

ラット脛骨海綿骨の構造に及ぼす異なる強度の運動負荷の影響

Effects of Various Exercise Load on Structures of Tibial Cancellous Bone in Rat

尾淵 紀之* 守田 剛* 大迫 正文*
OBUCHI Noriyuki MORITA Tsuyoshi OHSAKO Masafumi

要旨

ラットに種々の反復回数の跳躍運動を課すことによって生じる脛骨近位海綿骨の骨梁における構造上の違いを、機能に関連づけて形態学的に検討することを目的とした。実験材料として、9週齢のウイスター系雄ラットを用い、それらを運動群 (Ex) と対照群 (Co) に分類した。Exには毎日、高さ50cmの反復跳躍運動を2週間課し、1日の跳躍回数は40 (Ex40)、100 (Ex100)、400 (Ex400) および600 (Ex600) 回とした。実験期間終了後、各ラットをジエチルエーテルにて深く麻酔して死亡させ、脛骨を摘出した。それらを用いて種々の標本作製し、肉眼的および組織学的に観察した。

いずれのEx群においても、一次海綿骨の骨梁の太さ、密度ならびに上下的な幅に関しては、Coとほとんど差は認められなかった。二次海綿骨に関しては、Coでは全体的に骨梁が乏しく、配列に規則性も認められない。Ex40で網状配列を示す骨梁がみられていたが、Ex100、Ex400およびEx600では、骨梁の深部に石灰化軟骨基質が存在し、それに骨が添加され、太くて長い骨梁が形成され、それらの下端部は皮質骨に付着していた。特に、Ex600では板状の骨梁ならびに狭い骨髓腔が観察された。骨標識の結果によると、CoおよびEx40は実験開始時に形成されていた骨が全て吸収されていたが、Ex600では実験開始時に形成されていた骨が実験終了時まで残存していた。

このように、1日の反復跳躍回数が少ない運動負荷では、前上方から後下方に伸びる太くて長い骨梁が形成され、それらは大腿骨側からの機能圧を適切に脛骨の皮質骨に分散することに役立っている。しかし、過度の運動では実験終了時まで残存し、板状の骨梁が形成されることが認められる。このことから、跳躍回数増加は骨形成を促進するが、それよりも骨吸収の抑制が顕著であることが理解された。

キーワード：骨梁、運動強度、骨形成、骨吸収

はじめに

人口の高齢化にともない注目される骨粗鬆症や転倒による骨折は、骨量や骨強度の低下が要因であ

* 東洋大学ライフデザイン学部健康スポーツ学科 Toyo Univ. Faculty of Human Life Design
連絡先：〒 351-8510 埼玉県朝霞市岡 48-1

り、その予防には適切な栄養摂取と運動の実践が欠かせないとされている。また、生活習慣病の予防や悪化防止にも運動の必要性が指摘されている。しかしながら、運動が重要であるとしながらも、過度な運動はオスグット・シュラッター病や疲労骨折などを起こし、逆の効果をもたらす。

これまでに運動が骨に及ぼす影響に関する研究が多く行われているが、実験動物を用いた研究に関しては、走運動や跳躍運動による脛骨海綿骨への影響を検討しているものがある。藤原¹⁾は、ラットに1日20回、週5日、4週間の跳躍運動を課し、その結果、骨梁が太く、海綿骨の幅の増大を認めている。走運動を用いた実験では、骨量の増加²⁾や、破断試験による骨強度の改善^{3,4)}がみられたことが示されている。運動は骨形成を促進させ、骨強度の増加をもたらす。しかし、ラットに疲労困憊を起こさせる走運動を課した実験では、皮質骨の厚さに増大がみられるが、海綿骨の骨密度は変化せず、骨強度の低下がみられたとする報告⁵⁾や、海綿骨の骨密度および骨梁数の大幅な減少が認められた報告⁶⁾もある。また、同様な過度の運動で、骨吸収促進に関与するオステオポンチン遺伝子の強い発現が示されており⁷⁾、高強度の運動では骨吸収の促進の可能性が示唆されている。

加重や運動刺激による骨の構造変化については、骨に加えられる力線の方向に、骨梁の配列方向が一致するというWolffの法則によって説明されている。また、メカニカルストレスによる骨形成の関係については、メカノスタット理論^{8,9,10)}によって説明されている。これによると、適度な運動負荷は骨形成を促進し、逆に、加重減少は骨吸収を促進するとされ、このことは多くの研究によって支持されている。さらに、過剰負荷による場合は病的な骨形成が起こるとされている。

