非脱灰標本による組織計測：両側の大腿骨近位端の前頭断切片から骨幹部皮質骨と同様の方法で、厚さ約 25 μm の全割非脱灰研磨標本

Fig 1. Examined methods and portions of the femur

1. Bending strength test

↔ B.L. : The bending load from posterior to anterior direction

2. Cortical bone area

P : Proximal portion
C : Central portion
D : Distal portion

3. Trabecular bone area

H : Head of femur
N : Neck of femur

4. Histomorphometry

1) Trabecular bone at the head of femur

A : Principal compressive group (PCG)
B : Principal tensile group (PTG)
C : Crossing area of the both group (CBG)

2) Cross-section at the shaft of femur

An : Anterior area
Po : Posterior area
Me : Medial area
La : Lateral area

を作製し、Fig.1 に示す様に A：主抗圧骨梁群（Principal compressive group：PCG）部、B：主抗張骨梁群（Principal tensile group：PTG）部、C：両骨梁群の交叉部（Crossing area of the

both group : CBG) の3部位について, 描画装置 (OLYMPUS 社製 BH 2-DA) を装着した顕微鏡下でデジタイザを用いて組織計測を行った. 一次パラメータとして全骨組織量, 全骨量, 全骨梁面および全吸収面を計測し, 二次パラメータとして単位骨量 (Bone volume), 平均骨梁幅 (Trabecular thickness) および分画吸収面 (Eroded surface) を算出した^{35, 45)}.

III. 結 果

A. 下肢筋の湿重量

切断側の筋重量は, 恥骨筋以外は健側に比較して小さかった. 膝関節に働く筋群の中では, 外側広筋, 内側広筋および半腱様筋の重量が特に小さく, 健側の約 1/2 であった (Table 1).

Table 1. Weight of the hip and thigh muscles (g)

	Amputated side	Normal side
Iliopsoas	145	175
Gluteus maximus	158	216
Gluteus medius	80	114
Gluteus minimus	45	58
Tensor fasciae latae	22	25
Piriformis	17	18
Quadratus femoris	9	10
Obturatorius externus	18	22
Rectus femoris	61	80
Vastus lateralis	77	154
Vastus intermedius	87	97
Vastus medialis	47	92
Sartorius	36	42
Gracilis	27	35
Adductor longus	40	41
Adductor magnus	78	124
Pectineus	18	18
Biceps femoris	64	82
Semitendinosus	32	60
Semimembranosus	47	58

B. 大腿骨の湿重量と肉眼的形態

大腿骨の湿重量は切断側がやや小さかった. マルチンの方法による形態計測の結果は頸捻転角を除いて, 切断側と健側の間に顕著な差は認められ

Table 2. Dimensions and wet weight of the femora

	Amputated side	Normal side
1. Max. length	426mm	424mm
5. Length of shaft	331	330
6. Sagittal diameter of shaft at middle	26	27
7. Transverse diameter of shaft at middle	23	24
8. Perimeter of shaft at middle	79	79
9. Transverse subtrochanteric diameter of shaft	29	28
10. Sagittal subtrochanteric diameter of shaft	25	26
13. Superior breadth	92	91
14b. Length of head	37	37
14c. Length of neck	27	26
16. Sagittal diameter of neck	22	22
17. Perimeter of neck	91	90
18. Vertical diameter of head	44	43
19. Sagittal diameter of head	44	45
20. Perimeter of head	143	145
21. Epicondylar breadth	82	82
21a. Projective breadth of medial condyle	42	42
21b. Projective breadth of lateral condyle	41	41
22. Depth of lateral condyle	60	60
24b. Depth of medial condyle	55	55
27. Height of curvature of shaft	6	6
29. Collo-diaphyseal angle	129°	129°
30. Condylodiaphyseal angle	104	100
31. Rotational angle of neck	18	27
Wet weight	470g	480g

なかった (Table 2).

