

## ラット膝蓋骨における骨形成過程に及ぼす尾部懸垂の影響

福祉社会デザイン研究科ヒューマンデザイン専攻博士前期課程 1年

吉良 裕一郎

福祉社会デザイン研究科ヒューマンデザイン専攻博士前期課程 2年

神尾 強司

ライフデザイン学部健康スポーツ学科教授

大迫 正文

### 要 旨

非活動的な生活を送る中高年者では、非加重によって骨量が減少して骨折の可能性が高まるが、転倒によって膝蓋骨を骨折することもあり、これは日常生活に多大な影響を与える。しかし、膝蓋骨に対するメカニカルストレス低下の影響については報告がない。本研究は尾部懸垂による非活動な状態が膝蓋骨の骨形成にどのような影響をもたらすかについて検討することを目的とした。

材料として7週齢のwistar系雄性ラット36匹を用い、それらを実験的に尾部懸垂群 (TS) および対照群 (CO) に分類し、TSは14日間尾部懸垂を行った。実験期間終了後、TSおよびCOから膝蓋骨を摘出し、それらから種々な標本を作製し、組織学的に観察した。

膝蓋骨の中でも大腿骨膝蓋面に面する部位 (後面) には関節軟骨が存在するが、膝蓋骨の表面側 (前面) には大腿四頭筋腱が覆い、その直下には皮質骨が存在した。膝蓋骨の上部および下部には大腿四頭筋腱および膝蓋靭帯がシャープな線維となって埋入され、COに比べてTSの方が腱線維の束が細く、線維軟骨も厚くなった。膝蓋骨内部に存在する海綿骨では、TSの骨梁はCOより細く、密度も低かった。

非加重により膝蓋骨には筋からの牽引力が低下し、それに伴って膝蓋骨表面側の皮質骨形成の遅れや海綿骨の骨密度の低下がみられ脆弱化が進むことが理解された。

キーワード：膝蓋骨、尾部懸垂、組織構造

### はじめに

非活動的な生活は骨量を減少させ、骨折の可能性を高める<sup>1)</sup>。また、そのような生活を送る中高年者では転倒によって膝蓋骨の骨折を引き起こすことは決して多くはない<sup>2)</sup>。しかし、

膝蓋骨は、種子骨として大腿四頭筋腱内に位置しており、強大な大腿四頭筋の収縮に伴う腱や腱膜の損傷を抑え、膝関節運動の円滑化に重要な役割を担っている<sup>3)</sup>。そのため、この部位の損傷は膝伸展力の低下につながり<sup>4)</sup>、日常生活に大きな影響を与えると考えられている。長骨における非活動による骨量の減少について報告されているものは多くみられる<sup>5)</sup>。しかし、種子骨である膝蓋骨の構造に対するメカニカルストレス低下の影響については報告がない。

本研究はラットを用いて、尾部懸垂による非活動な状態が膝蓋骨の骨構造にどのような影響をもたらすかについて検討することを目的とした。

## 実験方法

### 実験材料

実験材料として、7週齢のwistar系雄性ラット36匹を用い、それらが無作為に尾部懸垂群 (TS) および対照群 (CO) に分類し、TSは以下の方法により14日間尾部懸垂を行った。

### 尾部懸垂

尾部懸垂を行うにあたり、通常のケージより天井の金網が20cm高いものを用意し、金網から吊るしたタコ糸をTSの尾部にテープで固定して後肢が床面に着かないようにした。また、その際にラットに不必要な不快感や不安感を極力与えぬように、あらかじめペントバルビタールNa (40mg/kg体重) にて麻酔を施した。実験期間中、ラットが尾部懸垂状態にあっても容易に摂餌および摂水できるように餌箱を床面に設置し、給水瓶口も床面に近く、角度をつけ給水瓶を天井から吊るして固定した。

