

## 関節固定後早期における前十字靭帯破断強度の検討

林 一宏\*<sup>1</sup> 小野 武也\*<sup>2</sup> 沖 貞明\*<sup>2</sup> 梅井 凡子\*<sup>2</sup> 大田尾 浩\*<sup>2</sup>  
石倉 英樹\*<sup>1</sup> 田坂 厚志\*<sup>1</sup> 榑 千磨\*<sup>1</sup> 大塚 彰\*<sup>2</sup>

\* 1 県立広島大学大学院総合学術研究科保健福祉学専攻

\* 2 県立広島大学保健福祉学部理学療法学科

2011年 9月7日受付

2011年 12月8日受理

### 抄 録

本研究の目的は、関節固定後早期における前十字靭帯の引張強度とコラーゲン線維の配列変化の関連について検討することである。実験対象には8週齢のWistar系ラット31匹を用い、それらを膝関節の固定期間により4週間までの1週間毎に4グループに分けた。各固定期間終了後に大腿骨-前十字靭帯-脛骨複合体の形態とした標本を引張試験に供した。また、前十字靭帯を組織固定し走査電子顕微鏡を使用して、コラーゲン線維の配列状態を観察した。その結果、関節固定後1週目という早期から可動域が制限され、前十字靭帯の破断強度が低下している傾向が認められた。コラーゲン線維の配列状態は、固定側は対照側と比較して乱れている様子が確認された。ただし、今回の研究では実験上の技術的な問題のために、標本数が確保できず、傾向を述べるにとどまった。今後の課題は、適切な対策を施して除外標本を減少させることである。

**キーワード**：関節固定，関節可動域制限，前十字靭帯，破断強度

## 緒言

臨床において、安静臥床やギプス固定などによる関節の不動化はしばしば見られるところである。そしてその結果、皮膚や骨格筋、腱、靭帯、関節包などの関節軟部組織の伸張性・柔軟性が低下し、関節拘縮が引き起こされる<sup>1-3)</sup>。また、関節軟部組織の一つである靭帯も関節不動化により大きな影響を受け、伸張性・柔軟性の低下とともに強度の低下も引き起こされる。そして、その要因には、組織内に含まれるコラーゲン線維の配列、線維径、線維密度などの変化が関係している<sup>4-10)</sup>。Noyesら<sup>4)</sup>は、アカゲザルを対象に8週間の関節固定を行ない、大腿骨-前十字靭帯-脛骨複合体の強度について調べた結果、8週間の関節固定後には骨-靭帯-骨複合体の強度が39%低下するとしている。Larsenら<sup>5)</sup>は、ラットの膝を4週間固定し同様に骨-靭帯-骨複合体の強度が低下すると報告している。渡辺<sup>10)</sup>は、関節固定後早期の影響に着目してラットの膝関節を固定し、1週目から靭帯の強度が低下、横断面積が減少することから、横断面積が強度に影響すると報告している。その他、Binkleyら<sup>6)</sup>はラットの膝関節を40日固定、Wooら<sup>7)</sup>はウサギの膝関節を9週固定し、いずれも内側側副靭帯について機械的特性の検討を行なっているが、やはり骨-靭帯-骨複合体の強度が低下することを示している。

しかし、これら先行研究は、固定期間を4週、8週、あるいはそれ以上とした研究がほとんどであり、そこに至るまでの固定後早期の段階での靭帯の強度変化について検討した研究はあまり見られない。さらに、これらの先行研究の結果には引張試験による骨-靭帯-骨複合体の破断の際、靭帯実質が切れたものだけではなく、靭帯が骨に付着する部分で剥離骨折を起こしたものも含まれており、骨-靭帯-骨複合体としての強度を示している。これらの結果は靭帯実質の破断強度を示したものとは言えず、この点については十分に解明されているとは言えない。そして、関節拘縮が一度発生してしまうと、治療には難渋することが多く、拘縮が発生する前の予防が重要であることが知られている<sup>2,11)</sup>。一方、Wilsonら<sup>9)</sup>は、ラットの膝を3週間屈曲位で固定し、固定後2週目から膝伸展可動域に制限が発生し、その制限には前十字靭帯が寄与していることを示している。このことから固定・不動化された膝関節の可動域訓練を行なう際には前十字靭帯にも一定の張力がかかっているものと考えられ、この段階における前十字靭帯の強度に対する影響を知ることが重要である。

一方で、靭帯を構成しているコラーゲン線維に対する形態学的な検討として顕微鏡により観察する方法が用いられる。吉田ら<sup>8)</sup>はラットを対象に4週間の関節固定を行ない、走査電子顕微鏡を用いて膝の靭帯に

おけるコラーゲン線維に配列変化が起きると報告している。しかし、吉田らの研究では生体力学的な検討はなされていない。その他、靭帯や腱の形態学的、組織学的な検討を行なった研究が散見されるものの<sup>6,7,12-15)</sup>、ほとんどが光学顕微鏡による観察であり、走査電子顕微鏡を用いてコラーゲン線維の状態を確認した研究は少ない。