C. 骨幹部皮質骨

1. 曲げ強度試験: 健側における降伏点に達するまでの負荷は約 310 kg であったが, 切断側では約 210 kg で降伏点に達し, 両者の間に著明な差が認められた (Fig. 2).

2. 軟X線写真による皮質骨量: 骨幹中央部, 近位部および遠位部のいずれの部位でも切断側と健側の間には大きな差は認められなかった.

3 部位の平均では切断側の皮質面積および皮質-全断面域比がやや小さな値を示した (Table 3).

3. 非脱灰標本による組織計測

Fig 2. Bending strength at the shaft of femora

Table 3. Cortical bone area at the shaft of femora

	Proximal portion		Central portion		Distal portion		Average of three portions	
	As	Ns	As	Ns	As	Ns	As	Ns
Total area (mm ²)	470.0	465.2	439.1	445.7	467.5	463.2	458.9	458.0
Marrow area (mm ²)	221.9	203.3	179.8	192.4	237.4	217.8	213.0	204.5
Cortical area (mm ²)	248.1	261.9	259.2	253.3	230.1	245.4	245.8	253.5
Cortico-total area ratio (%)	52.8	56.3	59.0	56.8	49.2	53.0	53.7	55.4

As:Amputated side Ns:Normal side

1) 単位オステオン数：近位部では後方をのぞいて前、内および外方の各領域で切断側の方が少なく、全領域の平均では切断側の方がやや少なかった。遠位部では外方を除く前、後および内方の各領域で切断側の方が少なく、全領域の平均では切断側の方がやや少なかった (Fig. 3)。

2) オステオン面積比：近位部では全領域で切断側の方が小さかった。遠位部では前と外方は切断側の方が大きく、後と内方は切断側が小さかったが、全領域の平均では切断側の方がやや小さい値を示した (Fig. 4)。

3) 皮質多孔率：近位部では前方と外方は切断側の方が大きく、後方と内方は切断側が小さかった。全領域平均では切断側がやや大きな値を示した。遠位部では後方と内方で切断側の方が大きく、全領域の平均でも切断側がやや大きな値を示した (Fig. 5)。

D. 近位端海面骨

1. Singh の指数による骨粗鬆度：健側がグレードⅣ、切断側がグレードⅡに該当すると判定され、切断側は健側に比較して明かに粗鬆度が大きであった。

2. 近位端海綿骨量：3mm 厚の前頭断切片

Fig 3. Osteon number per unit cortical bone area at the shaft of femora

Fig 5. Cortical porosity ratio at the shaft of femora

Fig 4. Osteon area per unit cortical bone area at the shaft of femora

の軟X線写真では、健側と比較して切断側のPCGとPTGに明かに粗鬆化が認められた (Fig. 6). 軟X線写真を用いた画像解析によって得られた全骨量は、頭部、頸部ともに切断側が著明に小さく、単位骨量では切断側は健側の2/3以下の値を示した (Table 4).

3. 非脱灰標本による組織計測

1) 単位骨量: PCG部とCBG部では切断側は健側よりも明かに小さく、PTG部では切断側の方が大きな値を示した. 全部位の平均では切断側の方がやや小さい値を示した. また、軟X線写真を用いて計測した単位骨量の値と比較するといずれの部位でも小さな値を示した (Fig. 7A).

2) 平均骨梁幅: PCG部とCBG部では切断側が小さく、PTG部では切断側が大きく、全部位の平均では切断側が小さく、単位骨量と同様の傾向が認められた (Fig. 7B).

3) 分画吸収面: 全部位ともに切断側の値が大きく、特にPCG部においては、切断側は健側の6.5倍もの値を示し、PCG部における顕著な

Fig 6. Soft X-ray radiograph of the frontal sections
at the head and neck of femora

Table 4. Trabecular bone area at the head and neck of femora

	Head		Neck		Total	
	As	Ns	As	Ns	As	Ns
Tissue volume (mm ²)	1194.2	1219.2	956.4	882.7	2150.6	2101.9
Cancellous bone volume (mm ²)	352.5	690.1	381.2	526.4	733.7	1216.5
Bone volume (%)	29.5	56.6	39.9	59.6	34.1	57.9

As:Amputated side Ns:Normal side

骨吸収が認められた (Fig. 7C).

