

## 変形性膝関節症における高位脛骨骨切り術後の骨変化

—— 脛骨近位部と膝蓋骨に生じる単純X線写真上の輝度変化 ——

本 田 透

キーワード; High tibial osteotomy, densitometry, tibia, patella, osteoarthritis

### 緒 言

膝関節の内側あるいは外側の大腿脛骨関節に生じた変形性関節症に対して、脛骨結節の遠位部で骨切り術を行い、下肢のアライメントを内反膝では外反に、外反膝では内反に変換して、変形が生じた関節面にかかる負荷を減じる治療法が1961年に紹介された<sup>1)</sup>。続いて1965年、Coventryによって、変形が生じている部位に近く、また、骨癒合に有利な脛骨結節の近位部で骨切りを行う高位脛骨骨切り術 (HTO)<sup>2)3)4)</sup> が確立された。特に内側型大腿脛骨関節症(MFT-OA)について、下肢のアライメントをいわゆるO脚から軽度のX脚に変化させるHTOは安定した治療成績が期待できる治療法と評価されている。

HTO後、骨構造に生じる変化を明らかにすることは、本法の理論的な裏付けに大切である。1993年、高橋<sup>5)</sup>はDensitometerを用いて、膝関節正面単純X線像において設定した測定点のX線透過度を計測し、HTOにより膝関節の内側顆と外側顆の骨硬化度の比が減少することを示した。その後、DEXAを用いた研究により、HTOにより大腿骨・脛骨とも内顆部の骨密度が低下すること<sup>6)</sup>、また、脛骨関節軟骨下骨の骨密度分布が正常な状態に近づくこと<sup>7)</sup> が示された。しかし、診療での基本の検査となるX線写真上の詳細な変化は明らかではない。また、MFT-OAでは膝蓋大腿関節症 (PF-OA) を合併することが多いが、HTOにより膝蓋骨に生じるX線写真像の変化

については言及されていない。

本研究では、HTOによって脛骨近位部と膝蓋骨に生じる単純X線写真上の変化を明らかにし、その治療効果を評価すること、及び、臨床経過観察における指標を作製することを目的として、デジタル化した脛骨近位部と膝蓋骨の単純X線像における輝度の変化と、下肢アライメントの変化の関係を解析した。

### 対 象 と 方 法

1995年4月から1997年3月の間に厚生年金高知リハビリテーション病院においてMFT-OAのためHTOを施行された72例92膝のうち、経過観察不能であった21膝と、測定した関心領域 (ROI) の輝度のうち、参照体となるアルミステップの最大の厚さである25mmの輝度を越える部分がある14膝を除く、47例57膝を対象とした。対象の手術時平均年齢は $69.9 \pm 6.8$ 歳であり、男性7膝平均 $68.3 \pm 9.2$ 歳、女性50膝平均 $70.2 \pm 6.5$ 歳であった。MFT-OAのGradeは石川の分類<sup>8)</sup>でⅡ2膝、Ⅲ36膝、Ⅳ14膝、Ⅴ5膝であった。PF-OAについては北大分類<sup>9)</sup>でStage I 24膝、Ⅱ29膝、Ⅲ4膝であった。手術法は、全例、barrel-vault osteotomy<sup>3)</sup> (ドーム状骨切り術) であり、創外固定法を用いた。脛骨粗面浮上法 (Ventralization法)<sup>3)10)</sup> は併用していない。術後、大腿四頭筋の強化訓練を直ちに開始し、3週間後より部分的荷重、6週間後から全体重負荷を開始した。感染や腓骨神経麻痺などの合併症は無く、創外固定ピンは6週から8週で抜去された。術後3カ月では57膝中18膝が杖を必要とする状態であったが、最終観察時には、このうち15膝は杖無しで屋外の活動が可能となり、残る3膝も屋内では自由に移動可能であった。経過観察期間は6カ月以上とし、平均 $15.0 \pm 7.8$ カ月であった。

(平成14年4月22日受理)

指導: 井上 一教授 (岡山大学大学院医歯学総合研究科 整形外科学教室)

論文請求先: 〒760-8557 香川県高松市番町5丁目4-16

香川県立中央病院整形外科

本田 透

電話: 087-835-2222 FAX: 087-837-6210

E-mail: t-honda@mail.central-hp.pref.kagawa.jp

膝関節の臨床経過は日本整形外科学会OA膝治療成績判定基準 (JOA score)<sup>11)</sup> を用いて評価した。

X線写真上の輝度の測定については、単純X線写真像は撮影条件と現像条件により大きく光学的輝度が変わるので、その輝度を同時に撮影した参照体の厚さに換算する方法を採った。用いた参照体は、メルコ社製の1mmから25mmまでの厚さのアルミステップ (ペネトロメーターB) を幅3cmに切断したものである。画像処理と解析にはMacintosh (Apple computer, Inc., U.S.A.) コンピューターとその周辺機器、そして、医学生物学研究のための画像処理ソフト NIH Image 1.61 (National Institutes of Health, U.S.A.)<sup>12)13)14)</sup> を用いた。

輝度測定のためのX線撮影では、膝正面像では、アルミステップを高さ5mmで周囲を取り囲む形の発泡スチロールの台に乗せ、膝関節の凸側に接して、その厚さ15mmの部位が関節列隙の高さになるように置いて撮影した。撮影距離は1m、照射時間は0.04秒、電流は200mAとした。電圧は59Kv、62Kv、65Kvのいずれかとした (図1)。