本研究の目的は、ラット膝関節を対象に、関節固定後早期における前十字靭帯の引張強度とコラーゲン線維の形態学的変化の関連について検討することである。

## 研究対象と研究方法

実験動物には8週齢、体重190～222gのWistar系雌ラット31匹を使用した。それらを固定期間により1週間グループ9匹、2週間グループ7匹、3週間グループ6匹、4週間グループ9匹の4群に分けた。なお、本実験は県立広島大学研究倫理委員会の承認(平成23年5月11日、承認番号:第M11-001号)を受け行なった。

固定はラットの左後肢に対して行ない固定側とし、右後肢を無処置の対照側とした。関節固定にはキルシュナー鋼線とレジンによる創外固定を使用した。関節固定の処置は、ネンプタールを腹腔内に注射し(40mg/kg)、麻酔下において、大腿骨骨幹部に2本、脛骨骨幹部に2本のキルシュナー鋼線をドリルにて貫通させ、その4本の端部を歯科治療用レジンにて結合・固定したものである(図1A,B)。膝関節固定角度は膝関節最大屈曲位にあたる約130°とした。関節固定後も全てのラットは飼育ケージ内を自由に動き回ることが可能であり、水と餌も自由に摂取することができた。

実験開始時と各固定期間終了時に全てのラットの体重計測と固定側の膝関節伸展可動域の計測を行なった。可動域の計測は、ラットを麻酔下で側臥位とした後、股関節を最大伸展位とし、踵骨直上に0.3Nの力を加えて膝関節を伸展させた。可動域計測時に加える力を一定とするため、ひずみゲージ式変換機(共和電業製、LTS-1KA)を用いた。加える力の大きさはWilsonら<sup>9)</sup>の報告を参考にこの値とした。このように膝を伸展させたラットを、垂直上方に固定したデジタルカメラで撮影し、画像をパソコンに取り込んだ。膝伸展角度は画像解析ソフト(ImageJ ver1.43u)を使用して計測した。計測の基本軸は大腿骨大転子と大腿骨顆部外側顆を結んだ線とし、腓骨頭と足関節の外果を結んだ線を移動軸とした(図2)。計測角度の表示は伸展が制限されるほど数値が小さくなるようにした。膝関節の伸展角度は角度計測誤差を減らすため、3回計測を行ないその平均値を算出した。