IV. 考 察

生前の生活歴, 既往歴, および標本採取時の股・膝関節の所見などから, 本症例の健側は臥床の生活とはいえ, 下肢の屈伸や体位変更の際の支持等の運動は可能であったと考えられる. しかし切断側では, 股・膝関節には下腿切断によって生じたと考えられる著明な拘縮がみられ, 健側に比べ, 著しく運動が抑制されていたものと考えられる. 本報告はこの下腿切断によって生じたと考えられる大腿骨における骨萎縮について多角的に観察し, 運動抑制が骨に及ぼす影響を検索しようとするものである.

筋重量において, 切断側の筋萎縮は著明であ

り, 特に外側広筋, 内側広筋および半腱様筋の萎縮が大きかった. このことから下腿切断による運動抑制の影響は膝関節に働く筋群を中心に大腿部全体に生じていると考えられた. しかしながら同じ膝関節に働く筋でも中間広筋, 大腿直筋, 半膜様筋および大腿二頭筋の萎縮は前者ほどではなかった. このように協力筋間で萎縮の程度が異なった原因については今後検討する必要があると考えられる.

大腿骨湿重量は切断側がやや小さいものの, 肉眼的形態計測の結果は頸捻転角を除いて顕著な差は認められなかった. したがって, 本例における骨萎縮は外形的な変化ではなく, 内部構造としての皮質骨や海面骨の骨量の減少によるものであり, 一般に高齢者に見られる骨萎縮性変化と同様

Fig 7. Bone volume(A), Trabecular thickness(B) and Eroded surface(C) at the head of femora

な傾向を示すものと考えられる^{11,38)}.

Singh の指数は大腿骨近位端のX線写真上の骨梁パターンを、グレードⅥ(正常)からグレードⅠ(強度の骨粗鬆症)の6段階に分類したもので⁴²⁾, 骨粗鬆症の臨床診断に活用されている. Singh の指数と大腿骨頭部の海綿骨量は相関しないという報告もあるが⁵⁰⁾, 本例では骨粗鬆度の大きいグレードⅡと判定された切断側は, 3mm 厚の前頭断切片の軟X線写真を用いた画像解析による骨量の値, また組織計測による値とも一致した傾向を示し, Singh の指数が大腿骨骨頭部の海綿骨の粗鬆化の状態を示す有用な指数であることを示唆する

ものと考えられる.

非脱灰標本を用いた組織計測では, 症例が系統解剖実習用の遺体であるため死後変化が強く, 破骨細胞, 骨芽細胞などの細胞成分の検索は十分に行い得なかった. しかし, 大腿骨近位端の海綿骨については, 力学的外部環境に適応して配列していると考えられている骨頭の PCG, PTG および CBG の各骨梁群を含む3部位について, 単位骨量, 平均骨梁幅および分画吸収面を求め, 力学的外部環境の変化が各部位の海綿骨に及ぼす影響を検索した. 組織計測による単位骨量の値は軟X線写真を用いた計測値よりは低い, これは試料の厚さの影響と考えられる. 部位別の単位骨量と平均骨梁幅は, PCG 部と CBG 部では切断側が小さく, 特に PCG 部において著しい. しかし, PTG 部では切断側の方が単位骨量, 平均骨梁幅ともに大きい値を示した. PTG の方が PCG の骨梁より細く, 加齢に伴う骨消失は PTG で早く認められるといわれており^{9,13)}, また, 骨関節症例と大腿骨頸部骨折例の比較から, 苦痛をやわらげるためのわずかな緊張や動作の多少が大腿骨頭の海面骨の構造に影響を及ぼすこともと考えられている¹⁰⁾. しかしながら, 本例では軟X線写真 (Fig. 6) にみられるように, 組織計測をした内側の PTG 部ではかなり太い骨梁が密に配列しているが, PTG 全体についてみると, 切断側は健側より骨消失が大きい傾向にあった. 分画吸収面は全部位とも切断側が大きく, 特に PCG 部において顕著で, さらにこの部位では, 単位骨量や平均骨梁幅も著しく低値であり, 切断側の PCG 部における骨吸収が促進していたと考えられる. 以上の様な組織計測の結果から, 本例においては, 下腿切断によると考えられる大腿骨骨頭部海綿骨の萎縮性変化は, 圧縮に対抗する主抗圧骨梁群に最も顕著であったと言える.

