原著論文

大腿骨の横断面形状にみる運動適応：ラットを用いた実験的アプローチ

松村秋芳¹・岡田守彦²・高橋 裕¹

¹ 防衛医科大学校生物学科

² 筑波大学先端学際領域研究センター／体育科学系

要約 成長期のラットに、強制走行運動、あるいはオペラント条件づけによる二足起立運動を負荷し、異なる様式の運動負荷が大腿骨の緻密骨質の厚さに及ぼす影響を骨幹の80箇所について比較検討した。その結果、運動負荷の様式によって骨質の付加形成される領域が異なることが明らかになった。さらに、個々の緻密骨質厚の増加領域は、それぞれ異なった筋の付着部と密接な対応関係がある可能性が示唆された。筋収縮力は、重力とともに骨に加わる主要な力の成分として作用し、負荷様式によって異なった影響を骨幹部全体の構造力学的特性に及ぼすが、筋の付着部周辺では局所的な緻密質の形成に関与するものと考えられた。

キーワード 大腿骨、緻密質、骨形成、筋収縮力、ラット

はじめに

運動負荷が骨に及ぼす影響を知るために、これまで多くの実験的研究がラットなどの小動物を用いて行われてきた。これらの研究の結果、大腿骨横断面の力学的特性値や曲げ強度は、運動負荷の強度、持続時間、様式のちがい等それぞれの負荷条件に対して特徴的な反応を示すことが見いだされている (Matsuda et al., 1986; Matsumura and Okada, 1989; 七五三木ら, 1990; 佐藤・松村, 1999)。

著者らは、強制走行運動あるいはオペラント条件づけによる二足起立運動を成長期のラットに負荷し、運動様式の観点から運動適応の影響をしらべてきた (Matsumura and Okada, 1987, 1989, 1990)。その結果、運動負荷はその様式に関わらず、ラット大腿骨の中央部周辺から近位側において断面形態の変化をもたらす一方、骨

幹の特定の部位では、運動様式の違いに対応する力学的特性の変化を生じさせることが見いだされた。これらの大腿骨の中央からやや近位側の断面 (45% レベル) では、強制走行負荷ラット、二足起立負荷ラットともに骨膜面に骨質が多く形成される傾向があり、その主な付加形成部位は、強制走行負荷ラットでは大腿骨の前外側部、二足起立負荷ラットでは後内側部に認められた (Matsumura et al., 1995)。

このような運動負荷様式と対応した骨形態の特徴を引き起こす要因として、骨に付着する筋の収縮力、あるいは関節を介して骨に加わる筋収縮力以外の外力が考えられる (Kimura and Amtmann, 1984; Matsumura and Okada, 1990 など)。しかし、これらの要因と骨形態の適応変化との関連性の詳細については、現在のところ十分に理解されているとは言えない。

そこで、運動負荷の様式に対応するラット大

図1 本研究で比較した運動負荷様式。A. 強制走行負荷。ラットは、ベルトの内側を走るタイプ（内走式）のトレッドミルによって走行運動が負荷された。この方式は、ベルトの外側上部を電気刺激を与えて走らせるタイプの一般的に利用されているトレッドミルに比べて、動物の受けるストレスが少ないと考えられる（Matsumura et al., 1995より改変）。B. 二足起立負荷。パイペダルトレーニングボックス（BTボックス）による1サイクルの二足起立レバー押し上げ行動を示す。時間は1～10の番号順に流れている。動物は、4～7の間に4秒から10秒間二足立位姿勢を保持する（松村, 1995より改変）。L：レバー。

腿骨形態の反応の特徴と、それらを引き起こす要因との関係について詳しく知るために、大腿骨骨幹の広範な領域を対象として、強制走行運動と二足起立運動の二つの異なる様式の運動負荷が局所的な緻密骨質の厚さに及ぼす影響を比較するとともに、骨質の付加領域と断面特性値、筋付着部、筋活動などのデータとの関連性を考慮しながら検討を加えた。