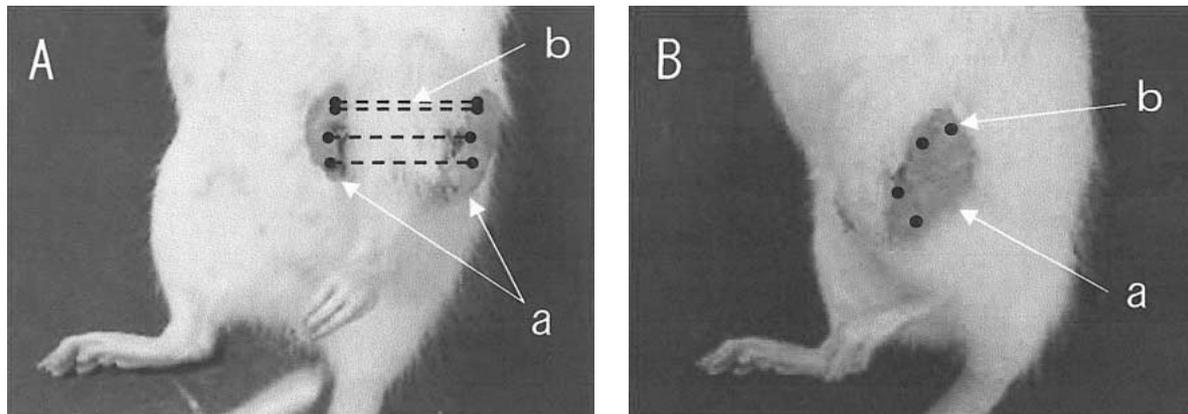


図1 レジン創外固定  
A：正面図 B：側面図  
a：レジン b：キルシュナー鋼線

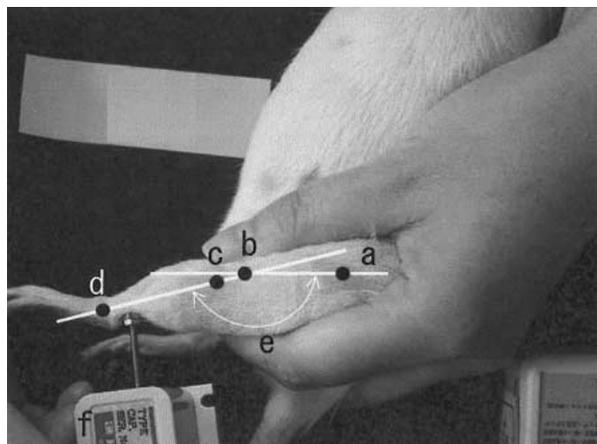


図2 膝関節伸展角度計測  
a：大転子 b：大腿骨外側顆  
c：腓骨頭 d：脛骨外果  
e：可動域計測角度  
f：ひずみゲージ式変換機

前十字靭帯の引張試験用標本は、各固定期間終了時にラットにネブタール麻酔投与後、脱血にて屠殺、時間をおかずに固定側、対照側とも股関節で後肢を切除し、筋組織を全て切除した。膝関節は関節包、靭帯などを残した状態で、標本を液体窒素で冷却したイソペンタンにて急速凍結後、 $-30^{\circ}\text{C}$ の冷凍庫にて保存した。引張試験実施時には、約4時間前に冷凍庫から常温に移して解凍、膝関節の関節包や後十字靭帯などを切除し、大腿骨-前十字靭帯-脛骨複合体の形態として試験に供した。標本作成中など、適宜、生理食塩水を散布し組織の湿潤を保持した。

引張試験機はオートグラフ(島津製作所社製 AG-50KNG)を使用した。標本は、脛骨骨幹部と大腿骨顆部に直径約1mmの貫通した穴を開け、そこにU字型の針金を通し、針金の端部をクランプで試験機に固定した(図3A,B)。このように固定した標本に引張荷

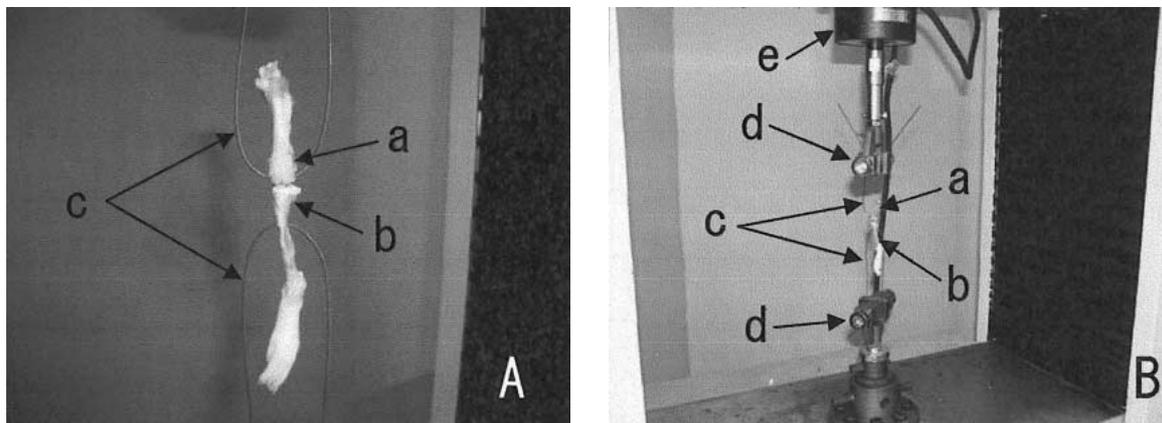


図3 引張試験  
A：標本取付状態 B：全景  
a：大腿骨 b：脛骨 c：針金  
d：試験機クランプ e：ロードセル

表 1 開始時の割り当て予定と実際の結果

固定 期間	開始時の割り当て予定 (肢)						結果 (肢)					
	引張		可動域		SEM		引張		可動域		SEM	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1 w	6	6	6	—	3	3	3	5	6	—	2	2
2 w	7	7	7	—	—	—	3	3	4	—	—	—
3 w	6	6	6	—	—	—	2	2	4	—	—	—
4 w	6	6	6	—	3	3	3	3	6	—	2	2

A : 固定側  
 B : 対照側  
 — : なし  
 SEM : 走査電子顕微鏡

重を負荷し、最大荷重、破断様式を記録した。引張速度は Noyes ら<sup>16)</sup>の研究を参考に靭帯実質での破断を起こすことを目的に 50mm/min とした。

電子顕微鏡観察用の標本については、引張試験用標本作成時と同様にラットを屠殺後、固定側、対照側とも切離した後肢から前十字靭帯の摘出を行なった。摘出した前十字靭帯を 2%パラホルムアルデヒドに浸漬し、室温で保存して前固定を実施。その後、1%四酸化オスmiumによる導電染色を施し、エタノール系列にて脱水、t-ブチルアルコールによる置換、凍結乾燥、そして金蒸着を行ない、靭帯のコラーゲン線維を走査電子顕微鏡（日本電子社製 JSM-5310LV）にて観察を行なった。この際、靭帯の長軸方向が写真の横方向となるよう低倍率にて確認後、20,000 倍で撮影を行ない、コラーゲン線維の配列状態、線維径について観察を行なった。