膝蓋骨軸射像は、膝屈曲約60° となる下肢台を用い、アルミステップは木製のフレームに10° 前傾して載せ、膝前面に接するように置いて尾側10° 下方から撮影した。撮影距離は1m、照射時間は0.04秒、電流は200mAとし、電圧は67Kv、71Kv、74Kv、77Kvのいずれかとした (図1)。

撮影したX線写真を、Apple社製コンピューターPower Macintosh 7100/66AVと、フラットベッドスキャナー Nikon AX-210とその透過原稿ユニットAT-45を用いて解像度144PPI (Pixels per Inch) でデジタル画像データとした。特に膝正面像では、後述の関心領域 (ROI) 設定の際に回転操作による微調節が必要ないように、脛骨関節面が水平になるようにフィルムをスキャナに置いた。階調補正やシャープ化の処理はせず、データは圧縮せずにTIFFファイルとして保存した。これらは、画像データの各Pixelの輝度が変わる可能性がある操作を避けるためである。輝度測定のROIは、膝正面像では、脛骨の関節軟骨下骨近位端の2mm遠位からはじめ、高さ5mmずつの2段とし、それぞれ横径について10等分した20個の長方形とした。これらを外側から内側へ順に近位領域T1～T10、遠位領域T11～T20とした (図2)。

膝蓋骨軸射像では、膝蓋骨横径の線分に垂直に縦径の線分を引き、横径については内側外側それぞれに中央側3分の2、縦径については中央側2分の1の点を結んで4個の三角形を設定し、外側腹側をP1、内側腹側をP2、外側背側をP3、内側背側をP4とした (図2)。

NIH Imageでは画像データでの各pixelの輝度を256階調で表し、任意のROIについて輝度のデータを算出できる。脛骨における実際の測定の手順を示す (図3)。NIH Imageの画像ファイルとしてROI設定用フレームを作製し、こ



膝正面像



膝蓋骨軸射像

図1 輝度測定用X線撮影法



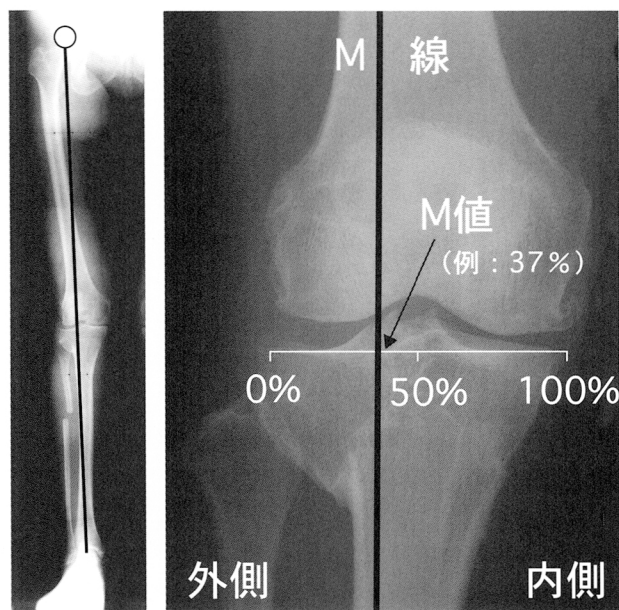


図4 M線とM値の表現法

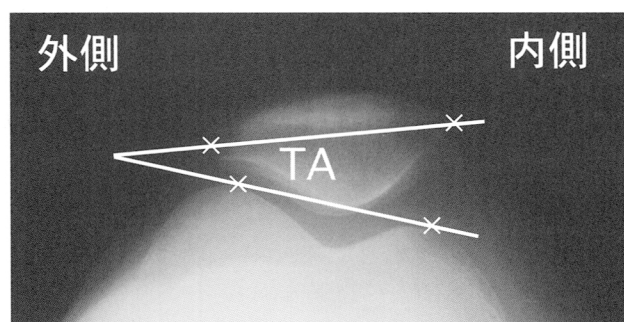


図5 膝蓋骨外方傾斜角 (TA)

のフレームの横径を調節して計測対象の脛骨近位部の画像に重ね合わせてROIを設定する。一方、同時に撮影したアルミステップの輝度を測定して検量線を作製しておき、その画像にROIを設定した画像を重ね合わせて、自動計測機能を用いて各ROIの輝度をアルミステップの厚さに換算した数値として得た。膝蓋骨では、同様に画像を処理し、最後のプロセスで、個々のROIを手動で設定し、輝度を測定した。

HTO前後での膝の形態の変化については、上記の撮影を行う定期検診時に両下肢立位正面X線写真も撮影し、大腿骨頭中心と足関節中心を結ぶ直線をM線（下肢機能軸）<sup>15)</sup>とし、脛骨関節面の外側端を0%，内側端を100%

として、その脛骨関節面における通過位置をそれぞれの膝のM値とし、下肢のアライメントの指標とした（図4）。また、膝蓋骨軸射像において膝蓋骨外方傾斜角（TA）を測定した（図5）。

対象とする膝群を、HTO前についてはM値により、100%未満を軽度内反群、100%以上120%未満を中度内反群、120%以上140%未満を重度内反群、140%以上を極度内反群とした。HTO後については、長野<sup>16)</sup>の評価法を参考に、M値により、25%未満を過度矯正群、25%以上50%未満を適度矯正群、50%以上75%未満を矯正不足群、75%以上を矯正失敗群とした。これらの各群における各ROIの輝度を評価した。