骨幹部皮質骨の組織計測の結果から, 近位部, 遠位部ともに前方部と後方部ではオステオン数やオステオン面積比が小さく, 多孔率は大きい傾向を示し, これらの領域では骨吸収が大きかったことを示唆している. 特に切断側近位部の前方部では内骨膜面はもとより, 皮質骨内の吸収腔や骨膜

下の吸収像も認められた。大腿骨の前方部と後方は筋の起始、停止が多く、猿を用いた動物実験においても脛骨の横断面の前方部に大きな吸収腔が認められ、筋の付着との関係が指摘されている⁵⁴⁾。本例の切断側の骨幹部皮質骨に見られた変化も、筋収縮による外力の喪失が一因となっていると考えられる。しかし、骨幹部の軟X線写真や組織計測から得た皮質骨の内部構造や骨量の変化は、近位端の海面骨にみられた健側と切断側の差に比較して、かなり小さなものであった。運動抑制や骨粗鬆症における骨の変化は皮質骨よりも海綿骨において早期にかつ強くおこるといわれており^{48,52)}、本例における下腿切断が大腿骨に及ぼした影響は、検索した時点では骨幹部皮質骨よりも近位端海綿骨に大きく現れたものと考えられる。

人や動物の長骨の力学的強度を知るために、長骨を原形のままで三点法により計測し、長骨を楕円円筒とみなして慣性モーメントを計算し、応力、剛性および強度を推定している報告がある^{22, 28, 32)}。しかし、不定形の骨を原形のままで計測し、正確な曲げ強度を求めることは、骨が異方体であること、皮質骨が均質でないこと、支持台間の距離が限定されることなどから、一般に困難であると考えられる。本例でも大きさがほぼ同じである同一個体の左右側の比較ではあるが、一検体を多角的に検索しなければならないという制約のために、100 mm という比較的短い支持台間距離での計測を行った。切断側は健側に比較して100 kg 小さい荷重で降伏点に達し、切断側に明らかな脆弱化が認められた。骨幹部の横断面での皮質骨量や組織計測の結果では、切断側の萎縮が健側に比較してそれ程大きいものではなかったにもかかわらず、曲げ強度においてはこのような著しい差が認められた。骨の強度に影響する因子は非常に多岐にわたっていると考えられるが^{30,31)}、それらのうちコラーゲンの cross-link の増加が骨の強度と密接な関係があり、骨の脆弱化は骨塩の消失とコラーゲンマトリックスの変化に帰するといわれている⁴⁾。曲げは中心軸に対して上面に圧縮、下面に引張りが働き¹⁵⁾、引張応力は主にコラーゲンマトリックスで、圧縮応力は主に骨塩で

それぞれ支持され³¹⁾、成人大腿骨骨幹部では圧縮強度が引張強度の1.5倍大きいために引張側に骨折が生じると言われる¹⁵⁾。本例ではコラーゲンについての検索は行い得なかったが、組織計測などの結果からも、骨の力学的強度の減少は単純な骨量の減少のみに起因するものではないと考えられた。

以上のことから多角的な計測方法による検索によって両側大腿骨の内部構造の変化の相違は明かである。しかしながら、運動抑制が骨に及ぼす影響を検討するためには、下腿切断から死亡するまでの7ヶ月という時間経過、および本例の生前の生活歴、既往歴、年齢などを含めて総合的に考察する必要がある。