統計処理には Statcel3 を使用し、ラット体重と膝伸展角度について各固定期間前・後の 2 群の比較に Wilcoxon の符号付順位和検定を、前十字靭帯引張試験において固定側と対照側の強度の比較には Mann-Whitney 検定を用いた。各固定期間開始時のラット体重のグループ間比較と、各固定期間終了後のラット体重のグループ間比較には Kruskal-Wallis 検定を実施し有意差を認められた場合には Scheffe 法を適用した。有意水準は 5% 未満とした。

## 結果

実験期間中に死亡、標本作成時に脛骨、大腿骨が骨折したもの、また引張試験の結果において前十字靭帯実質以外で破断したものは、実験結果から除外した。このため、実験期間終了後における標本数が、実験開始当初の予定よりも減少した（表 1）。1 週間グループについては、標本作成時の脛骨骨折により、電子顕微鏡観察用に予定していた 1 匹（固定側 1 肢、対照側 1

肢）を引張試験に供した。2 週間グループでは、実験開始時に固定側 7 肢、対照側 7 肢を予定していたが、死亡、骨折により引張試験に固定側 3 肢、対照側 3 肢、可動域計測に固定側 4 肢の結果を使用することができた。また、2 週間グループでは実験開始直後に 2 匹（固定側 2 肢、対照側 2 肢）が死亡したため、4 週間グループの電子顕微鏡観察用に予定していた 1 匹（固定側 1 肢、対照側 1 肢）を 2 週間グループに移行した。3 週間グループでも脛骨、大腿骨の骨折が発生し、引張試験の結果として使用することができたのが固定側 2 肢、対照側 2 肢、可動域計測の結果として使用できたのが 4 肢となった。4 週間グループでは引張試験において固定側 3 肢、対照側 3 肢を使用することができた。可動域計測は実験開始時の予定通り 6 肢の結果を使用できた。

実験に使用されたラットの体重は、1 週間グループが固定前 209.0 ± 10.7g（平均値 ± 標準偏差、以下同じ）、固定後 207.0 ± 10.6g、2 週間グループが固定前 202.0 ± 6.57g、固定後 216.5 ± 3.1g、3 週間グループが固定前 205.6 ± 10.1g、固定後 229.0 ± 7.6g、4 週間グループが固定前 202.3 ± 3.9g、固定後 235.8 ± 8.2g となっており、固定前（試験開始時）の各グループのラットの体重に有意な差は認められなかった。そして 1 週間グループにおいては試験期間前後の体重に有意な差はなかったが、固定後 2 週間以降においては、試験期間前後で体重が有意に増加していた。また、固定期間終了後の体重については、1 週間と 3 週間、1 週間と 4 週間、2 週間と 4 週間の各グループ間に有意差が認められた。

膝伸展角度は、1 週間グループが固定前 174.9 ± 5.2 度（平均値 ± 標準偏差、以下同じ）、固定後 130.2 ± 13.2 度、2 週間グループが固定前 179.6 ± 14.1 度、固定後 130.2 ± 24.0 度、3 週間グループが固定前 175.3 ± 2.0 度、固定後 103.4 ± 5.9 度、4 週間グループ固定前 172.2 度 ± 7.8 度、固定後 90.3 ± 12.3 度とな