材料と方法

ラット大腿骨の緻密骨質の厚さは、すでに断

面特性値が計測されている強制走行負荷ラット（Matsumura and Okada, 1987）と二足起立負荷ラット（Matsumura and Okada, 1990）の大腿骨骨幹の連続横断面の拡大写真から新たに計測した。緻密骨質の厚さは、骨の局所的な変化を検出する指標としての意味をもつ。骨断面まるごとの力学的性質を表す断面特性値が計測されている同じ断面について局所的な緻密骨質の厚さの計測を行うことは、両者の関連性を見るうえで重要と考えられる。

運動負荷実験の概要と計測方法は、以下のと

図2 大腿骨横断面における緻密骨厚の計測部位。
緻密質の厚さは、横断面の写真から、骨幹の外周に沿って45度おきに1断面8箇所ずつ計測した。計測の基準となる点は、断面2次モーメントが最大あるいは最小となる主軸方向(3-7, 1-5)および図心(G)を通してこれらに45度の角度で交わる直線(2-6, 4-8)を引き、4本の直線が骨断面の外周と交わる8点(1~8)とした。これらの基準点から骨内膜面までの最短距離(矢印)を計測した。今回のように主軸方向(表1. 参照)をもとにして計測箇所を決めた場合は、骨体の捻れの要素が除外され、緻密骨質厚が最も大きい部位が計測箇所に含まれる。この方式は、大腿骨の内外側果と小転子を含む平面の切片を基準線とし、この線を図心の位置まで平行移動したX軸をもとにして計測の基準点を決めるよりも適切と考えられる。主軸方向3-7および1-5は、基準線に基づいて決められたX軸(内外側方向, M-L)あるいは、Y軸の方向(前後方向, A-P)に近い(± 10 度程度のずれがある)。図は、左側大腿骨45%レベルの断面の遠位観。

おりである。

1. 強制走行負荷実験

強制走行負荷実験では、16頭のSprague Dawley系雄ラットを対照群と実験群に分け、1日2回のmeal feedingによって飼育した。実験群のラット8頭には動物にかかるストレスが少ないと考えられる内走式のトレッドミル(図1, A)を用いて、最高速度40 m/min., 1日20分の強制走行

運動を30日齢から負荷した。対照群の動物には、負荷が与えられなかった。110日齢時に左側大腿骨を深麻酔下で摘出した。

2. 二足起立負荷実験

二足起立負荷実験では、17頭のSprague Dawley系雄ラットを対照群と実験群に分け、走行負荷実験と同様に、1日2回のmeal feedingによって飼育した。64日齢から140日齢までの期間、実験群の動物9頭に対してオペラント条件づけを利用した、運動負荷装置(バイペダルトレーニングボックス; BTボックス)(図1, B)を用いて、吻による二足起立レバー押し上げ運動を負荷した。実験期間中、セッションあたり5-30分の運動が136-138セッション負荷された。対照群のラットには、二足起立負荷が与えられなかった。140日齢時に左側大腿骨を深麻酔下で摘出した。

3. 大腿骨骨幹の緻密質の厚さの計測

摘出された大腿骨は、骨幹の長軸と垂直に近位から遠位にかけて、骨長の30-75%の区間を10箇所切断した。これらの断面については既に、拡大写真(20-22倍)から断面特性値(断面積(Ac), 前後方向の断面2次モーメント(Ix), 左右方向の断面2次モーメント(Iy), 主断面2次モーメント(I_{max}, I_{min}), 断面2次極モーメント(I_p), 主軸方向の角度(Θ_p), 断面示数(SI)) (Matsumura and Okada, 1987; Matsumura and Okada, 1990)が計測されている。