運動刺激に合致する方向に骨梁が配列するというWolffの法則を加味して、運動にともなう骨構造の変化について考えると、骨形成だけでなく、不必要な部分の骨梁の吸収の可能性も考慮する必要がある。また、運動により骨吸収を行う破骨細胞が少なくなり、相対的に骨芽細胞による骨形成が促進されるという報告¹⁾があるが、高強度の運動による骨形成や骨吸収の詳細な形態学的研究はなされていないのが現状である。

そこで、本研究ではラットに種々の反復回数の跳躍運動を課して、脛骨近位海綿骨の骨梁における構造上の違いを観察することにより、異なる負荷強度の運動によってもたらされる骨形成および骨吸収の差異を、機能に関連づけて形態学的に検討することを目的とした。

方法

実験材料として、9週齢のウイスター系雄ラットを用いた。1週間の予備飼育後、それらを運動群と対照群に分類した。運動群には毎日、高さ50cmの反復跳躍運動を2週間課した。1日の跳躍回数は各ラットで異なり40、100、400および600回とした（以下Ex40、Ex100、Ex400、およびEx600とする）。対照群は同期間ケージ内で通常飼育した。全てのラットの実験開始日にテトラサイクリンを、また、実験終了日にカルセインを腹腔内注射した。

実験終了後、各ラットをジエチルエーテルにて深く麻酔し安楽死させ、死亡が確認された後に下肢を摘出した。下肢から軟組織を極力除去し、膝関節を適切な大きさにトリミングした後、膝関節の中央部で矢状切断した。それらを4%パラフォルムアルデヒドに一晩浸漬して固定した。

肉眼的観察では、固定された標本を矢状方向に研磨し、5%水酸化カリウムにて処理した後、水洗、

乾燥して脛骨近位骨幹端の骨梁の構造を観察した。

組織学的観察では、固定された標本を脱灰せずに、アルコール系列による脱水ならびにアセトンによる透徹を行った後、段階的に樹脂濃度を高めながらゴラック樹脂を浸透させ、さらに、38、45、55、60℃の順に加温し重合した。そのブロックを砥石にて約100 μ mの厚さに研磨した。それらを0.1N塩酸にてエッチングし、加温したトルイジンブルー（TB）染色を施し、光学ならびに蛍光顕微鏡にて観察した。

また、肉眼的観察に用いたものと同様な標本を作製し、それにカーボンおよびプラチナの真空蒸着を行った後、走査電子顕微鏡（SEM）にて観察した。

所見

肉眼的観察

対照群の脛骨近位骨幹端における海綿骨は、上下的に幅の狭い一次海綿骨と、その下方の幅の広い二次海綿骨からなる。肉眼的観察では、一次海綿骨は骨梁の構造が認められず、一様の緻密な構造として観察される。それに対して二次海綿骨では、骨梁が網状の配列をなしているが、詳細にみると骨梁の主たる配列は上下方向になっている。その骨梁の密度は、肉眼的には二次海綿骨の中で、部位差はほとんど認められない（図1）。

運動群では、いずれの群においても一次海綿骨は、対照群と同様に一様の緻密な構造物として認められる。

Ex40の二次海綿骨の上下的な幅は、対照群に比べてやや広がるが、骨梁の密度ならびに配列方向はほとんど変わらない。しかし、一部には網状に配列する部分や、海綿骨の中でも下方の部位においてのみ前上方から後下方に向かって配列する骨梁が認められる。

Ex100の前方部では対照群およびEx40と同様に上下方向に配列した骨梁が観察される。二次海綿骨では、Ex40と比べて骨梁が前上方から後下方に向かって配列するものが多く認められる。しかし、その領域は海綿骨の前後的な中央部から後方部に限局されている。

Ex400の二次海綿骨はEx100に比べ、さらに前上方から後下方に向かう骨梁が密度を増している。前方部の骨梁は対照群ならびにEx40とほぼ同様な配列を示している。

Ex600の二次海綿骨では、他の運動群に比べ、骨梁の太さならびに密度の顕著な増加がみられる。また、前方部の骨梁は、他の運動群では上下方向に配列していたが、Ex600でそのような配列を示すものは最前端部のわずかなものであり、二次海綿骨の骨梁の多くは前上方から後下方に向かって配列している（図1）。

組織学的観察

対照群の脛骨近位海綿骨の一次海綿骨をSEMで観察すると、肉眼的に一様に緻密な構造物として認められた一次海綿骨は、かなり細い骨梁が密に集まり、目の細かい網状構造をなしている。その上下的な幅は、脛骨の前方、中央および後方部のいずれの部位においても、ほとんど違いは認められない。二次海綿骨では、骨梁が下方に向かうに従って太さを増すとともに、その数が減ることによって