弛緩性完全麻痺の脊髄損傷患者では、単純X線写真を用いた大腿骨皮質骨幅の計測から、受傷後1～2年にかけて皮質骨幅が有意に減少し、以後漸減するといわれている³⁹⁾。一方、動物を用いた運動抑制実験では、実験開始後2～3ヶ月目までの主に内骨膜面における骨消失が著しい第一のステージと、引き続いて骨量が漸減する第二のステージ、さらに骨量の減少が見られなくなる第三のステージという経時的変化が認められている^{17, 46)}。本例では下腿切断から死亡までの期間は7ヶ月であり、切断直後に生じたと考えられる急速な骨量の減少とともに、それ以前から存在した骨量の低下を促進させる病的な背景を考慮に入れなければならないと考えられる。すなわち、70歳という高齢であること、20年来糖尿病でインスリンの投薬治療を受けていたこと^{3,29)}、さらに下腿切断手術の4ヶ月前に切断側の足背に熱傷をうけ、ほとんど臥床の生活であったことなどから、切断側のみならず健側にも複合した要因による骨萎縮が進行していたと考えられる。単位オステオン数は年齢とともに増加するといわれ^{5,19,20)}、Evans⁸⁾は71歳の正常人男性で14.8/mm²、岩本たち¹⁶⁾は70歳代では19.4/mm²であったと報告している。本例では健側7.7/mm²(近位部)、6.5/mm²(遠位部)であり、これらの値と比較すると非常に少ない。一方、海綿骨は加齢ともなって減少することが知られている。海綿骨における単位骨量につい

て, Fazzalari ら⁹⁾は, 平均 63.3歳の男性で PCG は 24.8%, PTG は 15.0%, 本間の計測では¹³⁾, 50歳代の男性で PCG 約26%, PTG 約12%および CBG 約27%の単位骨量であったと報告している。本例は, それらの報告に比較して若干高齢であるが, 健側の PCG が 18.1%, PTG が 13.8%で特に PCG が上記の報告より低い値であった。したがって, 健側にも皮質骨, 海綿骨ともに加齢に伴う骨量減少以上の骨消失があったことがうかがわれる。糖尿病においては発病後はじめの 5 年間に約10%程度の骨量減少がみられるものの, その後はかなり安定した状態を示すといわれている²⁰⁾。また, 長期の運動抑制や加齢による骨吸収の状態は slow あるいは static であることが知られており^{17, 47)}, 本例の健側の大腿骨における骨吸収も static な状態であると考えられるが, 切断側では下腿切断による運動抑制と血流量の低下等もあいまって^{12, 21)}, 一時的な rapid resorption²³⁾が, 海綿骨, 特に大腿骨骨頭の主抗圧骨梁群に著しく生じたものと考えられる。

今後高齢化社会を迎えるにあたり, 老化とともに, 長期にわたって作用し, 骨の恒常性の破綻をもたらす種々の要因の解析と, 骨の恒常性維持に関する身体運動の影響について一層の研究が必要であると考えられる。

V. ま と め

熱傷により生じた左足背部難治性潰瘍のために 4ヶ月の臥床生活を送ったあと, 左下腿 1/2 の部位で切断手術を受け, 死亡するまでの 7ヶ月間健側に比較して左下肢の運動が著しく抑制されたとされる 70歳男性例の大腿骨について組織計測とともに, X線学的および力学的な計測を行い, 生前の生活歴, 既往歴とともに多角的に検討した。

1. 切断側の筋群に著しい萎縮がみられ, 下腿切断による影響は下肢全体に及んでいるものと考えられた。

2. 肉眼的骨計測の結果, 切断側と健側の大腿骨の外形に顕著な差は認められなかった。

3. 骨幹中央部での曲げ強度試験の結果, 切断側に著明な脆弱化が認められた。*

4. 軟X線写真, 組織計測の結果, 大腿骨骨幹部皮質骨においては著しい左右差は認められなかったが, 部位によって骨萎縮の程度は異なり, 筋の付着部との関連が示唆された。