### 標本の摘出と固定

実験期間終了後、次のような方法により各群から標本を摘出した。まずラットの苦痛を避けるため、炭酸ガスの吸引による安楽死をさせた。心停止を確認した後、下肢の皮を剥離して軟組織を除去し、膝蓋骨に埋入する大腿四頭筋腱および膝蓋靭帯の3分の1程度を残して膝蓋骨を摘出した。その後、ハンドモーターにて膝蓋骨を大腿骨の長軸に平行な面で切断し、これを膝蓋骨の縦断面 (矢状断) とした。また、大腿骨の長軸に垂直方向な面を水平面とし、膝蓋骨を近遠心的に3等分して近位から上・中・下の3部位の水平断面を作成した。それらの標本の一部は速やかに4%パラホルムアルデヒド液に浸漬し、他の標本は5%グルタルアルデヒドおよび4%パラホルムアルデヒドを含むカルノブスキー液に4℃にて一晩浸漬し、固定処理を施した。後者は、その後、0.2Mサッカロースを含むストック・ソリューション (pH7.4) で保存し、過固定を防いだ。

### 非脱灰樹脂研磨標本作成

4%パラフォルムアルデヒド液で固定した標本にて非脱灰樹脂研磨標本を作製した。70、95および100%（2回）アルコールの順に各30分脱水およびアセトン I、II の浸漬による透徹を各30分、真空デジケーター内にて行った。その後、アセトンとリゴラック樹脂1:1、1:3、1:7の比率の液にそれぞれ3、5および12時間浸漬し、その後さらにリゴラック樹脂原液に1日（2回）浸漬して、樹脂に包埋後、37、45、55および60℃の順に1日ずつ加温重合した。重合したものをバンドソーにてトリミングを行った。アクリル板に貼り付けた後、3段階の砥石（粗砥石、中砥石、仕上げ砥石）および3段階の研磨用フィルムを用いて100～150 $\mu$ mになるまで丁寧に研磨した。研磨面を0.1N塩酸で酸腐蝕し、十分に水洗した後トルイジンブルー染色を施した。

### パラフィン切片の作成

4%パラフォルムアルデヒドで固定した標本を、8%EDTA水溶液に6週間浸漬（4℃）し、脱灰を行った。その後、脱水（70、95および100（2回）%アルコールに各30分浸漬）し、さらに透徹（安息香酸メチル I、II、III を各1時間、ベンゼン I、II を各20分）した。そして、パラフィン浸透および包埋をし、マイクロトームにて厚さ4 $\mu$ mに薄切した。これらの切片にTRAP染色を施した。

### 形態計測

樹脂で包埋した膝蓋骨の矢状断標本にトルイジンブルー染色を施し、光学顕微鏡で撮影した。この画像データから画像解析ソフト（WinROOF V7.4）を用いて、膝蓋骨全体の骨密度（BV/TV）および骨梁幅（Tb.Th）を測定した。

### 所見

次亜塩素酸ナトリウム水溶液で有機質を溶かしたラット下肢骨の乾燥標本を肉眼的に観察すると、膝蓋骨は長楕円形で大腿骨遠位部に位置した（図1）。

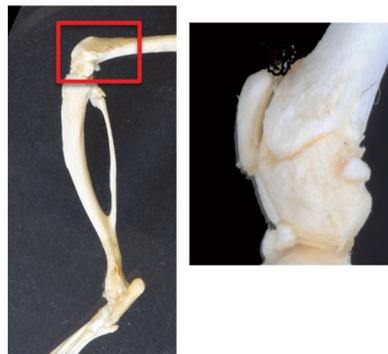


図1. ラット下肢骨と膝蓋骨の肉眼解剖像 右図は左図の赤枠の拡大像

膝蓋骨の樹脂包埋縦断研磨標本にトルイジンブルー染色を施し、膝蓋骨の矢状断面を観察すると、COでは表面側には近遠心方向に配列する太い骨梁があり、大腿骨側には大腿骨に垂直な方向に配列する骨梁が存在した。表面側の骨梁が融合する膝蓋骨近位部および遠位部では、いずれも大腿四頭筋腱や膝蓋靭帯が連結していた。このような膝蓋骨表面側の骨梁を水平断面で観察すると、表面側は網状構造をなし、また、膝蓋面側は矢状断面で見られたものと同様に大腿骨の膝蓋面に垂直に配列して、表面側の骨に融合していた（図2、3）。近遠心方向に配列する表面側の骨梁および膝蓋面側から起こる柱状の骨梁が、TSでは細くなった。COでは前者および後者の骨梁の融合が見られたが、TSではその融合している部位が少なかった。これらの骨量の密度（BV/TV）と太さ（Tb.Th）を測定すると、TSはCOに比べいずれも有意に低値を示した（ $p < 0.01$ ）（図4）。