また、各膝の脛骨近位部の内側と外側の輝度の比をM/L = (T7値・T8値・T9値の和) / (T2値・T3値・T4値の和) で示した。

膝蓋骨軸射像では、各膝のP1値/P2値、P3値/P4値（それぞれP1/P2、P3/P4とする）から内側と外側の輝度のバランス、また、P1値/P3値、P2値/P4値（それぞれP1/P3、P2/P4とする）から腹側と背側の輝度のバランスを評価した。

なお、同一膝を同一時に前述の各電圧でX線撮影し、本法で計測を行ったところ、撮影条件による計測値の差は脛骨近位部では5%以内、膝蓋骨では7%以内であった。

統計学的評価にはMacintosh版Stat View 4.5を利用した。各群の間での比較にはBonferroniの多重比較検定<sup>17)</sup>を用い、HTO前後の変化については対応のあるt検定を用い、危険率5%未満を有意とした。

以下、輝度のアルミステップ換算値の単位をmmAlと表現する。

## 結 果

### 1. 臨床成績評価

MFT-OAのJOA scoreはHTOにより平均61.3±13.0点から平均77.2±14.5点に有意に改善していた (P<0.0001)。

### 2. X線学的形態評価

HTOにより、M値は平均111.6±23.7%から平均45.7±18.8%となり、大腿脛骨角は平均189.6±6.1°から平均172.7±5.3°となっていた。TAは平均6.6±3.5°から平均5.5±3.8°に変化した。術前・術後とも、各群の間でTAに有意な差はなかったが、HTOによる変化をみると、適度矯正群でのみHTO後にTAが有意に小さくなっていた（表1，2）。



表1 術前の下肢アライメントと膝蓋骨外側傾斜角 (TA) の関係

	膝数	TA
軽度内反群	16	6.51° ± 3.83°
中度内反群	23	6.09° ± 3.40°
重度内反群	13	7.24° ± 3.31°
極度内反群	5	7.00° ± 3.84°

(平均値±標準偏差)

表2 HTOによる膝蓋骨外側傾斜角 (TA) の変化

	膝数	HTO前	⇒	HTO後
過度矯正群	6	8.32° ± 2.57°		8.34° ± 2.73°
適度矯正群	28	6.64° ± 3.67°	≫	4.77° ± 3.62°
矯正不足群	19	5.64° ± 3.59°		5.35° ± 4.03°
矯正失敗群	4	7.52° ± 1.90°		7.26° ± 3.45°

(平均値±標準偏差) ≫ : P=0.047

### 3. 輝度の解析

#### 1) 脛骨における各ROIの輝度

##### (1) HTO前の輝度分布 (図6)

近位領域 (T1～T10) では、各群とも最も輝度が高いのはT8であった。

軽度内反群と中度内反群ではT5に比べT6とT7の輝度が低い、重度内反群ではT5からT7へと上昇し、T8・T9が更に高値であった。極度内反群ではT6からT8まで輝度が著しく上昇していた。

遠位領域 (T11～T20) でも、重度内反群と極度

内反群では中央から内側のT17・T18まで連続的に輝度が上昇していた。

M/L (表3) は、重度内反群では軽度内反群に比べ有意に高値であり、

$$M/L = 0.974 + 0.001 \times (M \text{ 値 } (\%))$$

表3 HTO前の脛骨近位部における外側に対する内側の輝度の比

	M/L (平均値±標準偏差)
軽度内反群	1.047 ± 0.035
中度内反群	1.062 ± 0.047 ※
重度内反群	1.101 ± 0.036
極度内反群	1.100 ± 0.039