5. 近位端部海綿骨においては切断側に著しい骨萎縮を認め, 特に主抗圧骨梁群において顕著であり, 運動抑制が骨の内部構築に大きく影響しているものと考えられた。

6. 健側においても年齢相当以上の骨萎縮が認められ, これには糖尿病, 長期の臥床など生前の全身的要因が関与しているものと考えられる。したがって, 個体の生活史を十分に検索する必要があると思われた。

謝 辞

稿を終えるに臨み, 終止ご懇篤なるご指導を賜った本学歯学部口腔病理学講座, 浦郷篤史教授に深く感謝いたします。また, 遺体の検索を許された, 本学医学部解剖学第一講座, 中野勝磨前教授, 人類学的骨計測についてご指導下さった本学歯学部口腔解剖学講座第二, 小片丘彦教授, Singh の指数の評価の労をおとり下さった本学医療技術短期大学部, 森本典夫教授および力学的な計測をご指導下さった本学教育学部技術科, 南 孝一教官に感謝の意を表します。

(受付 昭和63年12月12日)

参 考 文 献

- 1) Aloia, J. F., Cohn, S. H., Babu, T., Abesamis, C., Kalici, N. and Ellis, K. (1978) : Skeletal mass and body composition in marathon runners. *Metab*, **27**, 1793-1796.
- 2) Andersson, S. M. and Nilsson, B. E. (1979) : Changes in bone mineral content following ligamentous knee injuries. *Med Sci Sports*, **11**, 351-353.
- 3) Bessho, K. and Hayashi, Y. (1986) : Diabetic osteopathy in human femoral head —compared to postmenopausal osteoporosis—. *JBMM*, **3**, 199-204.
- 4) Carter, D. R. and Spengler, D. M. (1978) : Mechanical properties and composition of cortical bone. *Clin Orthop*, **135**, 192-217.
- 5) Currey, J. D. (1964) : Some effects of aging in