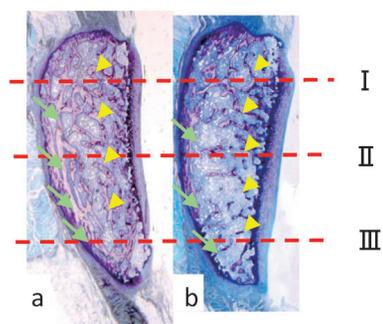


図2. 両群の膝蓋骨の弱拡大像（縦断像）  
 （樹脂包埋研磨標本、トルイジンブルー染色）  
 矢印：表層の骨梁、矢頭：関節面側の骨梁  
 a：CO、b：TS    I：近位部、II：中央部、III：遠位部

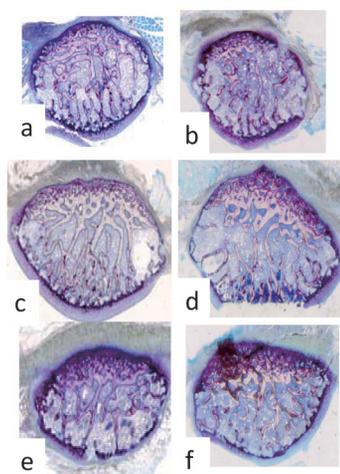


図3. 両群の膝蓋骨の弱拡大像（横断像）  
 （樹脂包埋研磨標本、トルイジンブルー染色）  
 a,c,e：CO、b,d,f：TS  
 a,b：近位部、c,d：中央部、e,f：遠位部

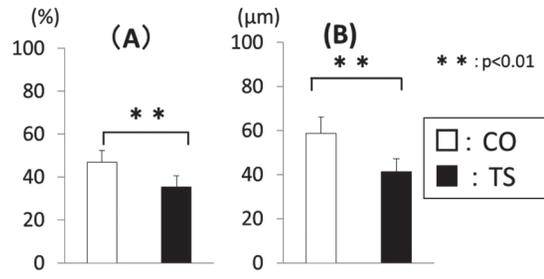


図4. 両群の膝蓋骨海綿骨における骨梁の密度と骨梁幅の比較  
(A) 骨密度、(B) 骨梁幅

膝蓋骨の各部位の構造変化について観察すると、まず、膝蓋骨の大腿骨に接する面には関節軟骨が存在しており、TSはCOに比べ関節軟骨の石灰化層が薄く、軟骨下骨も乏しく骨梁が疎で細くなっていた。膝蓋骨遠位部において、赤紫色の基質の表面に淡いピンク色の骨が添加されているが、TSでは淡いピンク色の骨が少量しかなかった。これらの部位のパラフィン切片にTRAP染色し各群を比較すると、関節軟骨部においてCOには陽性細胞はみられなかったが、TSでは陽性細胞、すなわち破軟骨細胞が認められた。遠位部では、TSがCOに比べ陽性細胞が多くみられた (図5)。

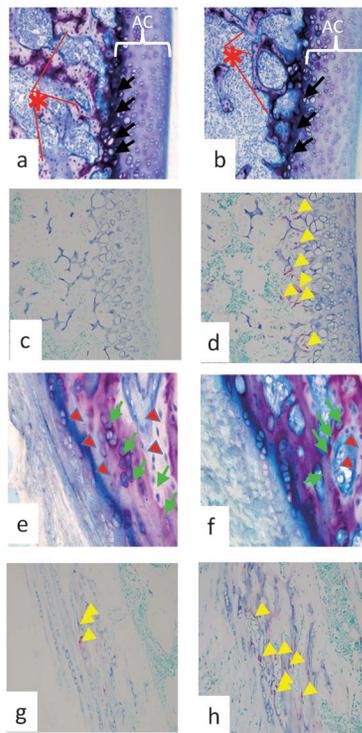


図5. 膝蓋骨大腿骨側の関節軟骨直下および遠位部の構造とTRAP陽性細胞  
a,c,e,g : CO、b,d,f,h : TS  
AC : 関節軟骨、矢印 : 石灰化層、黄矢頭 : TRAP陽性細胞、  
赤矢頭 : 骨、緑矢印 : 石灰化軟骨基質  
a-d : 関節面、e-h : 遠位部、a,b,e,f : 樹脂包埋研磨標本 (トルイジンブルー染色)  
c,d,g,h : パラフィン切片 (TRAP染色)