今回、断面特性値を計測したものと同一10箇所の横断面の写真を用いて、緻密骨質の厚さを骨幹の外周に沿って45度おきに1断面8箇所ずつ(図2), 全部で骨幹の80箇所について新たに計測した。骨幹外周上の計測部位は、Simske et al. (1992)を参考にして決定した。計測の基準となる点は、断面2次モーメントが最大あるいは最小となる主軸方向(図2, 3, 4の3-7, 1-5)と図心(G)を通してこれらに45度の角度で交わる直線(図2, 3, 4の2-6, 4-8)を引いたとき、全部で4本の直線それぞれが骨断面外周の骨膜面と交わる8点(図2, 3, 4の1~8)とした。これら

図3 走行負荷による大腿骨緻密骨厚の計測部位および骨厚増加部位の分布。図中左端は、左側大腿骨を前面からみたところ。左下は、骨幹横断面(45%レベル)を遠位側から観ている。中央に示した骨幹表面の展開図中には、緻密質骨厚が有意に増加した部位が記されている(**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$)。骨質増加領域が二足起立負荷の結果とは一致していないことに注意。なお、★印は緻密質骨厚に増加傾向($p < 0.10$)が認められた部位を示す。この印は、筋付着部と緻密質増加部位との位置関係を考察するための参考として付け加えた。展開図の上下に示した記号 A, M, P, L は、順に前, 内, 後, 外の各方向を示す。展開図の右欄外は、記号で表示された各レベルの横断面特性値に有意の効果($p < 0.05$)が認められたことを示す。

Ac: 緻密骨質面積, Iy: Y 軸まわり(左右方向)の断面 2 次モーメント(最大)断面 2 次モーメント(左下断面図の 3-7 方向の断面 2 次モーメントに相当する), Imin: 主軸方向(最小)断面 2 次モーメント(図 2 および左下断面図の 1-5 方向の断面 2 次モーメントに相当する), Ip: 断面 2 次極モーメント, Θ_p : 主軸方向角度, SI: 断面示数。断面特性値の機能的な意味については表 1 を参照。

の交点から髓腔の骨内膜面までの最短距離を計測して、緻密骨質の厚さとした。45%レベルの断面については、外周の骨膜面に沿った緻密質の厚さが骨横断面外周の接線と垂直方向に計測されている(Matsumura et al., 1995)が、再計測を行った。

各計測点ごとに、実験群と対照群の緻密骨質厚の計測値について、Student *t*-test による差の検定を行った。

結果

大腿骨横断面の外周に沿った、緻密骨質の厚さの各計測部位における差の検定結果を図 3, 4 に示した。緻密骨質の厚さは、強制走行負荷と二足起立負荷の両方の負荷様式とも、主に大腿骨の中央部周辺から近位にわたる範囲で、実験群がそれぞれの対照群と比べて、有意な増加を示す計測部位が多く見いだされた。しかし、二

図4 二足起立負荷による大腿骨緻密骨厚の計測部位および骨厚増加部位の分布。図中左側は、左側大腿骨を前面からみたところ。左下は、骨幹横断面(45%レベル)を遠位側から観たところ。骨幹表面の展開図中に緻密骨厚が有意に増加した部位が記されている(**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$)。走行負荷の結果とは骨質増加領域が一致していないことに注意。なお、★印は緻密骨厚に増加傾向($p < 0.10$)が認められた部位を示す。この印は、筋付着部と緻密骨増加部位との位置関係を考察するための参考として付け加えた。図中に示した記号A, M, P, Lは、順に前, 内, 後, 外の各方向を示す。展開図の右欄外は、記号で表示された各レベルの横断面特性値に有意の効果($p < 0.05$)が認められたことを示す。
 Ac: 緻密骨質面積, Ix: X軸まわり(前後方向)の断面2次モーメント, Imin: 主軸方向(最小)断面2次モーメント(左下断面図の1-5方向の断面2次モーメントに相当する), Ip: 断面2次極モーメント, Θ_p : 主軸方向角度。断面特性値の機能的な意味については表1を参照。