※ : P=0.0008 &lt; 0.0083

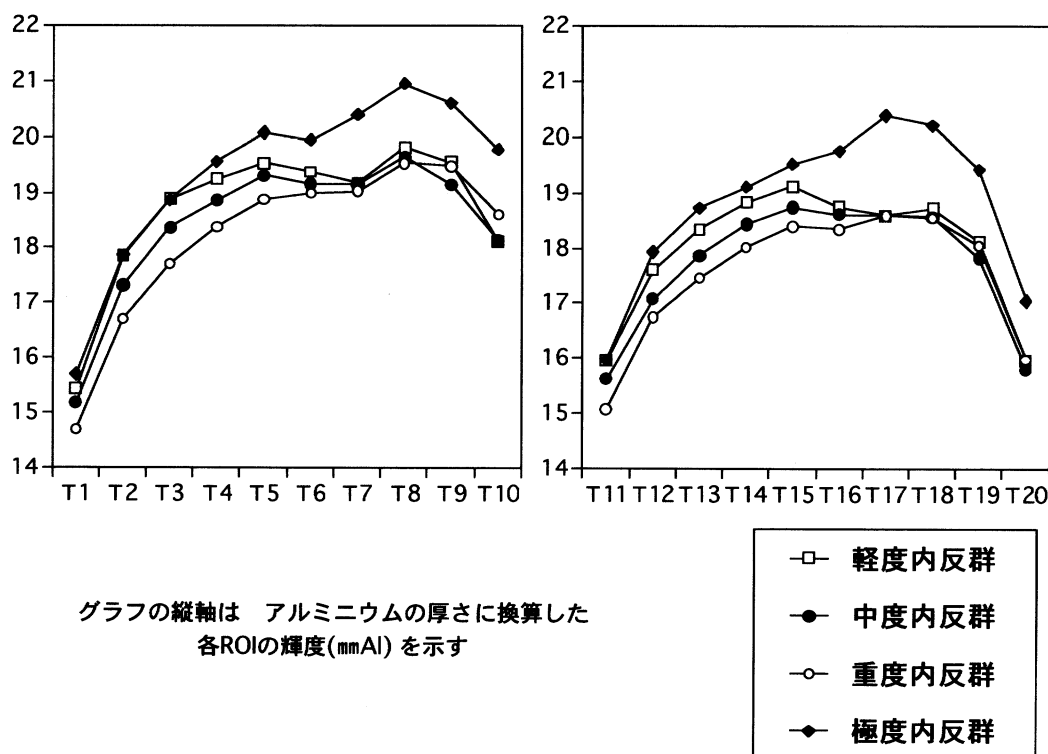


図6 HTO前の脛骨近位部の各ROIの輝度

$$R=0.427$$

で表される有意な正の相関関係があった。

## (2) HTO後の輝度分布の変化

### a) 過度矯正群 (図7-1)

近位領域ではT4・T5に高いピークがあり、T6・T7へと比較的急峻な下降曲線を示した。また、他の群と異なり、T2は内側の各領域よりも高輝度であった。遠位領域ではT13~T16が高輝度であった。HTO前に比べHTO後はT3とT13で有意に輝度が増強していた。

### b) 適度矯正群 (図7-2)

近位領域ではT3~T6がなだらかかつ高い輝度分布となり、HTO前に比べT1~T8で輝度が有意に増した。遠位領域ではT15をピークとし内側・外側でほぼ均等に輝度が低下する分布となり、HTO前に比べT11~T18で輝度が有意に増していた。

### c) 矯正不足群 (図7-3)

近位領域ではT3~T8まで広範囲に輝度が高かった。HTO前に比べT1~T8で有意に輝度が増していた。遠位領域では適度矯正群と類似した輝度分布となり、T11~T17で有意に輝度が増していた。

### d) 矯正失敗群 (図7-4)

近位領域では内側と外側の輝度の分布が逆転していた。遠位領域ではHTO後はT15~T19の下降がゆるやかであった。

M/L (表4) は、適度矯正群では矯正不足群に比して有意に低値であり、

$$M/L = 0.935 + 0.001 \times (M \text{ 値 } (\%))$$

$$R=0.291$$

で表される有意な正の相関関係があった。

表4 HTO後の脛骨近位部における外側に対する内側の輝度の比

M/L (平均値±標準偏差)	
軽度矯正群	0.961±0.060
適度矯正群	0.970±0.059
矯正不足群	1.007±0.070
矯正失敗群	0.972±0.079

※: P=0.0032<0.0083

## 2) 膝蓋骨における各ROIの輝度

### (1) HTO前の輝度分布 (表5)

どの群においても、各ROIの輝度の平均値は、P3値>P1値>P4値>P2値であり、内側に比べ外側が高輝度であった。

各群におけるP1の平均値は、P2の平均値に比べ1.3~1.8mmAl高かった。各群のP1/P2の平均値は1.08~1.11であり、内反変形が強度な群ほど大きかった。

P3の平均値は、P4の平均値に比べ、どの群でも1.6~1.7mmAl高かった。P3/P4の平均値は1.09~1.10であり、内反変形の程度による差は僅かであった。

背側と腹側の輝度の比較では、P1/P3の平均値、P2/P4の平均値はいずれも0.94~0.96で、どの群でもほぼ同じであった。

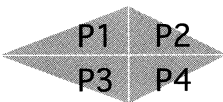
### (2) HTO後の輝度分布の変化 (表6)

HTO後は全般に高輝度化し、術前のパターンと異なり、適度矯正群と矯正不足群でP4の平均値がP1の平均値より高かった。

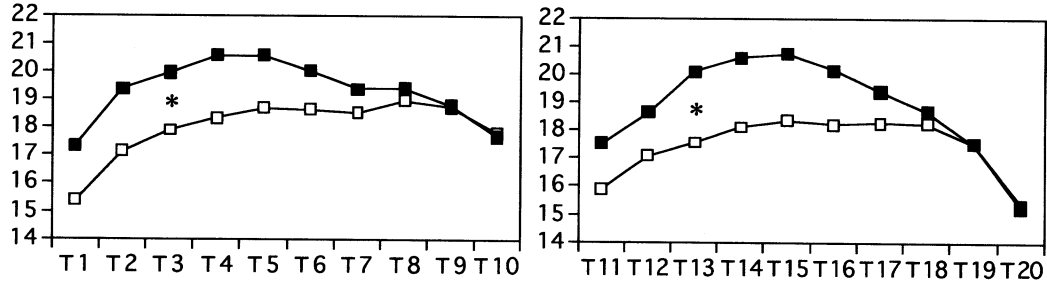
#### a) 過度矯正群

HTO前に比べ、P3とP4で有意に輝度が上昇していた。P1とP2、また、P3とP4の平均値の差が小さくなり、P1/P2の平均値は1.076か

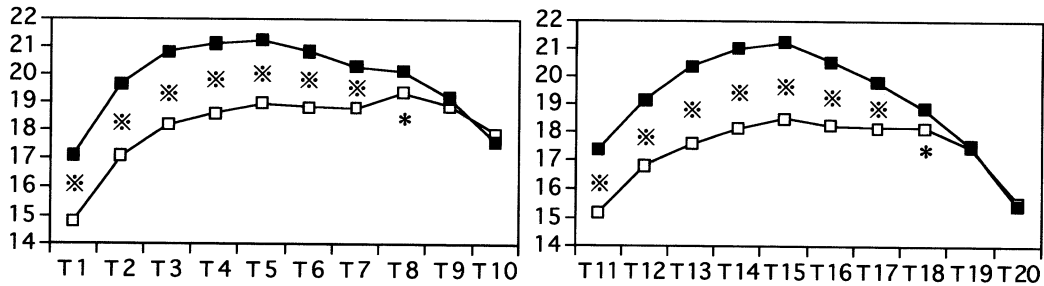
表5 HTO前の脛蓋骨における各ROIの輝度 (平均値mmAl) とP1/P2, P3/P4 (平均値±標準偏差)