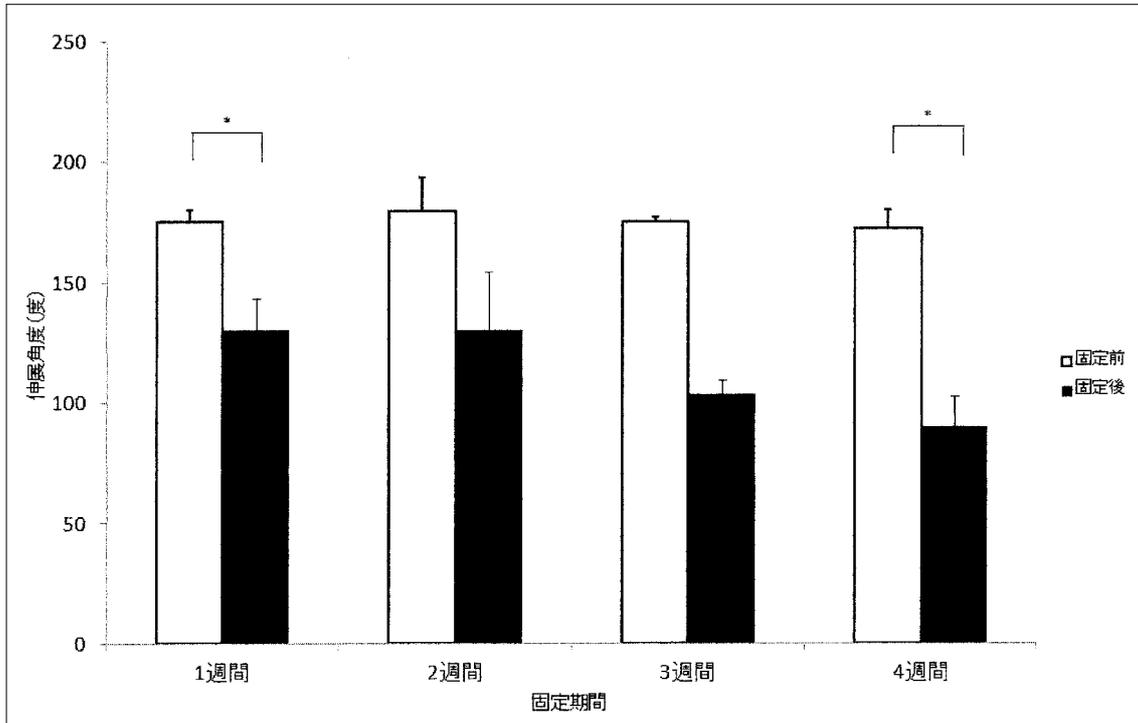


図4 膝関節伸展角度  
\* ; p<0.05

表2 引張試験における標本破断様式

破断様式	固定側	対照側
ACL 破断	11	13
脛骨骨端剥離	4	6
脛骨 ACL 附着部剥離	3	4
大腿骨顆部骨折	4	—
脛骨顆部骨折	1	—
合計	23	23

っている (図4)。統計処理の結果では1週間グループと4週間グループに有意差が認められ、関節固定後1週目から膝伸展角度の制限が始まり、固定期間とともに制限が進行している傾向が確認された。

引張試験における破断様式は、全試験結果を合わせると靭帯実質で破断した割合が、固定側48%、対照側57%。脛骨の剥離骨折は、固定側30%、対照側43%となっている (表2)。引張試験において靭帯実質で破断した全標本の最大荷重を示し、統計処理を行なった結果、1週間グループと2週間グループに有意差が認められた。また、3週間以降も固定側が対照側よりも強度が低くなる傾向が確認された (図5)。

電子顕微鏡観察では、標本作成時に靭帯長軸が明確でなくなるなどの技術的な問題により、4週間グループの標本のみが観察可能であった。20,000倍まで拡大

して撮影した画像では、対照側の2例については、ほとんどのコラーゲン線維が靭帯の長軸方向に対して縦走しており、線維が整然と並んでいる様子であった。これに対し、固定側の2例の標本では、コラーゲン線維の配列が乱れ、靭帯の長軸方向に対して斜走、横走する線維が増加していることが認められた (図6A,B)。

### 考察

本研究ではラット膝関節を対象に、関節固定後早期における前十字靭帯の強度と形態学的変化の関連について検討するために引張強度試験とコラーゲン線維の観察を行なった。

不動による関節可動域制限が起り始める時期について、陳之内ら<sup>17)</sup>はラットの足関節を固定し、2日目まで可動域制限が発生することを報告している。岡本ら<sup>18)</sup>もラットの足関節を固定し、1週間まで可動域制限が発生していることを示している。本研究でも関節固定開始後1週目から固定側の膝伸展可動域に制限が見られる傾向であり、先行研究と同様に、早期から可動域に制限が発生する傾向を示した。

引張試験において、破断様式の結果から前十字靭帯実質での破断以外を原因とする脛骨骨端での剥離骨折や大腿骨顆部での骨折が見られた。これは、本研究の目的とする前十字靭帯の破断強度とは異なるために、