つの負荷様式の間で緻密骨質の厚さが増加した計測点の分布を比較してみると、両者の間にほとんど重複が認められなかった。その詳細は、以下の通りである。

1. 強制走行負荷の影響(図3)

強制走行負荷によって緻密骨質の厚さが増加した部位は、大腿骨の骨幹中央部周辺から近位にわたる計測部位と遠位の一部で認められた。一つの計測部位が独立して負荷の影響を受けることはなく、複数の計測部位が連続して有意な緻密骨質の増加を示していた。すなわち、中央から近

位にかけては、30-40%レベルの内側部を中心とする連続した各部位、40-55%の中央部後面から後外側にわたる各部位、40-45%レベルの外側部、35-45%レベルの前外側部に、遠位では70-75%レベルの前側から前内側部にかけて有意な増加あるいは強い増加傾向が認められた。

2. 二足起立負荷の影響(図4)

二足起立負荷によって緻密骨質の厚さが増加した計測部位は、大腿骨の骨幹中央部周辺から近位にわたる部位と遠位の一部で認められた。複数の計測部位で緻密骨質の増加部位が連続す

表1 走行負荷, 二足起立負荷によって変化したラット大腿骨横断面の断面特性値とそれらの機能的な意味

記号	名称	指標となる力学的機能等	負荷様式	
			走行	二足
Ac	緻密質断面積	骨の長軸方向の圧縮強度	*	*
Ix	X 軸まわりの断面 2 次モーメント	前後 (Y 軸) 方向の曲げ強度		*
Iy	Y 軸まわりの断面 2 次モーメント	左右 (X 軸) 方向の曲げ強度	*	
Imax	主断面 2 次モーメント (最大)	主軸方向の曲げ強度 (最大値)	*	
Imin	主断面 2 次モーメント (最小)	主軸 (Imax の方向と直交) 方向の曲げ強度 (最小値)	*	*
Ip	断面 2 次極モーメント	捻れに対抗する強度	*	*
Θp	主軸方向角度	断面 2 次モーメントが最大に計算される方向 (主軸方向) と基準線 ¹ のなす角度	*	*
SI	断面示数	断面形の扁平性	*	

¹ 基準線は, 大腿骨の内側顆, 外側顆, 小転子の各後面 3 点を含む平面と骨幹の長軸に直交する平面との交線とした。X 軸は, 重心を通り, 基準線と平行に設定されている。

* 各負荷様式においてそれぞれの対照群との差が, 10 箇所の骨幹横断面のうち少なくとも 1 箇所で統計的に有意 ($p < 0.05$) であることを示す。詳しい変化部位については図 3, 4 を参照。

る傾向は, 走行負荷ほど顕著ではないが, 40–55% レベルの後内側領域と遠位部 (75% レベル) の後内側から後部にかけての部位に認められた。そのほか, 骨幹中央部の前内側部 (50% レベル) と前外側部 (55% レベル), 遠位 (70% レベル) の外側部で有意の増加が, 近位 (30% レベル) の外側部と中央から近位より (40% レベル) の後外側部で緻密質の厚さの増加傾向が認められた。

考 察

強制走行負荷ラットと二足起立負荷ラット大腿骨の緻密骨質の厚さは, 骨幹の中央部からやや近位よりの 45% レベルのみがこれまでに計測されている (Matsumura et al., 1995)。強制走行負荷した動物の大腿骨では前外側部から後外側部にわたって緻密質の厚さが増加する強い傾向が認められたが, これまでそのなかで前外側部のみに有意差が検出されていた。今回の計測ではそれに加えて後外側部にも有意な増加が検出された。従来は, 骨幹横断面外周の接線と垂直に骨内膜面までの距離を計測していたが, 凹凸の大きい骨内膜面では誤差が生じやすかった。今

回, 外周の骨膜面から骨内膜面までの最短距離を計測したことによって, 緻密質の厚さが以前より正確に計測されたと考えられる。二足起立負荷した動物の大腿骨の 45% レベルでは, 前回と同様に後内側部に有意な緻密骨質の増加が認められた。