	軽度内反群 (N=15)	中度内反群 (N=24)	重度内反群 (N=13)	極度内反群 (N=5)
P1/P2	1.081 ±0.043	1.084 ±0.037	1.105 ±0.061	1.111 ±0.035
	18.84 17.51 19.85 18.21	19.34 17.87 20.31 18.62	18.02 16.37 19.10 17.40	18.24 16.42 19.16 17.55
P3/P4	1.095 ±0.043	1.091 ±0.037	1.102 ±0.072	1.094 ±0.036

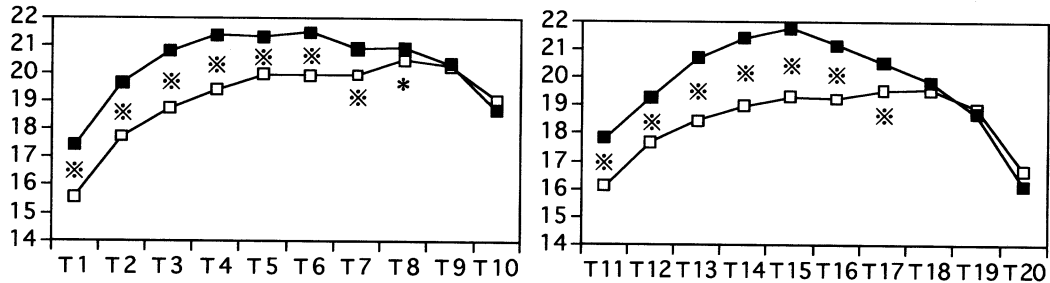
1. 過度矯正群 (n=6)



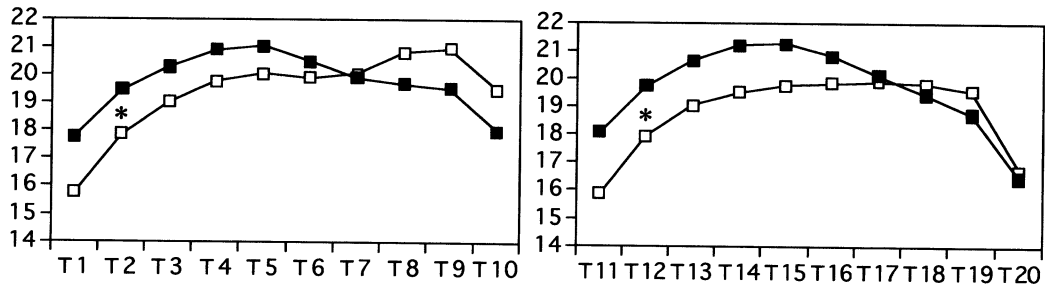
2. 適度矯正群 (n=28)



3. 矯正不足群 (n=19)



4. 矯正失敗群 (n=4)



グラフの縦軸は アルミニウムの厚さに換算した  
各ROIの輝度(mmAl)を示す

※ :  $P < 0.01$

\* :  $P < 0.05$

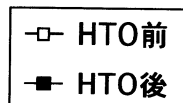


図7 HTOによる脛骨近位部の輝度の変化

表6 HTOによる膝蓋骨における輝度の変化各ROIの輝度（平均値mmAl）とP1/P2, P3/P4（平均値±標準偏差）

	過度矯正群 (N=6)	適度矯正群 (N=28)	矯正不足群 (N=19)	矯正失敗群 (N=4)
HTO前				
P1/P2	1.076 ±0.029	1.082 ±0.053	1.099 ±0.051	1.131 ±0.070
	19.32 17.97 19.78 18.19	18.66 17.30 19.53 17.94	18.72 17.08 20.01 18.27	19.45 17.30 20.84 18.72
P3/P4	1.089 ±0.028	1.091 ±0.052	1.097 ±0.058	1.121 ±0.106
HTO後				
P1/P2	1.066 ±0.030	1.071 ±0.048	1.081 ±0.059	1.133 ±0.112
	20.04 18.84 21.60* 20.01*	19.70* 18.43* 21.59* 20.07*	19.59 18.17* 21.70* 20.07*	21.56 19.25 23.99 21.46
P3/P4	1.081 ±0.037	1.076 ±0.051	1.083 ±0.062	1.125 ±0.076

\*：有意な輝度上昇あり

ら1.066に、P3/P4の平均値は1.089から1.081に低下した。

b) 適度矯正群

すべてのROIで有意に輝度が上昇していた。P1/P2の平均値は1.082から1.071となり、P3/P4の平均値は1.091から1.076に最も大きく低下し、術後各群のうち最も低値となった。

c) 矯正不足群

P2・P3・P4で有意に輝度が上昇していた。P1/P2の平均値は1.099から1.081に、P3/P4の平均値は1.097から1.083に低下した。

d) 矯正失敗群

P1/P2の平均値、P3/P4の平均値ともに1.12から1.13程度で変化していなかった。

なお、背側と腹側の輝度の比較については、P1/P3の平均値は0.90～0.93であり、矯正度が強い群ほど大きかった。また、P2/P4の平均値は0.90～0.95で、矯正度が強い群ほど大きかった。

## 考 察

X線写真におけるHTOによる変化について、高橋<sup>5)</sup>は関節面から2mm、7mmの部位に測定点を設定し、膝関節の内側と外側の輝度の比と下肢のアライメントとの関係