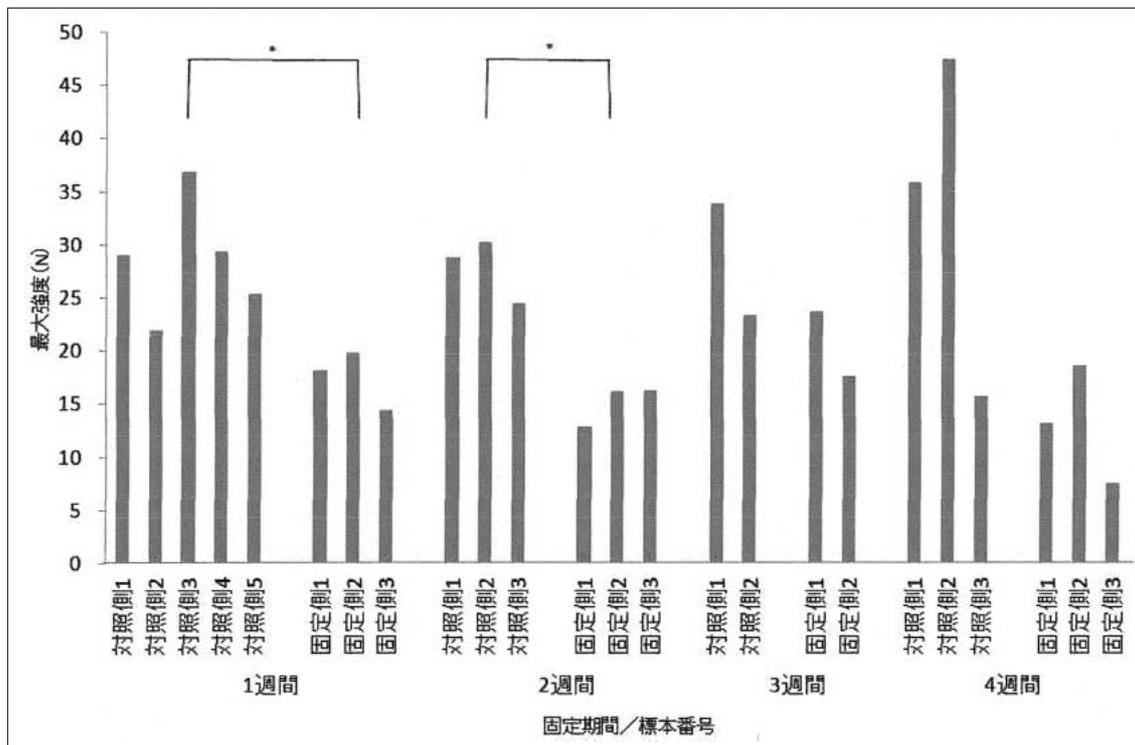


図5 引張試験結果

\* ; p<0.05

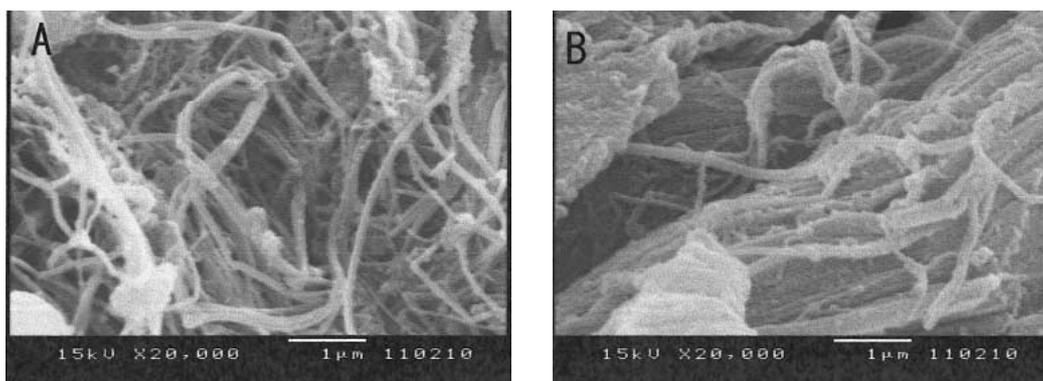


図6 前十字靭帯コラーゲン線維の走査電子顕微鏡画像

A : 4週間固定側, B : 対照側

写真の左右方向は、靭帯の長軸方向と一致している。

最大強度の結果としては前十字靭帯で破断した標本の結果のみを全標本について示した。渡辺<sup>10)</sup>の研究では関節固定した膝関節の前十字靭帯は1週目から最大強度が23%の低下を起こすと報告している。Larsenら<sup>5)</sup>の研究ではラットの膝関節を4週間固定後、大腿骨-前十字靭帯-脛骨複合体の最大強度が27%低下し、Noyesら<sup>4)</sup>の研究ではアカゲザルを対象に8週間の固定を行ない大腿骨-前十字靭帯-脛骨複合体の最大強度が39%低下したことを示している。このように、膝関節が固定されることで大腿骨-前十字靭帯-脛骨複体の機械的特性は変化し、最大強度が低下すること

が報告されており、固定開始から1週間という早期の段階においても強度の低下が始まっている。本研究の結果においても固定後1週間で最大強度の低下に有意差が認められ、先行研究の結果を支持するものとなっている。しかし、先行研究では、脛骨の剥離骨折で標本が破断したものの破断強度も含めて、複合体の強度として結果を示している。本研究では、靭帯実質での破断に着目したことから、この点において先行研究とは異なり、前十字靭帯そのものの最大強度について示している。

ヒトの前十字靭帯は、解剖学的に前内側線維束と後

外側線維束に分かれている。また、一般的に膝伸展位では前十字靭帯全ての線維が緊張しており、屈曲位では一部の線維が弛緩しているものとされている。ラット前十字靭帯に関してヒトと同じ構造を持っているという報告は見あたらないが、同様の構造であるものと推測される。今回、膝関節固定に採用した角度については、近年においてもいまだ在宅等の臨床場面でしばしば見られる屈曲位での不動状態を想定したことで、緩んだ状態で不動化された靭帯はコラーゲン線維の配列変化を起こす、とした先行研究<sup>8)</sup>を参考に最大屈曲位にあたる130°とした。一方、電子顕微鏡観察用の標本について、ラットの前十字靭帯は小さく、緊張していたと思われる線維束と緩んでいたと思われる線維束を判別、分離して切離することは困難であり、一体として切離され組織固定された標本の線維束を判別することも困難であった。また、電子顕微鏡による観察において、標本の部位による線維配列の著明な差は確認できず、線維束とコラーゲン線維の配列状態の関連については今後の課題としたい。