密度は低下している (図2)。

いずれの運動群群においても、一次海綿骨の骨梁の太さ、密度ならびに上下的な幅に関しては、対照群とほとんど差は認められない (図3～図6)。

Ex40の二次海綿骨では、骨梁の主たる配列方向は、対照群と同様に上下方向を示すものもみられるが、不規則な配列を示すものや、三次元的な広がりをもった幅の広い骨梁も多く観察される (図3)。

Ex100の二次海綿骨では、幅の広い骨梁が減少し、前上方から後下方に向かって配列するものが多く認められ、規則的になってきた。密度はEx40とほぼ同様である (図4)。

Ex400の二次海綿骨では、骨梁はほぼ均一な太さとなり、前上方から後下方に向かって配列している。それらの密度はEx40やEx100に比べかなり高く、前方ならびに後方において顕著に認められる (図5)。

Ex600の二次海綿骨の骨梁は、隣接するものが互いに融合し、骨梁間の空隙、すなわち骨髓腔が狭くなり、幅の広い板状の構造をなすものが多く認められる (図6)。

対照群の非脱灰樹脂包埋研磨標本を観察すると、二次海綿骨は全体的に骨梁が乏しく、配列に規則性も認められない。骨梁の深部には、TB染色でメタクロマジーを起こし、赤紫色に染まったスジ状の石灰化軟骨基質が存在する。Ex40の二次海綿骨の骨梁はやや密度を増し、後方部の骨梁の中には、その下端が後方の皮質骨に融合しているものも認められる。これらの骨梁の深部にも、石灰化軟骨基質が観察される。Ex600の二次海綿骨の骨梁はかなり密度を増し、下方に長く伸びているものが多く観察される。これらの骨梁には、上方に位置するものから下方に位置するものに至るまで、その深部に石灰化軟骨基質の存在が観察される。(図7a、8a、9a)。

実験開始時および終了時に、それぞれテトラサイクリンおよびカルセインを投与した標識を観察すると、いずれの条件でもカルセインは、一次海綿骨の前方および後方の皮質骨表面に標識が観察される。二次海綿骨に関しては、対照群およびEx40よりもEx600においてより明瞭に認められる (図7b、8b、9b)。

それらの標識された標本を拡大すると、対照群の骨梁および後方部の皮質骨内側のほとんどにカルセインの標識は認められるが、テトラサイクリンの標識は認められない。それに対してEx600では、骨梁および皮質骨にカルセインの標識が認められるのみならず、それらの深部にテトラサイクリンの標識が明瞭に観察される (図10、11)。

考察

本研究は、異なる運動負荷によって生じる脛骨近位骨幹端の構造変化を観察し、その変化を機能状態に関連付けて検討するものである。

本実験の負荷設定では、1日の跳躍回数が600回を最大回数に設定した。これは予備実験において1日600回の跳躍運動を2週間行ったところ、2週間後には跳躍できないラットが現れたためである。このことから、1日の最大跳躍回数、つまり最大運動負荷を600回とし、それ以下の種々の跳躍運動をラットに行わせた。

大迫ら¹¹⁾は、発育期ラットの脛骨外形と近位骨幹端の骨梁の構造変化について検討している。それ

によると、脛骨近位の骨梁は発育にともなって、前上方から後下方に向かって配列していること、そして脛骨の近位部が後屈するような外形変化を認めている。このことから脛骨近位骨幹端の海綿骨の骨梁は、単に斜め方向に配列して、大腿骨側からの圧を後方の皮質骨に伝達するのみならず、S字状湾曲した脛骨の外形によって、その圧は脛骨全体で受け止める構造になっていると述べている。本実験においても運動群の全てで観察されたように、近位骨幹端の骨梁の配列方向は脛骨全体の長軸に一致するものであり、それは大腿骨側からの加重に対して、脛骨全体で抵抗しうる構造をなすものと考えられる。

高骨代謝回転とは骨のリモデリングが活発に行われている状況であるが、運動によるメカニカルストレスやマイクロダメージの発生により骨リモデリングまたはモデリングが開始されることが知られている¹²⁾。そこでは、骨リモデリングは骨吸収から始まるため、一度に多くの骨単位がリモデリングを開始すると一時的だが骨量が減少するとされている。また、通常一回のリモデリングで形成される骨の量は、吸収される量をわずかに下回るために、骨代謝回転が高くなると骨量は減少に傾くとされている。

藤原¹⁾は、10週齢のラットに本研究と同様な1日40回の跳躍運動を4週間課し、脛骨近位骨幹端に太く直線的な骨梁が形成されたことを報告している。本実験では、Ex40で藤原のような太く直線的な骨梁が観察されなかった。Ex100、Ex400およびEx600では、太くて長い骨梁が形成されていたにも関わらず、Ex40では網状や幅の広い骨梁がみられていた。本実験は、藤原の実験と異なって、運動期間が2週間という短い期間で行われ、Ex40で太くて長い骨梁が出現しなかったことは、実験期間の短いことが影響していたものと思われる。また、このことから藤原の実験においても、当初からそのような太くて長い骨梁が形成されるのではなく、その途中経過として、本実験で観察された三次元的に幅の広い骨梁や網状配列した骨梁が一度は造られ、その後改造が生じたであろうことが推測される。