- human Haversian systems. *J. Anat Lond*, **98**, 69-75.
- 6) Dalen, N. and Olsson, K. E. (1974) : Bone mineral content and physical activity. *Acta Orthop Scand*, **45**, 170-174.
- 7) Donaldson, C. L., Hulley, S. B., Vogel J. M., Hattner, R. S., Bayers, J. H. and McMillan, D. E. (1970) : Effect of prolonged bed rest on bone mineral. *Metab*, **19**, 1071-1084.
- 8) Evans, F. G. (1976) : Mechanical properties and histology of cortical bone from younger and older men. *Anat Rec*, **185**, 1-12.
- 9) Fazzalari, N. L., Darracott, J. and Vernon-Roberts, B. (1983) : A quantitative description of selected stress regions of cancellous bone in the head of the femur using automatic image analysis. *Metab Bone Dis & Rel Res*, **5**, 119-125.
- 10) Fazzalari, N. L., Darracott, J. and Vernon-Roberts, B. (1985) : Histomorphometric changes in the trabecular structure of a selected stress region in the femur in patients with osteoarthritis and fracture of the femoral neck. *Bone*, **6**, 125-133.
- 11) 浜田良二郎, 伊集院康熙, 末永政治, 森口 進 (1967) : 陳旧性脳軟化症による萎縮下肢の解剖学的研究. *鹿大医誌*, **18**, 997-1001.
- 12) Hardt, A. B. (1972) : Early metabolic responses of bone to immobilization. *J. Bone Joint Surg*, **54-A**, 119-124.
- 13) 本間哲夫 : 未発表資料.
- 14) Huddleston, A. L., Rockwell, D., Kulund, D. N. and Harrison, R. B. (1980) : Bone mass in lifetime tennis athletes. *JAMA*, **244**, 1107-1109.
- 15) 飯田 勝 (1984) : 骨の力学的特性. *J. J. Sports Sci*, **3**, 851-857.
- 16) 岩本壮太郎, 西田正規, 大貫栄子 (1978) : 骨緻密質の加齢的变化と年齢推定に関する研究 1. 大腿骨について. *近大医誌*, **3**, 223-232.
- 17) Jaworski, Z. F. G., Liskova-Kiar, M. and Uhthoff, H. K. (1980) : Effect of long-term immobilisation on the pattern of bone loss in older dogs. *J. Bone Joint Surg*, **62-B**, 104-110.
- 18) Jones, H. H., Priest, J. D., Hayes, W. C., Tichenor, C. C. and Nagel, D. A. (1977) : Humeral hypertrophy in response to exercise. *J. Bone Joint Surg*, **59-A**, 204-208.
- 19) Jowsey, J. (1960) : Age changes in human bone. *Clin Orthop*, **170**, 210-218.
- 20) Kerley, E. R. (1969) : Age determination of bone fragments. *J. Forensic Sci*, **14**, 59-67.
- 21) 菊池達之 (1984) : 実験的骨粗鬆症に関する病理形態学的研究. *日整会誌*, **58**, 543-553.
- 22) 車龍太郎 (1956) : 緻密骨質の曲げ試験に関する研究. *京府医大誌*, **59**, 3-20.
- 23) LeBlanc, A., Schneider, V., Krebs, J., Evans, H., Jhingran, S. and Johnson, P. (1987) : Spinal bone mineral after 5 weeks of bed rest. *Calcif Tissue Int*, **41**, 259-261.
- 24) Li, G., Zhang, S., Chen, G., Chen, H. and Wang A. (1985) : Radiographic and histologic analyses of stress fracture in rabbit tibias. *Am J. Sports Med*, **13**, 285-294.
- 25) Mack, P. B. and LaChance, P. L. (1967) : Effects of recumbency and space flight on bone density. *Am J. Clin Nutr*, **20**, 1194-1205.
- 26) Margulies, J. Y., Simkin, A., Leichter, I., Bivas, A., Steinberg, R., Giladi, M., Stein, M., Kashtan, H. and Milgrom, C. (1986) : Effect of intense physical activity on the bone-mineral content in the lower limbs of young adults. *J. Bone Joint Surg*, **68-A**, 1090-1093.
- 27) Martin, S. (1957) : *Lehrbuch der anthropologie*, I, Gustav fischer verlag, Stuttgart, 561-571.
- 28) Matsuda, J. J., Zernicke, R. F., Vailas, A. C., Pedrini, V. A., Pedrini-Mille, A. and Maynard, J. A. (1986) : Structural and mechanical adaptation of immature bone to strenuous exercise. *J. Appl Physiol*, **60**, 2028-2034.
- 29) McNair, P., Madsbad, S., Christensen, M. S., Christensen, C., Faber, O. K., Binder, C. and Transbol, I. (1979) : Bone mineral loss in insulin-treated diabetes mellitus : Studies on pathogenesis. *Acta Endocr*, **90**, 463-472.
- 30) 宮永 豊 (1981) : 骨と軟骨の強度. *リウマチ*, **21**, 260-267.
- 31) 宮永 豊 (1984) : 骨・軟骨のバイオメカニクス研究の流れ. *J. J. Sports Sci*, **3**, 844-850.
- 32) 本島共之 (1960) : 人の体肢長骨の曲げ強度に関する研究. *京府医大誌*, **68**, 1377-1397.