を論じた。しかし、物質のX線学的な密度とX線写真上の輝度の関係は撮影条件によって非直線的に変化するので、その輝度の比も撮影条件によって異なる。そこで、本法では、単純X線写真像での評価法としては誤差が少ないデータを得るため、アルミステップを参照体とした。

アルミステップなどの参照体を同時に撮影していないX線写真では輝度の変化について絶対的な数値で評価することはできない。しかし、NIH ImageのPlot Profile表示機能<sup>12)14)</sup>を用いれば、デジタル化した画像上で脛骨近位部に脛骨関節面に平行な任意の幅の直線を引くことにより、その直線上の各pixelの輝度の分布が、縦軸を256階調としたグラフで容易に表示される（図8）。これを本研究結果で示した輝度分布のグラフと比較することにより、その膝にかかる荷重負荷の状態を評価できる。また、術後、骨切り部が癒合すれば創外固定器を抜去するが、その時期を判定することがX線像の肉眼的評価だけでは容易でない場合がある。骨切り部が癒合した状態で荷重されることによって早期に脛骨近位部の輝度分布パターンの変化が進むものとすれば、それを検出することによって骨切り部の骨癒合を判定する際に参考にできる可能性がある。創外固定中の画像であってもPlot Profileは表示可能であり、本研究結果の近位領域、遠位領域の輝度分布との比較が可能である。

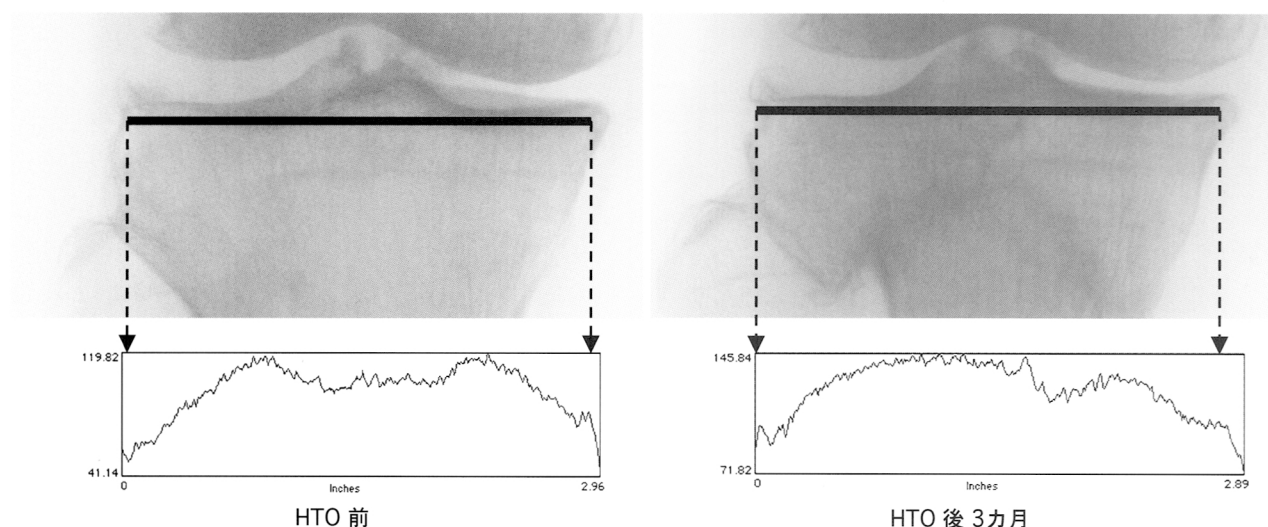


図8 NIH ImageによるPlot Profile作製  
(階調反転処理後の画像を用いて)

本法では測定誤差は7%程度あり、これは、骨塩定量法として中手骨で行われ、原理的にも類似しているMD法の誤差範囲2.2~7.7%<sup>18)</sup>に近い。しかし、経過観察時において更に誤差が増す要素として、膝正面像では、撮影時の姿勢を完全に一定にすることは容易でないこと、また、HTOにより矢状面での脛骨関節面の傾斜に変化が生じうることを考慮せねばならない。また、膝蓋骨軸写像ではHTO後の膝蓋骨の低位化<sup>19)</sup>や膝蓋腱附着部の内方移動、また、撮影時の筋緊張の程度によっても誤差が増す可能性がある。なお、本研究では従来の診療方法を変更せずに行える方法を探ったが、可能であれば計測用のX線撮影の電圧を統一することが望ましい。

このように精度の点では限界がある方法であるが、本法では、自由にROIを設定でき、脛骨では機能的に重要な構造がある部分<sup>20)21)</sup>での変化について評価が可能であった。また、DEXA法では計測できない膝蓋骨軸射像での計測が可能であった。

本法による測定結果では、下肢のアライメントと各ROIの輝度の関係を見ると、脛骨については、HTO前では、内反変形が軽度な群では中央から内側への移行部の輝度がやや低いが、内反変形が重度な群では連続的に輝度が上昇することが特徴であった。

HTO後では、過度矯正群では外側荷重部が高輝度であった。この群では外側に強いストレスが加わり、外側に関節症変化が生じてくる恐れがある。適度矯正群では外側から中央部にかけて広範囲に輝度が高くなり、この輝