海綿骨の骨梁は、単なる三次元的網工をなすようにみられるが、それを詳細にみると、力学的に対応した配列をとり、外力に対して大きな抵抗性を示す構造になっている¹²⁾。また、Frostは、力学的負荷によって生じる骨組織の歪みが最小化するように、骨梁がつくられ海綿骨の構造が決定されるとしている¹³⁾。Ex40、Ex100およびEx400と跳躍回数が増加するにしたがって、骨梁が網状配列しているものから、太く長くなるとともにその密度が増し、最終的にEx600では板状の骨梁ならびに狭い骨髓腔が観察された。生体の骨の特徴として、強度保持と軽量化を図ることは大きな意味をもつ。Roux¹⁴⁾は最小材料・最大強度説という仮説を提示し、また、林¹⁵⁾は骨の構造について、最小の材料とエネルギーを用いて最大の機能を実現するように、すなわち外力に対して最小の材料で最大の強度を実現するようになっていくと述べている。本実験では、三点支持による骨の破断試験等の骨強度に関する実験は行っておらず、実際の強度については不明である。また、軽量化に関しては、少なくとも本実験ではEx600において板状の骨梁が形成されており、運動負荷の高い条件では骨の重量がかなり増加しているであろうことが推測される。

しかし、これらのことをWolffの法則に照らし合わせて考えれば、Ex600では軽量化を図るよりは、運動量の増加によって大腿骨からの加重が増し、それが脛骨近位骨幹端の海綿骨に作用して、過度な運動刺激に耐えうる太く長い骨梁を形成し、骨強度を増しているであろうと考えられる。

一方、過剰負荷の場合には、骨が病的な吸収を受ける⁸⁾とされている。メカノスタット理論^{9,10)}によると、骨形成の制御は力学的負荷の強さに影響され、軽度負荷では骨量と骨強度が増加するが、過剰負荷では病的骨反応を起こすとされている。大理石骨病では顕著な骨代謝回転の低下がみられ、骨吸収が著しく抑制されるために、骨質がもろくなる¹²⁾。Ex600での過剰負荷の場合には、骨形成やリモデリングが活発に行われており、低骨代謝回転とは考えられないが、骨形成と骨吸収の平衡が崩れているように考えられる。Ex600で観察された板状の骨梁については、Kogaら¹⁶⁾が示すような大理石骨病であるかは不明だが、大理石骨病のように髓腔がかなり狭くなっている。

また、生体の骨には日常的に反復加重がかかっており、組織レベルではマイクロダメージ（骨微細損傷）が発生している¹²⁾。このマイクロダメージには、骨への力学的負荷を分散することで、急激に亀裂が拡大し、骨が破断するのを防止しているとされる。通常、マイクロダメージはリモデリングによって修復されるが、過負荷の状態では、マイクロダメージが拡大し骨強度を低下させた後、疲労骨折に至るとされている¹³⁾。すなわち、過負荷は骨のリモデリングを亢進するが、その一方で、拡大したマイクロダメージを修復するためにリモデリングも亢進しており、局所的には骨量が減少し、疲労骨折を助長している。過剰な運動である本実験のEx600でも、局所のマイクロダメージの拡大や骨量の減少が、骨強度の減少をもたらしている可能性は考えられる。このように大理石骨病または疲労骨折を考慮すると、Ex600において観察された板状の骨梁は、必ずしも力学的強度を増すとは限らないようにみられる。

石灰化軟骨基質が対照群、Ex40ならびにEx600の二次海綿骨の骨梁に観察されたことから、それらはかつての骨端板に存在していたもので、いずれも骨端板の予備石灰化帯から連続するものであることが理解される。また、テトラサイクリンおよびカルセインの骨標識の結果では、実験終了時に投与したカルセインの標識はいずれの条件においても認められるが、対照群およびEx40では実験開始時に投与したテトラサイクリンの標識が認められない。しかし、Ex600ではいずれの標識も観察されている。これらのことから、対照群およびEx40は実験開始時に形成されていた骨が吸収されているものと思われる。それに対して、Ex600では実験開始時に形成されていた骨が実験終了時まで残存していることが認められる。Ex600の骨梁においては、骨吸収が抑制される一方で骨形成が促進されている。これは前述した大理石骨病のように骨吸収が著しく抑制されていること¹²⁾に類似し、その状態では石灰化度の高い骨が残存する可能性があり、そのため骨にもろさが生じるとと思われる。このように1日の運動負荷量である跳躍回数が増すほど、骨梁の幅や密度は増加するが、それには骨吸収の抑制が深く関わっているものと推測され、また、負荷の増大は、骨の軽量化という意味からは必ずしも良い影響を与えるとはいきれないと思われる。