大腿骨骨幹のレベルごとに見ると, 緻密骨質の厚さは, 強制走行負荷と二足起立負荷の両方の負荷様式とも, 主に大腿骨の中央部周辺から近位にわたるレベルで有意な増加を示した。大腿骨骨幹のこの範囲は, 運動負荷によって断面特性値の変化が認められた範囲 (Matsumura and Okada, 1987, 1990) と一致している。断面特性値は, 丸軸状の大腿骨の横断面の緻密骨質分布から計算される曲げ (Ix, Iy, Imax, Imin), 圧縮 (Ac), 捻れ (Ip) に対する強度, 主軸方向 (Θp) や扁平性 (SI) などの指標となる数値 (表 1 参照) であるが, 今回の計測の結果は, 骨幹の各部における緻密質の局所的な厚さの増加が, 各レベルの横断面の力学的特性値に反映されており, 両者が密接に関連していることを示唆している。

断面特性値と緻密骨質との関連性の存在を裏

付ける比較的明確な例は、いくつかの計測部位において確認することができた(図3,4)。すなわち、強制走行負荷ラットでは、近位部の30%レベルの内側部で認められた緻密質の増加が、左右方向の断面2次モーメント、断面2次極モーメントの増加、主軸方向の内旋、緻密質横断面積の増加などに関与しているものと思われる。また、中央からやや近位では、後外側から前外側部にかけての緻密質の厚さの増加が、左右方向の断面2次モーメントの増加、主軸方向(左右方向に近い)へ長くなるような扁平化、緻密骨質面積の増加などに関与していると考えられる。二足起立負荷の場合は、中央部周辺の後面内側に認められた緻密質の厚さの増加は、前後方向の断面2次モーメントの増加に関与するであろう。さらに、骨幹中央の前内側部と後内側部の緻密質の厚さの増加が、主軸方向の前後軸への接近(外旋)、断面2次極モーメントの増加、緻密質の面積の増加に関与している可能性が考えられる。

一方、今回の計測では、断面特性値に有意の変化が認められていない遠位部の一部で、緻密骨質の有意な増加が検出された(図3,4)。この結果は、部分的な緻密質の厚さの増加は、断面の構造力学的な強度の増加を特に要求されない部位でも局部的に生ずることを示している。また、骨幹の中央から近位にかけては、緻密質の増加部位は、骨幹の長軸方向に細長く並ぶことが多く、連続した領域を形成している様に見えた。ラットの解剖について記載したアトラス等(Greene, 1963; Klingener, 1964; Hebel and Stromberg, 1976)を参照すると、今回の計測で緻密質の厚さが有意に増加した領域は筋の付着領域との対応が伺え、骨緻密質の形成と筋収縮の作用との関連性が強く示唆される。

今回得られたもう一つの興味ある結果は、二つの負荷様式の間で緻密骨質厚が有意に増加した計測点の分布を比較したとき、両者の間にほとんど重複が認められなかったことである。その原因として、筋の収縮による作用とそれ以外

の外力とが総合された骨全体に加わる負荷のパターンが、負荷様式によって異なることが想定される。しかし、それだけでは今回観察された運動適応の全体を説明することは難しい。

そこで、運動負荷の影響が顕著に認められた中央部周辺から近位部について運動負荷の様式ごとに緻密骨質が有意に増加した部位と筋付着部との関係を検討したところ、数種類の筋に関連した付着領域で、両者の間に対応関係があることが確認された。すなわち、強制走行負荷ラット大腿骨の緻密骨質付加形成は、浅殿筋の停止する第三転子、短内転筋などが停止する中央周辺の後部から後外側の領域、外側広筋が起始する近位前外側部の領域、および大腰筋・小腰筋が停止する近位内側部領域で最も顕著に認められた。これに対して二足起立負荷ラットの緻密質が増加する領域は、主に大腿骨近位から中央周辺の後内側寄りの領域と中央部の前内側部に認められ、それぞれ内転筋群の停止部、内側広筋の起始領域の一部と対応しているように見えた。