- 33) Nilsson, B. E. and Westlin, N. E. (1971) : Bone density in athletes. *Clin Orthop*, **77**, 179-182.
- 34) Oyster, N., Morton, M. and Linnell, S. (1984) : Physical activity and osteoporosis in post-menopausal women. *Med Sci Sports Exerc*, **16**, 44-50.
- 35) Parfitt, A. M. (1988) : Bone histomorphometry : Standardization of nomenclature, Symbols and units (Summary of proposed system). *Bone*, **9**, 67-69.
- 36) 坂本祐一郎(1987) : 実験的骨粗鬆症における運動負荷の影響. *日整会誌*, **61**, 703-716.
- 37) Sandler, R. B., Cauley, J. A., Hom, D. L., Sashin, D. and Kriska, A. M. (1987) : The effects of walking on the cross-sectional dimensions of the radius in postmenopausal women. *Calcif Tissue Int*, **41**, 65-69.
- 38) 佐藤昭夫, 林 泰史, 白木正孝編著(1967) : 骨の加齢—基礎から臨床まで—, 第1版, 3 骨の老化過程. 藤田企画出版, 春日部, 30-69.
- 39) 新宮彦助, 木村 功, 那須吉郎, 塩谷彰秀, 大浜満, 池田正樹(1985) : 脊損麻痺域大腿骨骨萎縮の経時的变化. 山本吉蔵編, 骨形態計測 Volume 5, 西村書店, 新潟, 160-167.
- 40) Simkin, A., Ayalon, J. and Leichter, I. (1987) : Increased trabecular bone density due to bone-loading exercises in postmenopausal osteoporotic women. *Calcif Tissue Int*, **40**, 59-63.
- 41) Smith, R. E. and Saville, P. D. (1966) : Bone breaking stress as a function of weight bearing in bipedal rats. *Am J. Phys Anthropol*, **25**, 159-164.
- 42) Singh, M., Nagrath, A. R. and Maini, P. S. (1970) : Changes in trabecular pattern of the upper end of the femur as an index of osteoporosis. *J. Bone Joint Surg*, **52-A**, 457-467.
- 43) Stout, S. D. (1982) : The effects of long-term immobilization on the histomorphology of human cortical bone. *Calcif Tissue Int*, **34**, 337-342.
- 44) 須田立雄, 小澤英浩, 高橋栄明(1985) : 骨の科学, 第1版, 第11章 骨のリモデリング. 医歯薬出版, 東京, 180-197.
- 45) 高橋栄明(1983) : 骨の組織学的形態計測パラメーター. 高橋栄明編, 骨形態計測ハンドブック, 第1版, 西村書店, 新潟, 71-79.
- 46) Uhthoff, H. K. and Jaworski, Z. F. G. (1978) : Bone loss in response to long-term immobilisation. *J. Bone Joint Surg*, **60-B**, 420-429.
- 47) Urago, A. (1982) : Histological classification of resorbed bone. *Acta Pathol Jpn*, **32**, 759-770.
- 48) 浦郷篤史(1984) : 全身疾患と骨吸収. *歯科ジャーナル*, **20**, 633-642.
- 49) White, M. K., Martin, R. B., Yeater, R. A., Butcher, R. L. and Radin, E. L. (1984) : The effects of exercise on the bones of postmenopausal women. *Int Orthop*, **7**, 209-214.
- 50) Wicks, M., Garrett, R., Vernon-Roberts, B. and Fazzalari, N. (1982) : Absence of metabolic bone disease in the proximal femur in patients with fracture of the femoral neck. *J. Bone Joint Surg*, **64-B**, 319-322.
- 51) Williams, J. A., Wagner, J., Wasnich, R. and Heilbrun, L. (1984) : The effect of long-distance running upon appendicular bone mineral content. *Med Sci Sports Exerc*, **16**, 223-227.
- 52) Wronski, T. J. and Morey, E. R. (1983) : Inhibition of cortical and trabecular bone formation in the long bones of immobilized monkeys. *Clin Orthop*, **181**, 269-276.
- 53) Young, D. R., Niklowitz, W. J. and Steele, C. R. (1983) : Tibial changes in experimental disuse osteoporosis in the monkey. *Calcif Tissue Int*, **35**, 304-308.
- 54) Young, D. R., Niklowitz, W. J., Brown, R. J. and Jee, W. S. S. (1986) : Immobilization-associated osteoporosis in primates. *Bone*, **7**, 109-117.