以上のように、1日の反復跳躍回数が適度な運動負荷では、骨梁は前上方から後下方に伸びる太くて長いものが形成されるが、それらは大腿骨側からの機能圧を適切に脛骨の皮質骨に分散することに役立っている。しかし、Ex600では実験開始時に形成されていた骨が実験終了時まで残存し、過度の運動では板状の骨梁が形成されることが認められる。このことから、跳躍回数増加は骨形成を促進するが、それよりも骨吸収の抑制が顕著であることが理解された。本実験では、骨強度に関する実験を行っていないために、過度の運動による板状の骨梁形成が骨強度の改善につながるか否かは不明であり、このことに関しては今後の検討課題である。

結論

運動の負荷回数が増すことによって生じる骨量の増加には、運動刺激による骨吸収の抑制が深く関わっていたであろうことが推察された。

本研究はライフデザイン学部研究等倫理委員会の審査により承認された。

謝辞

稿を終わるに臨み、ご協力くださった研究室の学部生および大学院生の方々に深謝いたします。

参考文献

- 1) 藤原浩隆：骨の形成および吸収過程に及ぼす加重増加の影響．体力科学 56(6), 624, 2007
- 2) 島本司考、原田孝、勝呂徹、長谷川和寿、筒井俊行、櫛方暢晴、茂手木三男：運動負荷が骨組織に及ぼす影響に関する実験的研究—第3報—．日本骨代謝学会雑誌 10(3),140,1992
- 3) 岡山伸、河尻克己、青木秀希、赤尾勝、近藤光一、高木亨：運動による骨強度及び骨組成の変化．日本硬組織研究技術学会雑誌5(2),76-81,1996
- 4) 森諭史、乗松尋道、真柴賛：骨の代謝のメカニズム～運動が骨動態に与える影響について～．臨床スポーツ医学11(11),1233-1238,1994
- 5) 向井直樹、宮永豊、白木仁、下條仁士、宮川俊平、福田理香：高強度走運動負荷がラット脛骨の骨密度と骨形態におよぼす影響．体力科学51(6),593,2002
- 6) Bourrin,S., Genty,C., Palle,S., Ghariband,C. and Alexandre,C. : Adverse effects of strenuous exercise: a densitometric and histomorphometric study in the rat. Journal of Applied Physiology ,76(5),1999-2005,1994
- 7) 七五三木聡：オーバートレーニングが骨代謝に及ぼす影響．体力科学 50(4), 544, 2001
- 8) 松本歯科大学大学院硬組織研究グループ：Hard Tissue 硬組織研究ハンドブック．松本歯科大学出版会 44,2008
- 9) Frost.H.M : Bone “mass” and the “mechanostat” . a aproposal. Anat. Rec, 219(1), 1-9, 1987
- 10) Frost.H.M : Oh rho, a marrow mediator, and estrogen : Their roles in bone strength and “mass” in human females, osteopenians, and osteoporoses-insights from anew paradigm. J.Bone Miner. Res.9,1559-1564,1994
- 11) 大迫正文、鈴木哲郎、野中卓、中村千秋、古川覚、金子元彦：発育期ラットの皮質骨形成に関する組織学的研究．スポーツ健康科学紀要第四号 55-65,2004
- 12) 須田立雄、小沢英浩、高橋榮明、田中栄、中村浩彰、森諭史：新骨の科学．医歯薬出版株式会社 19,219-246,2007
- 13) 臨床スポーツ医学．文光堂 27(4),357-373,2010
- 14) Roux,W. : Der zuchtende kampf der teil, oder die ‘Teilauslese’ im Organismus (Theorie der ‘Funktionellen Anpassung’), Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1881
- 15) 林紘三郎、安達泰治、宮崎浩：生体細胞・組織のリモデリングのバイオメカニクス．コロナ社 5-47,2003
- 16) Takako Koga, Masanori Inui, Kazuya Inoue, Sunhwa Kim , Ayako Suematsu, Eiji Kobayashi, Toshio Iwata, Hiroshi Ohnishi, Takashi Matozaki, Tatsuhiko Kodama, Tadatsugu Taniguchi, Hiroshi Takayanagi, Toshiyuki Takai : Costimulatory signais mediated by the ITAM motif cooperate with RANKL for bone homeostasis. Nature,428(6984),758-763,2004



図 1.