今回、膝関節伸展角度、前十字靭帯引張強度の試験で得られた結果に対して、対象から除外すべき標本が多数となった。標本数が減少した結果、統計学的検定が困難となる数しか確保できない例も出たことから、全体としては傾向を示すにとどまった。膝関節伸展角度については、引張標本作成を行なうために軟部組織を切除していく際に大腿骨・脛骨の骨幹部における骨折が判明したものがあり、標本作成前に計測した膝関節伸展角度の信頼性が低下するため、骨折したものは除外することで標本数が減少した。引張試験については、脛骨が剥離骨折したものが多く、靭帯実質で破断したものの標本数が十分に確保できなかった。これらに対する原因として、ラットが8週齢と若かったこと、また性別も雌を使用したために体格が小さかったことにより骨が細く、固定解除時に創外固定のキルシュナー鋼線を抜去する抵抗に耐えられなかったのではないかと考えられた。本庄ら<sup>19,20)</sup>はWistar系ラットの雌は150日齢頃に脛骨長の増加がプラトーに達するとしている。つまりこの時期までは、骨端軟骨板は幅が徐々に減少し、軟骨基質の石灰化が進行しながらも、軟骨板はまだ閉鎖していない。そして骨と比較して軟骨の強度が低いことは一般に知られている。本研究で使用したラットは実験開始時に8週齢であり、4週固定後でも12週齢となる。これを日齢に直すと56日齢から84日齢程度となり、成長途上であり強度の低い骨端軟骨板が存在する状態であったものと考えられる。また実験開始時と各実験期間の終了時に体重計測を行なった結果において、2週目以降から開始時と終了時に有意な差が見られ、4週固定終了時まで順調に体重が増加していることも、本実験で使用したラットが成長途上であったことの裏付けの一つとなると考え

られる。これらのことから本実験における引張強度試験において脛骨の骨端剥離による破断が多発したものと考えられる。次に破断様式において大腿骨顆部骨折が4肢に見られている。本実験に先立って行なった事前実験において、大腿骨顆部の骨折は発生しなかった。事前実験では対象に24週齢以上のリタイアラットを使用した点と、引張試験用標本作成後に冷凍保存を行なう際に、液体窒素で冷却したイソペンタンを使用していたの急速冷凍を行っていない点で実験方法において異なっている。24週齢よりも若い8週齢の雌ラットの小さな骨格であっても、大腿骨の顆部はある程度の体積を持っており、この急速冷凍の際に骨の表面と骨実質の間で大きな温度差が生じることで、大腿骨顆部に亀裂が入ったのではないかと考えている。

今後の課題として、固定解除時の脛骨、大腿骨の骨幹部骨折の防止と引張試験において骨端軟骨剥離で破断する標本数を減らして比較可能な標本数を確保することで、関節固定後早期における靭帯引張強度の差を明確にしたい。また、走査電子顕微鏡を使用して、関節固定後早期のコラーゲン線維配列状態を観察し、靭帯引張強度変化との関連について検討を行ないたい。

## 結論

引張試験の破断様式において脛骨の剥離骨折が多発したことや、標本作成時の骨折によって、除外すべき標本が多数となり、傾向を示すにとどまったが、膝伸展角度、引張強度とも先行研究を支持する傾向の結果となっている。今後、適切な対策を行ない、除外標本を減らすことで、関節固定後早期から靭帯の強度が低下することと膝伸展角度の減少が明らかなることを示し、靭帯のコラーゲン線維配列変化との関連について検討を行ないたい。

## 文献

- 1) 灰田信英, 細正博: 拘縮の病理と病態. 奈良勲, 浜村明德編, 拘縮の予防と治療. 東京, 医学書院, 18-36, 2003
- 2) 安藤徳彦: 関節拘縮の発生機序. 上田敏, 千野直一ほか編, リハビリテーション基礎医学第2版. 東京, 医学書院, 213-222, 1994
- 3) 市橋則明, 武富由雄ほか: 膝関節可動域制限に関与する皮膚と筋の影響. 理学療法学, 18(1):45-47, 1991
- 4) Noyes, F.R., Torvik, P.J. et al.: Biomechanics of ligament failure. II. An analysis of immobilization, exercise, and reconditioning effects in primates. J Bone Joint Surg Am, 56:1406-1418, 1974
- 5) Larsen, N.P., Forwood, M.R. et al.: Immobilization