度分布パターンを示すものが良好な経過をとる<sup>16)</sup>。矯正不足群では、輝度の分布は内側と外側のバランスが良いが、内側関節面にも荷重がかなり分布しているため、内側関節面の変形が重度であればその変性・損傷が進行すると考えられる。なお、矯正失敗群でも内側で輝度が低下する効果がみられた。この群は術前のM値は平均143%であり、著しい内反変形のために歩行時に生じていた内側関節面への強大な動的ストレスがHTOにより減少しこのような変化が生じたものと推測されるが、対象膝数が少なく、常にこのような輝度分布となるかどうか、明らかではない。

遠位領域については、適度矯正群と矯正不足群ではほぼ同様なT15をピークとする輝度分布となった。約1cm関節軟骨から離れた部位では、術前の病的な荷重状態が解消されれば、内外に偏ることなく負荷を分担する状態になっていた。

脛骨近位部についてのDEXA法を用いた研究結果では、若林ら<sup>6)</sup>は、HTOにより内側の骨密度は減少すると報告しており、本研究結果のパターンと一致しない。また、石村ら<sup>7)</sup>は、Control群、OA群、HTO群を比較し、OA群では内側の骨密度が有意に高く、HTO群では内側の骨密度が低下しControl群の骨密度分布とほぼ近似していたと述べた。石村らのHTO群のM値は、本研究の表現法では平均約22%であり過矯正気味であったが、HTO群、Control群ともに外側に比して内側の骨密度がやや高値であった。これに対して、本研究の結果では、適度矯正群



でも単純X線写真上の輝度は外側と中央部で高かった。この相違の原因については、単純X線写真を用いる本法では、皮質骨の骨密度の変化に比べ海綿骨の微細な骨梁の変化を捉えにくい<sup>22)</sup>ので、主に海綿骨の微細な変化を捉えるDEXA法を用いて得られた骨密度の分布パターンとは異なったものと考えられる。その他、関心領域の設定法が異なることや、本研究では、関心領域の輝度がアルミステップ25mm相当の輝度を越える著しい硬化像を持つ膝を対象から除外せざるをえなかったことも原因となっている可能性がある。

膝蓋骨においては、外側の骨構造が密であり、その構造が関節にかかるストレスをよく反映することが示されており<sup>20)23)24)</sup>、X線写真上の輝度も外側が高輝度であった。MFT-OAでは脛骨の内反に伴い脛骨結節が外側に偏り、膝蓋骨が外側に偏るため<sup>25)</sup>、外側型のPF-OAを合併することが多い。これに対してHTOを施行する際、Ventralization法を併用すると膝蓋大腿関節にかかるストレスを軽減させることができる<sup>10)</sup>ため、この手技の併用を推奨するもの<sup>9)26)</sup>と、これを併用しないHTOでもTAが減少し、PF-OAに対してもよい影響を与えると述べるもの<sup>27)</sup>がある。形態的には、本研究の結果でもHTO後、適度矯正群でのみTAが有意に小さくなっていた。また、膝蓋骨の輝度からみると、HTO後、内側と外側の輝度の比、腹側と背側の輝度の比が1に近づき、特に適度矯正群において関節面側のP3/P4の平均値にその傾向がみられ、膝蓋骨にかかるストレスの偏りが解消され则认为る。これは、Ventralization法を併用しないHTOであっても、主に外側にみられるPF-OAの進行を防ぐ効果があることを示している。ただし、HTO後に膝蓋骨の輝度は全般に増強しており、膝蓋骨にかかる負荷が増すとみられるため、重度のPF-OAの膝の治療ではVentralization法を併用しないHTOでは不十分と考えられる。

なお、過度矯正群では、適度矯正群よりもP3/P4の平均値がやや高く、外側関節面にかかるストレスがやや大きいことが示唆された。この群では脛骨結節が過度に内側へ移動するため、膝蓋腱の走行とその緊張が非生理的な状態に変化するため、TAが小さくならないと考えられる。また、動的ストレスの面からみると、過度矯正群では歩行時に生じる膝の外反動揺性のため、適度矯正群に比べ膝蓋骨の外側関節面にかかるストレスが大きくなると考えられる。

以上より、PF-OAについても適度矯正群で最もよい術後経過が期待できると考えられる。

## 結 論

1. HTO前後のX線写真における脛骨近位部と膝蓋骨の光学的輝度を、MacintoshコンピュータとNIH Imageを用いて解析できた。
2. 脛骨近位部の光学的輝度は、術後の下肢アライメントの外反程度に応じて変化しており、外側と中央部で輝度が増強するパターンになるもので最もよい臨床成績を期待できる。
3. HTOにより膝蓋骨にかかるストレスが均一化する傾向があり、下肢機能軸が脛骨関節面の外側25%から50%の間を通過する軽度の外反位に矯正骨切りを行えば、PF-OAの進行を防ぐ効果が期待できる。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を賜りました岡山大学医学部整形外科学教室、井上 一教授に深謝します。また、貴重な御助言、御指導を頂戴した香川県立中央病院整形外科、長野健治先生、厚生年金高知リハビリテーション病院整形外科、安田舜一先生、検査に御協力頂いた放射線科のスタッフ諸兄に感謝致します。