次に膝蓋骨の近位部について観察したところ、近位部前面は、COでは皮質骨と線維層の間に線維軟骨様組織が存在し、細胞は基本的に大腿四頭筋側に向かって配列した。それに対して、TSの線維軟骨は厚く、細胞の配列状態はCOとは異なり膝蓋骨表面から垂直方向に向に配列した。また、近位端では大腿四頭筋腱がシャープ線維として埋入されている状態が確認でき、TSはCOに比べ腱線維の束が細く、線維軟骨の厚さも増していた。そして、この部位を走査電子顕微鏡（SEM）で観察すると、COでは腱線維の先端の位置が隣り合う物同士で異なるが、TSではその先端は一行に並んでいた（図6）。

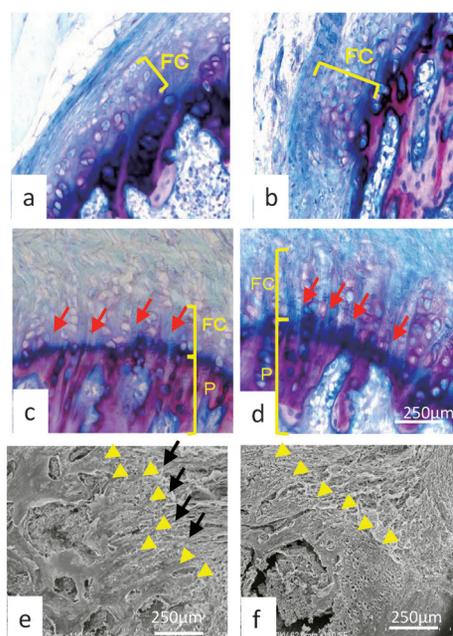


図6. 両群における膝蓋骨近位部の構造比較  
a,c,e : CO、b,d,f : TS  
FC:線維軟骨、P:膝蓋骨  
赤矢印：シャープ線維、矢頭：腱線維束の先端、  
矢印：腱線維束  
a,b : 近位部前面、c-f : 近位部近位端  
a-d : 樹脂包埋研磨標本（トルイジンブルー染色）  
e,f : 走査電子顕微鏡

膝蓋骨遠位部を、樹脂包埋した後、トルイジンブルー染色を施したもので観察すると、COの遠位部の表面側には厚い腱線維が存在しており、その深層は線維軟骨様の組織となっていた。また、その直下に厚い皮質骨が形成されていた。しかし、TSの腱線維はCOよりやや疎で、線維軟骨様の組織が明確だった。遠位端付近は、TSではCOに比べて線維軟骨様の組織が厚く、皮質骨が薄くなっていた（図7）。

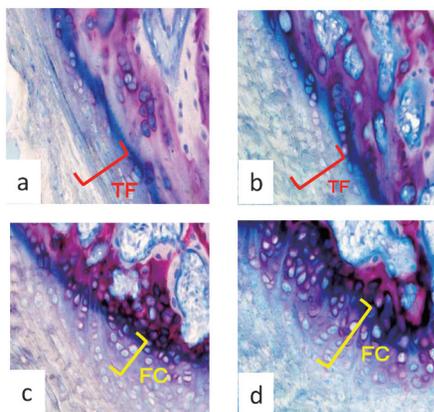


図7. 膝蓋骨遠位部の構造比較（樹脂包埋研磨標本、トルイジンブルー染色）

a,c : CO、b,d : TS

TF:腱線維、FC:線維軟骨

a,b : 遠位部前面、c,d : 遠位部遠位端

## 考 察

本研究はラットを用いて、尾部懸垂による非活動な状態が膝蓋骨の骨構造にどのような影響をもたらすかについて検討するものであり、本実験で得られたデータをもとに以下に考察する。