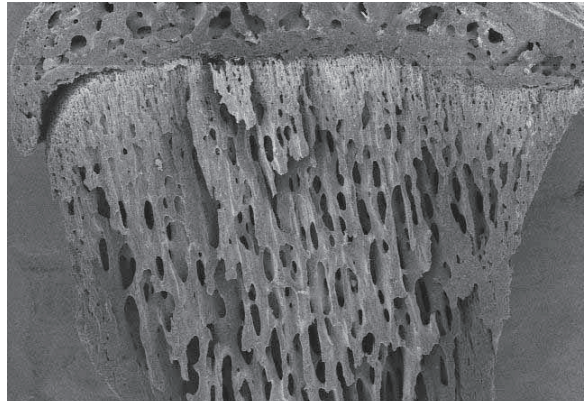


図 2.

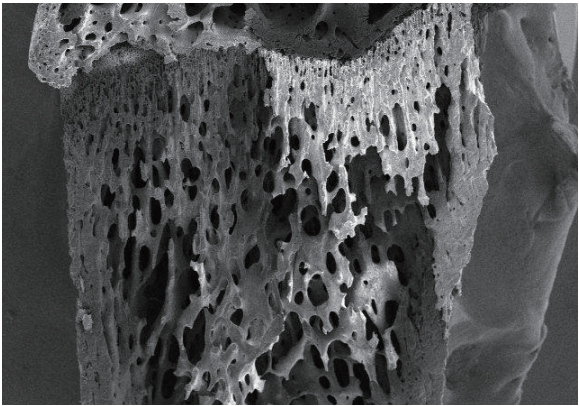


図 3.

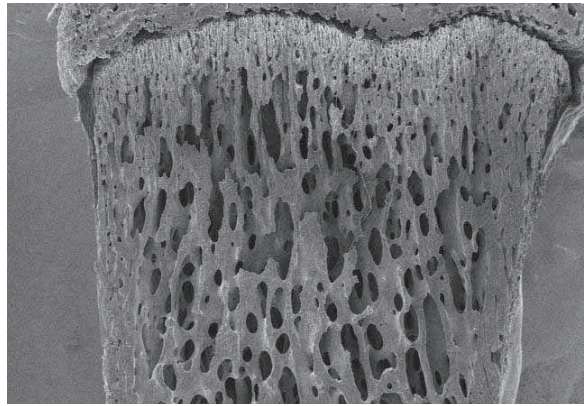


図 4.

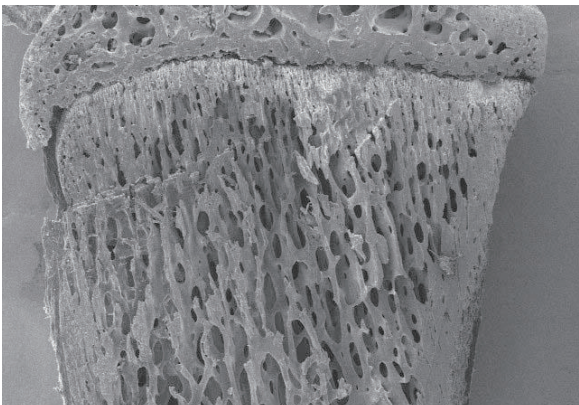


図 5.

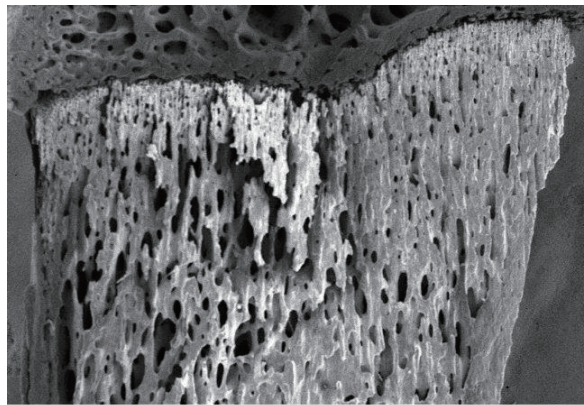


図 6.

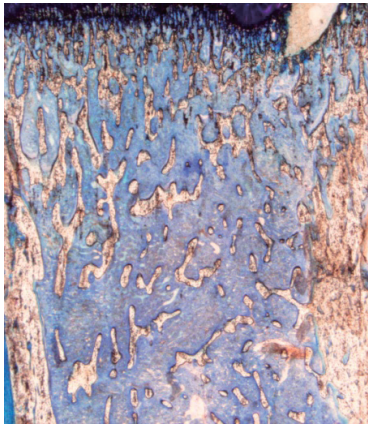


図7 a.