筋電図のデータは、緻密骨質付加領域と関連をもったこれらの筋が、それぞれの行動様式において比較的よく活動していることを示していた(Nicolopoulos-Stournaras and Iles, 1984; 松村ら, 1997)。活動する筋の種類は行動様式ごとに異なるが、個々の筋の活動がそれらの骨への付着部において刺激として作用することにより、Lanyon (1992) が述べているように、骨芽細胞と骨細胞が活性化され、破骨細胞の分化が誘導され、これらの細胞が骨の形態形成の過程を促進していると考えられる。さらに、筋の付着部と緻密質の厚さの増加部位との関連性という視点から、前に触れた遠位部の緻密質骨厚の増加部位をみると、走行負荷によって骨質が増した骨幹遠位部前部から前内側部にかけては中間広筋、二足負荷によって骨質が増した遠位後内側部から後部は大内転筋の付着部とそれぞれ関連しているように見える。

以上のように、ラット大腿骨の断面の形態計

測によって得られた所見は、筋収縮力が重力とともに骨に加わる力の成分として作用し、骨全体としての形態や骨の部位ごとの密度に影響を及ぼす (Kimura and Amtmann, 1984; Matsumura and Okada, 1990) と同時に、筋付着部の周辺では予想以上に局所的な緻密骨質の量的な形成に関与することを示唆している。運動負荷の影響を顕著に受ける大腿骨の中央部周辺から近位側において、骨形成が促進される方向は、強制走行負荷では骨膜面および骨内膜面、二足起立負荷では主に骨膜面側であることが指摘されている (Matsumura et al., 1995) が、この中央から近位にわたる範囲では特に、各部の緻密質の増加が、骨形態の外力に対抗する力学的な適応と関連しているものと考えられる。

これまでラットの大腿骨における筋付着部については、肉眼解剖から得た自家所見や比較解剖学的な知見 (Greene, 1963; Klingener, 1964; Hebel and Stromberg, 1976; Takahashi, 1982; Takahashi and Kimura, 1993) にもとづいて判定してきた。文献の見解に違いがある場合は、Hebel and Stromberg (1976) の記述に従った。大腿骨各部位における骨形成と筋収縮の関連性に関する知見をより確実なものにするためには、筋の付着部に関する詳細なデータが必要と考えられるが、現在のところラット大腿骨の筋付着部は十分に記載されているとは言えない。今後、連続切片や実体顕微鏡による精度の高い観察を行い、個々の筋の細かい付着領域をしらべることによって、筋付着部と今回明らかになった骨質の付加領域との間の厳密な位置関係を正確に把握し、確認することが必要と思われる。