## 文 献

- 1) Jackson JP and Waugh WW: Tibial osteotomy for Osteoarthritis of the knee. JBJS (1961) 43-B, 746-751.
- 2) Coventry MB: Osteotomy of the upper portion of the tibia for degenerative arthritis of the knee. JBJS (1965) 47-A, 984-990.
- 3) Maquet PGJ: Osteoarthritis of the knee with varus deformity; in Biomechanics of the Knee, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1976) pp144-172.
- 4) 腰野富久: 脛骨骨切り術の適応と術式. 日整会誌 (1977) 51, 45-69.
- 5) 高橋成典: 変形性膝関節症に対する高位脛骨骨切り術後長期経過における大腿骨・脛骨顆部の骨硬化度の変化. 日整会誌 (1993) 67, 417-426.
- 6) 若林真司, 秋月 章, 瀧澤 勉, 安川幸廣, 小林博一: 変形性膝関節症に対する高位脛骨骨切り術前後の骨密度の変化. 整形外科 (1999) 50, 417-422.
- 7) 石村雅男, 大串 始, 松山悦啓, 玉井 進, 藤沢義之: 骨塩定量法を用いた高位脛骨骨切り術の術後評価. 日整会誌 (1995) 69, S593.
- 8) 石川浩一郎, 坂口 満, 岡元 勉: ステロイドホルモン膝関節内注入の関節軟骨に及ぼす影響. 日整会誌 (1977) 51, 1018-1019.
- 9) 真島任史, 安田和則: 変形性膝関節症に対する高位脛骨骨切り術およびそれに合併した脛骨粗面浮上術の長期成績. 関節外科 (1993) 6, 208-218.
- 10) Ferguson AB, Brown TD, Fu FH and Rutkowski R: Relief of

- patellofemoral contact stress by anterior displacement of the tibial tubercle. JBJS (1979) 61-A, 159-166.
- 11) 腰野富久：OA膝治療成績判定基準．日整会誌（1988）62, 900-902.
  - 12) Rasband W：NIH Image 1.61 User manual. US National Institutes of Health, Springfield Va. (1997) PP 9-75.
  - 13) 西川慶一：X線写真の解析-NIH Imageを使った骨の計測：画像解析テキストNIH Image新講座，小島清嗣，岡本洋一編，羊土社，東京（1997）pp91-103.
  - 14) 沼原利彦，小島清嗣編：医学・生物学のための画像解析ハンドブック/実践NIH Image講座．羊土社，東京（1994）pp12-69.
  - 15) 藤原紘郎：X線像による下肢アライメントの研究．日整会誌（1974）48, 365-377.
  - 16) 長野健治，宮本宣義，西原伸治，内田健介，川上幸雄，安田舜一，本田 透：変形性膝関節症に対する高位脛骨骨切り術の長期成績．日整会誌（1994）68, S 673.
  - 17) 長田 理：1要因で分類される多群の検定：Macintosh医学統計マニュアル．真興交易医書出版部，東京（1993）pp132-144.
  - 18) 串田一博，井上哲郎，山下源太郎：手部X線によるmicro-densitometry法．Pharma Medica（1988）10, 111-119.
  - 19) 岡本連三，腰野富久：高位脛骨骨切り術後の膝蓋靱帯の短縮と膝蓋骨の低位化．整形外科（1980）8, 1127-1133.
  - 20) 白崎芳夫，立石哲也，福林 徹：膝関節の力学特性と内部構造．日本レオロジー学会誌（1981）9, 83-90.
  - 21) 柚木 脩：膝関節の内部構築と力学的強度に関する研究．日整会誌（1978）52, 67-79.
  - 22) 井上哲郎，角佳志彦：骨量のX線学的計測．整形外科MOOK, No.34, 金原出版，東京（1984）pp12-35.
  - 23) Eckstein F, Putz R, Muller-Gerbl M, Steinlechner M and Benedetto KP：Cartilage degeneration in the human patellae and its relationship to the mineralisation of the underlying bone：a key to the understanding of chondro-malacia patellae and femoropatellar arthrosis? Surg Radiol Anat（1993）15, 279-286.
  - 24) Katoh T, Griffin MP, Wevers HW and Rudan J：Bone hardness testing in the trabecular bone of the human patella. J Arthroplasty（1996）4, 460-468.
  - 25) 津村弘：生体力学からみた変形性膝関節症．理学療法（1992）3, 169-176.
  - 26) 佐々木鉄人，加藤哲也，須々田幸一，八木知徳，門司順一，安田和則，宮本一成：高位脛骨骨切り術の成績．整形外科（1980）8, 867-876.
  - 27) 吉野信之，高井伸朗，藤原靖大，城守国斗，平澤泰介，山下文治，須津富麿：高位脛骨骨切り術の膝蓋大腿関節に及ぼす影響について．関節外科（1994）2, 7-13.

## **Radiographic changes of proximal tibia and patella after high tibial osteotomy for knee osteoarthritis**

**Toru HONDA**

**Department of Orthopaedic Surgery,**

**Okayama University Medical School,**

**Okayama 700-8558, Japan**

**(Director: Prof. H. Inoue)**

Radiographic brightness was measured in the proximal tibia and patella of 57 knees before and after high tibial osteotomy (HTO) for osteoarthritis. The brightness was converted to the thickness of a reference Aluminum phantom using NIH Image software. The knees were classified into 4 groups according to the position of the point at which the mechanical axis of the leg intersects the tibial articular surface after HTO, namely “overcorrected” (the position; lateral 0~25%), “adequately corrected” (mid lateral 25~50%), “undercorrected” (mid medial 50~75%), and “correction failure” (medial 75%~). Brightness was high in the lateral and central regions of the proximal tibia in the adequately corrected group, while that of the lateral loading region was high in the overcorrected group. The brightness was broadly high in the undercorrected group, and was not distinct in the correction failure group. In the patella, the brightness of the lateral region was higher than that of the medial region before HTO, and the difference between the two regions was considerably reduced in the adequately corrected group. These findings indicate that adequate correction of leg alignment causes favorable changes in the patellofemoral joint as well as in the femorotibial joint.