種子骨である膝蓋骨は大腿四頭筋腱内に位置して、腱の摩耗を防ぐ働きがある<sup>6)</sup>。本研究で膝蓋骨の矢状断面を観察すると、COでは表面側には近遠心方向に配列する太い骨梁があり、大腿骨側には大腿骨の膝蓋面に垂直な方向に配列する骨梁が存在した。前者の骨梁が融合する膝蓋骨近位部および遠位部では、いずれも大腿四頭筋腱や膝蓋靭帯が連結していた。このような膝蓋骨表面側の骨梁を水平断面で観察すると、前者は網状構造をなし、また、後者は矢状断面で見られたものと同様に大腿骨の膝蓋面に垂直に配列して、前者の骨に融合していた。ヒトの膝蓋骨においても、同様な骨梁配列をすることが報告されている<sup>7)</sup>。本研究ではこのような二方向から観察された膝蓋骨海綿骨の骨梁構造をもとに、それらの立体的な構造について考えると、膝蓋骨の表面側では、太い骨梁が主として近遠心方向に配列するが、それらの骨梁間は短い骨梁で連結されて、全体として膝蓋骨にもたらされる近遠心方向からの牽引力に強固に抵抗しうる構造をなしていると思われる。また、それらの骨梁の深部、すなわち大腿骨側では、大腿骨の膝蓋面から膝蓋骨の表面方向に向かう柱状の骨梁が存在した。このような構造から、膝蓋骨の海綿骨の中でも表面側の骨梁は近遠心方向からの牽引力に抵抗性を示し、また、それより大腿骨側の骨梁は、大腿四頭筋腱によって膝蓋骨が大腿骨側への押しつけられる圧迫力に抵抗する構造をなしていると思われる。このような構造と機能が膝蓋骨に備わり、それによって種子骨としての役割が果たされていると考えられる。

本研究では、膝蓋骨の表面に大腿四頭筋腱や膝蓋靭帯が存在し、それらの深部で石灰化が

生じて膝蓋骨表面の石灰化した部位を形成する像が観察された。このことは、大腿四頭筋腱および膝蓋靭帯が石灰化することによって、近遠心的に配列した骨梁が形成されることを意味すると思われる。また、このことは大腿四頭筋腱－骨梁－膝蓋靭帯が一体化することによって、腱や靭帯の線維と骨梁の配列方向を一致させ、大腿四頭筋からの牽引力が膝蓋骨を介して脛骨粗面に適切にもたらされる構造をなしていると思われる。

骨に加わる力の大きさによって骨構造が変化するwolffの法則がある。また、先行研究において、寝たきり状態や無重力環境を想定したラット尾部懸垂モデル<sup>8)</sup>や、不動実験<sup>9)</sup>を行うことにより、大腿骨や脛骨のような長骨で、骨密度および骨梁幅などが有意に減少することが報告されている。本研究で、COとTSを比較すると、膝蓋骨の海綿骨の中でも表面側の近遠心方向に配列する骨梁と、大腿骨の膝蓋面に対して垂直方向に配列する柱状の骨梁のいずれもTSで細くなった。また、前述のごとくCOでは前者の骨梁と後者の骨梁の融合が見られたが、TSではその融合している部位が少なく、骨量も膝蓋骨の表面側、膝蓋面側の両方で減少が見られ、膝蓋骨全体の骨密度の計測では有意に骨量の低下が認められた。このように、本研究では尾部懸垂によって骨量の低下や骨梁構造の変化が見られ、これらの結果は本研究と同様に加重低減を図った岡本<sup>8)</sup>や中増<sup>9)</sup>の報告に一致するものであった。

重力に抗する構造を有する、加重骨と呼ばれる四肢骨においては、岡本<sup>8)</sup>や中増<sup>9)</sup>が指摘するように加重の低減によって骨量が減少する。これに対し、種子骨である膝蓋骨は四肢骨のような体重を支えるために加重を受けることはない。しかしながら、膝蓋骨においても尾部懸垂による加重低減によって、骨密度や骨梁幅の減少が見られた。このことは、尾部懸垂に伴って大腿四頭筋腱および膝蓋靭帯からの牽引力の低下によって、膝蓋骨自体への機械的刺激が減少したことによるものと考えられる。