文 献

- Amtmann, E. (1968) The distribution of breaking strength in the human femur shaft. *J. Biomech.*, **1**, 271–277.
- Greene, E.C. (1963) *Anatomy of the Rat*. Hafner Publishing Co., New York and London.
- Hebel, R. and Stromberg, M.W. (1976) *Anatomy of the Laboratory Rat*. The Williams & Wilkins Company, Baltimore.
- Kimura, T. and Amtmann, E. (1984) Distribution of mechanical robustness in the human femoral shaft. *J. Biomech.*, **17**, 41–46.
- Klingener, D. (1964) The comparative myology of four dipodoid rodents (Genera *Zapus*, *Napaeozapus*, *Sicista*, and *Jaculus*). Miscellaneous Publications, Museum of Zoology, University of Michigan, No. 124, pp. 1–100.
- Lanyon, L.E. (1992) Control of bone architecture by functional load bearing. *J. Bone Miner. Res.*, **7** (Suppl. 2), S369–375.
- 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.
- 松村秋芳 (1995) 二足行動ラットモデル。バイオメカニズム学会誌, **19**, 163–169.
- Matsumura, A. and Okada, M. (1987) Cross-sectional properties along the diaphysis of the rat femur as influenced by forced running exercise. *J. Anthropol. Soc. Nippon*, **95**, 5–18.
- Matsumura, A. and Okada, M. (1989) Bending Strength of the rat femur as influenced by running exercise and diet program. *J. Anthropol. Soc. Nippon* **97**, 341–351.
- Matsumura, A. and Okada, M. (1990) Effects of erect bipedal standing on the cross-sectional geometry of the rat femur. *J. Anthropol. Soc. Nippon* **98**, 451–470.
- Matsumura, A., Okada, M. and Inokuchi, S. (1995) Adaptation of cross-sectional geometry of rat femur to different mechanical environments. *Riv. Antropol.* **73**, 171–180.
- 松村秋芳・岡田守彦・小島龍平 (1997) 二足起立行動に関与するラット下肢の筋活動。科研費基盤研究 C (2)「二足適応の生体機構—バイペダルラットによる実験的研究」研究成果報告書 (岡田守彦編), pp. 23–48.
- Nicolopoulos-Stournaras, S. and Iles, J.F. (1984) Hindlimb muscle activity during locomotion in the rat (*Rattus norvegicus*) (*Rodentia: Muridae*). *J. Zool. Lond.*, **203**, 427–440.
- 佐藤雄二・松村秋芳 (1999) ラットの大腿骨破断特性および断面形態におよぼす自発走運動と栄養の影響。Anthropol Sci. **107**, 41–49.
- 七五三木聰・勝田 茂・天貝 均・大野敦也 (1990) 成長期の運動が引き起こす骨肥大。体力科学 **39**, 181–188.
- Simske, S.J., Guerra, K.M., Greenberg, A.R. and Lutges M.W. (1992) The physical and mechanical effects of suspension induced osteopenia on mouse long bones. *J.*

Biomech., **25**, 489–499.

Takahashi, Y. (1982) Constitution of the thigh muscles in the crab-eating monkey (*Macaca fascicularis*). *Okajimas Fol. Anat. Jpn.*, **59**, 291–304.

Takahashi, Y. and Kimura, K. (1993) A myological study of the musk shrew (*Suncus murinus riukiuanus*) I. Gluteal and thigh muscles. *Acta Anat. Nippon.*, **68**, 58–66.

Adaptation of cross-sectional morphology of the femoral diaphysis to exercise: Experimental approach using laboratory rats

AKIYOSHI MATSUMURA¹⁾, MORIHIKO OKADA²⁾ and YUTAKA TAKAHASHI¹⁾

1) Department of Biology, National Defense Medical College

2) Center for Tsukuba Advanced Research Alliance/Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

The relationship between different modes of exercise and morphological features of the femoral cross section was investigated by conducting experiments on laboratory rats. Results were compared between bipedal standing exercises and quadrupedal running exercises with respect to cortical thickness around the circumference of ten serial cross-sections along the femoral diaphysis (80 points between 30–75% level) and the geometric properties of the same sections. In both modes of exercise, the cortical thickness increased mainly in the proximal and middle levels of the femur shaft, where changes of cross-sectional geometric properties occurred. In the quadrupedal running rats, cortical thickness was markedly increased around the third trochanter, the region where *m. gluteus superficialis* and *m. adductor brevis* insert and *m. vastus lateralis* arises. In contrast, in the bipedal standing rats, cortical thickness increased mainly around the postero-medial and antero-medial region of mid shaft, seemingly corresponding to the area where *m. adductor longus* and *m. adductor magnus* insert and *m. vastus medialis* arises, respectively. These results suggest that contractions of each hindlimb muscle primarily act as mechanical factors enhancing the regional cortical thickness, thus leading to the changes of cross-sectional geometry, and ultimately affects the whole morphology of the femoral shaft, together with the gravitational factor.