- and retraining of cruciate ligaments in the rat. *Acta Orthop Scand*, 58:260-264,1987
- 6) Binkley, J.M. and Peat, M.: The effects of immobilization on the ultrastructure and mechanical properties of the medial collateral ligament of rats. *Clin Orthop Relat Res*, 203:301-308,1986
  - 7) Woo, S.L., Gomez, M.A. et al.: The biomechanical and morphological changes in the medial collateral ligament of the rabbit after immobilization and remobilization. *J Bone Joint Surg Am*, 69:1200-1211,1987
  - 8) 吉田大輔, 沖田実ほか: 関節不動化がラット膝関節の靭帯に及ぼす影響. *長崎理学療法*, 5:1-7,2004
  - 9) Wilson, C.J. and Dahners, L.E.: An examination of the mechanism of ligament contracture. *Clin Orthop Relat Res*, 227:286-291,1988
  - 10) 渡辺進: 関節固定の靭帯に及ぼす早期の影響 -生体力学的特性および横断面積の変化の検討-. *川崎医学会誌*, 19 (3) :187-197,1993
  - 11) 沖貞明, 大塚彰ほか: 関節可動域維持に必要な関節可動域運動の検討:ラットにおける実験的検討. *運動・物理療法*, 15 (4) :312-316,2004
  - 12) 迫下勉, 廣川俊二: 靭帯の組織構造と力学特性に関する実験的研究. *日本臨床バイオメカニクス学会誌*, 24:65-69,2003
  - 13) 飯塚恵一, 廣川俊二: 豚膝前十字靭帯線維束の力学特性に関する実験的研究. *日本臨床バイオメカニクス学会誌*, 25:173-178,2004
  - 14) Matsumoto, F., Trudel, G. et al.: Mechanical effects of immobilization on the Achilles' tendon. *Arch Phys Med Rehabil*, 84:662-667,2003
  - 15) Woo, S.L., Hollis, J.M. et al.: Effects of knee flexion on the structural properties of the rabbit femur-anterior cruciate ligament-tibia complex (FATC). *J Biomech*, 20:557-563,1987
  - 16) Noyes, F.R., DeLucas, J.L. et al.: Biomechanics of anterior cruciate ligament failure: an analysis of strain-rate sensitivity and mechanisms of failure in primates. *J Bone Joint Surg Am*, 56:236-253,1974
  - 17) 陳之内将志, 小野武也ほか: 関節可動域制限の発生時期に関する検討. *人間と科学: 県立広島大学保健福祉学部誌*, 7 (1) :181-185,2007
  - 18) 岡本真須美, 沖田実ほか: 不動期間の延長に伴うラット足関節可動域の制限因子の変化: 軟部組織(皮膚・筋)と関節構成体由来の制限因子について. *理学療法学*, 31 (1) :36-42,2004
  - 19) 本庄重男, 久池井忠男ほか: ラットの骨成長に関する組織学的研究: I. 雄ラットの生後日令に伴う骨組織像の変化について. *日本獣医学雑誌*, 22:432,1960
  - 20) 本庄重男, 久池井忠男ほか: ラットの骨成長に関する組織学的研究: II. 雌ラットの生後日令に伴う骨組織像の変化について. *日本獣医学雑誌*, 23:471-472,1961

## **An examination of the rupture strength for the anterior cruciate ligament in the early stage after joint immobilization**

Kazuhiro HAYASHI \* 1 Takeya ONO \* 2 Sadaaki OKI \* 2  
Namiko UMEI \* 2 Hiroshi OTAŌ \* 2 Hideki ISHIKURA \* 1  
Atsushi TAsAKA \* 1 Senma NAGI \* 1 Akira OTUKA \* 2

- \* 1 Program in Health and Welfare, Graduate School of Comprehensive Scientific Research, Prefectural University of Hiroshima
- \* 2 Department of Physical Therapy, Faculty of Health Sciences, Prefectural University of Hiroshima

Received 7 September 2011

Accepted 8 December 2011

### **Abstract**

The purpose of this study was to investigate the tensile strength of the anterior cruciate ligament and the relation of arrangement change of collagen fibers in the early stage after joint immobilization. We used 31 Wistar rats aged eight-weeks for the experiment. We divided the rats into four groups according to the immobilization period. We conducted a tensile test on the specimens made into the form of a femur-anterior cruciate ligament-tibia complex at the end of each immobilization period. Moreover we observed the arrangement state of collagen fibers using a scanning electron microscope. A tendency of range of motion limitation was observed one week after joint immobilization. A tendency for the rupture strength of the anterior cruciate ligament to fall was observed. A clear difference in the arrangement state of collagen fibers was observed. However, although from a technical point of view, we could not secure a sufficient number for statistical analysis, the research nevertheless describes a tendency. In future research, technical aspects of the experimentation process need to be improved and, in particular, the number of excluded specimens needs to be reduced.

**Key words :** joint immobilization, range of motion limitation, anterior cruciate ligament, rupture strength