膝蓋骨における尾部懸垂の影響を詳細に見ると、膝蓋骨の海綿骨は表層に位置するものと、深部で大腿骨の膝蓋面側に位置するものに分けられるが、いずれの骨量も低下した。しかし、前者の骨量は近遠心方向に配列するもので、この部位の骨梁の密度や太さの低下には、尾部懸垂に伴う大腿四頭筋腱と膝蓋靭帯からの牽引力低下が関わっていたと思われる。一方、後者の海綿骨における骨梁は大腿骨膝蓋面に対して垂直方向に配列するものであり、これは膝関節の屈曲伸展に伴って、大腿四頭筋腱が膝蓋骨を大腿骨側圧迫する力に抵抗性を示すものと考えられる。尾部懸垂によるこの部位の骨量減少は膝蓋骨に対して大腿四頭筋腱からの圧迫力の低下を意味していると思われる。また、これらの構造変化から、膝蓋骨内の海綿骨には二つの役割が考えられ、それは大腿四頭筋腱と膝蓋靭帯方向からの牽引力に抵抗性を示す機能と、大腿骨側への圧迫力に抵抗する機能であると考えられる。

関節軟骨は、加えられた衝撃荷重をやわらげ、これらを分散し軟骨下骨に伝達することで、過度のメカニカルストレスから骨を守る機能がある<sup>10)</sup>。また、関節軟骨には血管が存在せず、栄養を関節液から補給しており、関節の運動に伴う関節軟骨の「圧迫」と「圧迫の解除」(ポ

ンピング作用)の繰り返しによって、関節表面から軟骨基質内への栄養物質の移動が促進される<sup>11)</sup>。本研究では、COと比較したとき、TSは関節軟骨の石灰化層が減少し、その直下の骨量の減少もみられた。また、石灰化層にTRAP陽性細胞が多く観察された。Shahnazari<sup>12)</sup>は、非活動的な状態では、骨表面の骨芽細胞の減少と破骨細胞の増加によって、骨形成の阻害や骨吸収が促進されると報告している。前述したように、膝蓋骨は四肢骨のような加重骨とは異なり、大腿四頭筋腱と膝蓋靭帯からの牽引と、大腿骨側への圧迫が、骨構造を変化させるのに有効な刺激になるが、TSではこの圧迫力が低下し、関節軟骨へのポンピング作用が減少したと考えられる。これにより、関節軟骨内へ浸透すべき栄養量が不足し、このことが基質の石灰化を抑制し、軟骨下骨の減少を引き起こしたであろうことが推測される。また、圧迫力の低下によって、破骨細胞の作用が優勢となったことで、石灰化層および軟骨下骨の吸収が増加したと思われる。

本研究の観察では、膝蓋骨の大腿骨に接する面には関節軟骨が存在しており、TSはCOに比べ関節軟骨の石灰化層が薄く、海綿骨の骨梁も疎で細くなっていた。膝蓋骨遠位部において、赤紫色の基質の表面に淡いピンク色の骨が添加されているが、TSでは淡いピンク色の骨が少量しかなかった。紫色の骨基質は線維軟骨が石灰化してできたもので、淡いピンク色の骨基質はそれに新たに添加されたものであり、このことからTSではCOに比べて骨の添加量が乏しいことが分かる。

COでは、膝蓋骨遠位部において石灰化した線維軟骨表面に骨基質が添加されていた。しかし、TSにおけるその添加量はCOより少量であった。また、この部位における各群の破骨細胞の出現状態を比較すると、TSはCOより多くの破骨細胞が存在した。このことは、腱の埋入部付近で顕著であった。Thomopoulosら<sup>13)</sup>は、生直後のマウスにボツリヌストキシンAを棘上筋腱に注射して非活動化させることにより、腱付着部の発育について検討した。その結果、ボツリヌストキシンA投与群は生理食塩水を注射した対照群と比較して、腱の付着部付近に破骨細胞が多く出現し、骨量が減少したことを報告している。このThomopoulosら<sup>13)</sup>の報告に本研究の結果をあてはめると、膝蓋靭帯においても非活動な状態におけるこれらの変化が同様に起こったと考えられる。尾部懸垂に伴う膝蓋靭帯の牽引力低下は、線維軟骨の石灰化の低下および破骨細胞の増加をもたらし、このことが膝蓋骨の中でも靭帯付着部付近の骨量を低下させていたであろうことが推測される。