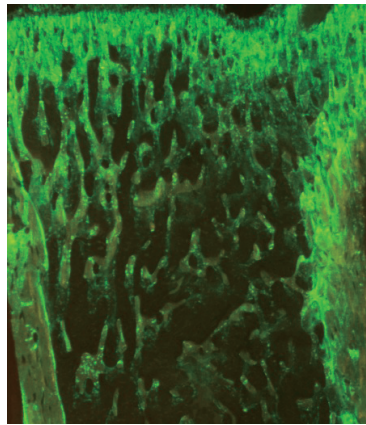


図7 b.

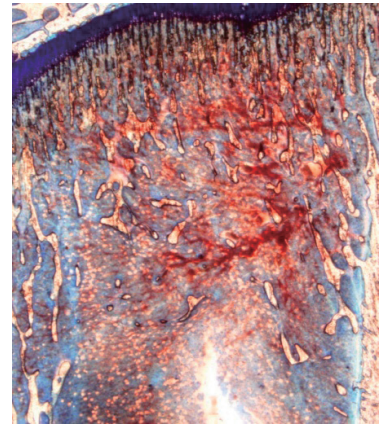


図8 a.

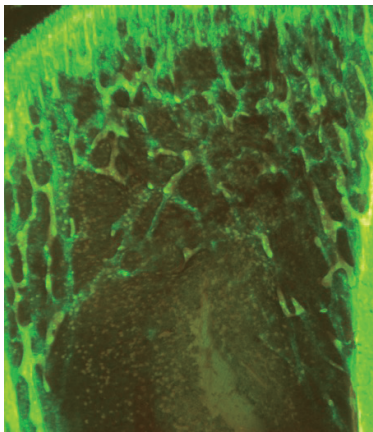


図8 b.



図9 a.

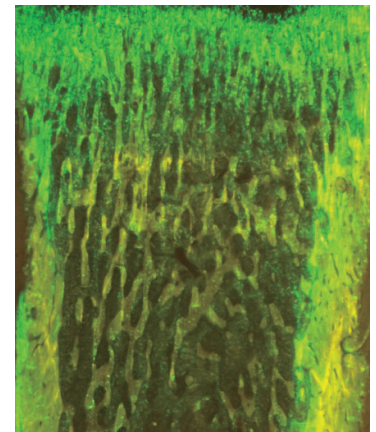


図9 b.

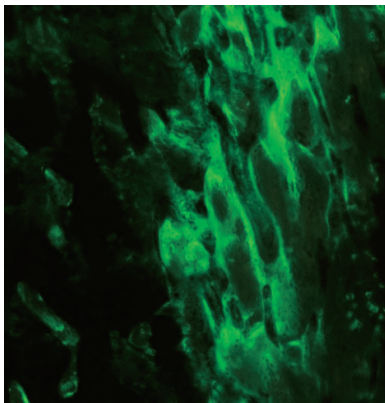


図10.

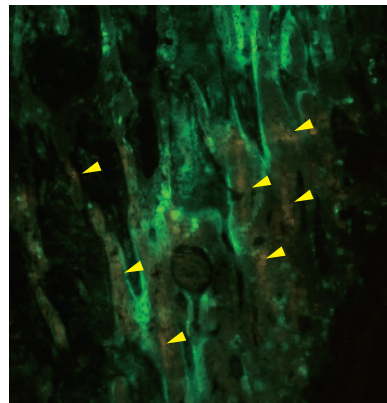


図11.

付図説明

図1. 種々な跳躍回数による脛骨近位骨幹端の構造変化

(左から対照群、Ex40、Ex100、Ex400およびEx600、脛骨の矢状断面水酸化カリウム処理標本)

対照群の二次海綿骨の骨梁では網状配列が多く認められるが、Ex40では前上方から後下方に向かう配列が見られるようになる。運動負荷の増加にともなって、骨梁は密度を増すとともに、前上方から後下方へ配列するようになる。特に、Ex600では骨梁の太さと密度の顕著な増加が認められる。

図2. 対照群のSEM像

一次海綿骨は、かなり細い骨梁が密に集まり、目の細かい網状構造をなしている。その上下的な幅は、前方、中央および後方部のいずれの部位においても、ほとんど違いは認められない。二次海綿骨では、骨梁が下方に向かうに従って太さを増すとともに、その数は減少する。

図3. Ex40のSEM像

骨梁の主たる配列方向は、上下方向を示すものもみられるが、不規則な配列を示すものや、三次元的に広がりをもつ幅の広い骨梁も多く観察される。

図4. Ex100のSEM像

幅の広い骨梁が減少し、前上方から後下方に向かって規則的に配列するものが多く認められる。それらの密度はEx40とほぼ同様である。

図5. Ex400のSEM像

骨梁はほぼ同じような太さとなり、前上方から後下方に向かって配列しているが、それらの密度はEx40やEx100に比べかなり高く、そのような状態は特に前方および後方において顕著に認められる。