腱付着部は、表層から腱線維の膠原線維層、線維軟骨層、石灰化線維軟骨層、および骨層から構成される<sup>14)</sup>。また、靭帯付着部にも同様な構造が示されている<sup>15)</sup>。本研究のCOにおいては、大腿四頭筋腱付着部である膝蓋骨近位部の前面に、皮質骨と線維層の間に存在する線維軟骨様組織に、石灰化が見られた。また、線維軟骨内の細胞は膝蓋骨表面に対して斜め方向、すなわち、大腿四頭筋側に向かって配列した。しかし、TSの線維軟骨はCOよりも厚く、細胞の配列は膝蓋骨表面から垂直方向に向かって配列していた。また、膝蓋靭帯付着部

である膝蓋骨遠位部でも同様な結果が得られた。膝蓋骨の近位端では、両群ともに大腿四頭筋腱がシャープ線維として埋入されたが、TSは腱線維の束が細く、線維軟骨も厚かった。そして、この部位をSEMで観察すると、COの腱線維の先端は隣り合うもの同士で位置が異なり、これは埋入された腱線維の長さが異なることを意味する。それに対して、TSはその長さはほぼ一様であった。神田ら<sup>16)</sup>は、力学的ストレスがコラーゲン線維の配向に影響を与えていることを報告している。本研究のTSでは、膝蓋骨近位部前面における線維軟骨の基質線維の配列状態がCOと異なり、線維軟骨自体も厚かった。このように、正常状態では膝蓋骨表面に存在する線維軟骨の基質線維が、膝蓋面から斜め方向に大腿四頭筋側に配列していたが、尾部懸垂によって膝蓋骨表面に対して垂直方向に配列するように変化した。これは、膝蓋骨に大腿四頭筋側からの牽引力の低下が反映されていると思われる。また、牽引力の低下によって軟骨細胞が扁平な状態から楕円形に変化したのは、基質線維の密度が低下したことが関わっていると思われる。同様な所見は膝蓋骨遠位部においても観察され、いずれの部位においても膝蓋骨への膝蓋靭帯からの牽引力低下が影響したと考える。

山門<sup>17)</sup>は、成熟したウサギの脛骨に孔をあけ、大腿骨起始部から切離した長趾伸筋腱を移植し、腱-骨移行部の再生過程を有限要素法解析で検討した結果、引張応力が生じた場所にシャープ線維の架橋が豊富にみられたとしている。また、引張応力は腱骨移行部形成を促すことを報告した<sup>17)</sup>。本研究のTSにおいて大腿四頭筋腱の腱線維の先端が一様となったことは、山門<sup>17)</sup>の報告から、引張力（牽引力）が尾部懸垂により低下したことに起因するものと推測される。

## 結 論

ラット膝蓋骨では、大腿四頭筋および膝蓋靭帯の腱線維が線維軟骨様の構造を経て、骨内に埋入され、尾部懸垂によってその厚さが増すことによって皮質骨形成が遅れることが理解された。また、海綿骨の骨量低下もみられ、非活動的な生活は膝蓋骨の脆弱化を引き起こすであろうことが推測された。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり多くのご協力をいただいた研究室の大学院生および学部生の方々に深謝致します。

## 倫理審査および動物実験委員会による審査

本研究は東洋大学動物実験委員会ならびに福祉社会デザイン研究科研究等倫理委員会の承認を得て実施した。

## 参考文献

- 1) Giangregorio L, Blimkie CJ. : Skeletal adaptations to alterations in weight-bearing activity: a comparison of models of disuse osteoporosis. *Sports med*, 32 : 459-476, 2002.
- 2) 鈴木芽久美、他：要介護高齢者における転倒と骨折の発生状況. *日本老年医学会雑誌*, 46 : 334-340, 2009.
- 3) 鈴木三夫：膝の損傷 伸展機構の損傷群の損傷 *整形外科 MOOK* 9 : 95-110, 1979.
- 4) Kaufer H. : Mechanical function of the patella. *J Bone Joint Surg Am*, 53 : 1551-1560, 1971.
- 5) Bourrin S, et al : Physical exercise during remobilization restores a normal bone trabecular network after tail suspension-induced osteopenia in young rats. *J Bone Miner Res*, 10 : 820-828, 1995.
- 6) 岸清、石塚寛：解剖学（第2版）. 医歯薬出版：76, 2008.
- 7) 福沢啓一：膝蓋骨骨梁の研究. *昭和医学会雑誌*, 43 : 459-470, 1983.
- 8) 岡本武志、他：不活動に伴う骨量減少のメカニズム解明の為の動物モデルの検討. *東海大学短期大学紀要*, 46 : 1-6, 2012.
- 9) 中増正寿：尾部懸垂ラットモデルにおける骨髄内血流と骨量の変化に関する実験的研究. *広大医誌*, 49 : 159-170, 2001.
- 10) 岡正典、他：関節軟骨の力学的特性に関する研究. *バイオメカニズム*, 7 : 69-79, 1984.
- 11) 岡正典：関節軟骨のバイオレオロジー. *日本バイオレオロジー学会誌*, 3 : 3-14, 1989.
- 12) Shahnazari,M.,et al : Simulated spaceflight produces a rapid and sustained loss of osteoprogenitors and an acute but transitory rise of osteoclast precursors in two genetic strains of mice. *Am.J.Physiol.Endocrinol.Metab*, 303 : 1354-1362, 2012.
- 13) Thomopoulos,S., et al : Decreased Muscle Loading Delays Maturation of the Tendon Entesis during Postnatal Development. *J.Orthop.Res*, 25 : 1154-1163, 2007.
- 14) 及川正明, 前田洋佑：競走（技）馬の跛行をもたらす疾患：特に橈骨結節における骨付着部症. *産業動物臨床医学雑誌*, 1 : 25-29, 2010.
- 15) 沖田実：関節可動域制限 病態の理解と治療の考え方. 三輪書店：37-39, 2008.
- 16) 神田圭一、他：力学的ストレスにより細胞を配向させた"ハイブリッド人工中膜"モデルの基礎的研究. *人工臓器*, 22 : 478-482, 1993.
- 17) 山門浩太郎：骨孔内での腱骨移行部再生における力学的影響. *金沢大学十全医学会雑誌*, 110 : 273-282, 2001.

# **Effect of tail suspension on osteogenic process in the rat patella**

KIRA, Yuichiro  
KANO, Tsuyoshi  
OHTSAKO, Masafumi

## Summary

Unloading reduce bone mass, which possibility induce fracture. Therefore, unloading cause senior to fracture of patella, and it affects on dairy life. However, there is no report that reduction of mechanical stress influence on patella.

In the people at old and middle age to live a non-active life, a bone mass decreases by non-weighting, and the possibility of the bone fracture increases. A patella sometimes fructures by the tumble and this has a great influence on the daily life. However, as for the influence of the mechanical stress decline to the patella, there is not a report. Purpose of this study was to investigate effects of the inactive condition that was caused by the tail suspension on osteogenesis of the patella.

Seven-week-old rats (wistar strain, male, n=36) were divided into the tail suspension group (TS) and control group (CO) randomly. Tail was suspended in TS and rats of CO were normally for two weeks. Rats of both groups were euthanized and their patellas were excised at the end of the experimental period. Those specimens were analyzed and observed histologically.

An articular cartilage existed at the posterior face (femur side) of the patella. A periosteum didn't exist at the anterior face (surface side) of that bone and this portion was covered with a tendon and an aponeurosis of femoral quadriceps. Tendon fibers of the femoral quadriceps were embedded, as Sharpey's fibers, at the proximal portion of the patella, and the fibers of the patella ligament were embedded in the distal portion of that. The fiber bundles of the tendon and the ligament of TS were thinner than that of CO. A fibrocartilage existed near the attaching portion of those fiber bundles and they were thicker in TS compared to CO. Trabecular bones of the cancellous bone in TS was

thinner and lower dense than CO.

It was understood that the patella wasn't the bone that resisted to mechanical stress like a limb bone but it showed an embrittlement by decrease in tractive forces from the muscle and ligament.

Keywords: patella, tail suspension, tissue structure