図6. Ex600のSEM像

隣接する骨梁が互いに融合し、骨梁間の空隙が狭くなり、幅の広い板状の構造をしているものが多く観察される。

図7 a. 対照群における脛骨近位部の弱拡大像(非脱灰樹脂包埋研磨標本、TB染色)

二次海綿骨は全体的に骨梁が乏しく、規則的な配列も認められない。骨梁の深部には、TB染色でメタクロマジーを起こし、赤紫色に染まった石灰化軟骨基質が存在みられる。

図7 b. 対照群における脛骨近位部の弱拡大像

(蛍光顕微鏡、非脱灰樹脂包埋研磨標本、テトラサイクリン・カルセインラベル)

一次海綿骨の前方および後方の皮質骨表面にカルセインのラベルが観察される。

図8 a. Ex40における脛骨近位部の弱拡大像(非脱灰樹脂包埋研磨標本、TB染色)

二次海綿骨の骨梁はやや密度を増し、それらの下端は後方の皮質骨に融合しているものも認められる。これらの骨梁の深部には石灰化軟骨基質が観察される。

図8 b. Ex40における脛骨近位部の弱拡大像

(蛍光顕微鏡、非脱灰樹脂包埋研磨標本、テトラサイクリン・カルセインラベル)

一次海綿骨・前方および後方の皮質骨表面にカルセインのラベルが観察される。

図9 a. Ex600における脛骨近位部の弱拡大像 (非脱灰樹脂包埋研磨標本、TB染色)

二次海綿骨の骨梁はかなり密度を増し、下方に長く伸びているものが多く観察される。これらの骨梁にも、深部に石灰化軟骨基質の存在が観察される。

図9 b. Ex600における脛骨近位部の弱拡大像

(蛍光顕微鏡、非脱灰樹脂包埋研磨標本、テトラサイクリン・カルセインラベル)

一次海綿骨・前方および後方の皮質骨表面にカルセインのラベルが観察される。二次海綿骨では、対照群およびEx40よりも明瞭に認められる。

図10. 対照群における皮質骨後方部の内側拡大像

(蛍光顕微鏡、非脱灰樹脂包埋研磨標本、テトラサイクリン・カルセインラベル)

骨梁および後方部の皮質骨内側のほとんどにカルセインのラベルは認められるが、テトラサイクリンのラベルは認められない。

図11. Ex600における皮質骨後方部の内側拡大像

(蛍光顕微鏡、非脱灰樹脂包埋研磨標本、テトラサイクリン・カルセインラベル)

骨梁および皮質骨にカルセインのラベルがあり、それらの深部にテトラサイクリンのラベル（黄矢印）も明瞭に観察される。

Effects of Various Exercise Load on structures of Tibial Cancellous Bone in Rat

OBUCHI Noriyuki MORITA Tsuyoshi OHSAKO Masafumi

SUMMARY

This paper deals with investigations concerning effects of various exercise loads on structure of tibial proximal cancellous bone. 10-week-old male rats were used as materials and they were divided into two groups, exercise group(Ex) and their control(Co), randomly. They performed jumping exercise (height : 50cm), 40(Ex40),100(Ex100),400(Ex400) or 600(Ex600) times/day, 7days/week, for two weeks. After experiment period, Rats of every groups were sacrificed under anesthesia, hindlimbs were excised and analyzed histologically.

As far as primary cancellous bone, thickness of bone trabeculae of Ex was same as that of Co. But, concerned to secondary cancellous bone, density and arrangement were different between both groups. Bone trabeculae were scarce and their arrangements were irregular. Bone trabeculae of Ex40 also indicate reticular arrangements. However, in Ex100, Ex400 and Ex600, bone was added around calcified matrix that existed at deep portion of bone trabeculae, thick and long trabeculae were formed. They arranged from superior anterior direction toward inferior posterior direction, and their inferior portions attached cortical bone. Bone trabeculae of Ex600 were thicker compared to other exercise groups, and to the contrary, bone marrow cavities were narrow. Bone labels of tetracycline that were shot at the initial stage of experiment disappeared in Co and Ex40, but they were observed in Ex600.

Thus, it was recognized that moderate exercise load gave bone trabeculae that were thick and long, and arranged in suitable direction. But excessive load caused suppression of bone resorption, and gave boardlike and heavy bone trabeculae.

Therefore, it was understood, from those facts, that increased exercise load could suppress bone resorption, rather than promotion of bone formation.

Keywords : Bone trabecula , mechanical loading intensity , Bone formation , Bone resorption