1214 マウス尾腱より摘出したコラーゲン線維束の負荷過程における損傷

Damages of the Collagen Fascicle Obtained from Mouse Tail Tendon under Loading

○正 山本憲隆 (立命館大) 岡部敬之 (立命館大) 学 井川英志 (立命館大院)

Noritaka YAMAMOTO, Ritsumeikan University, 1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577

Keishi OKABE, Ritsumeikan University

Eiji IKAWA, Ritsumeikan University

Key Words: Microstructure, Damage, Load, Collagen, Fascicle, Tail Tendon

1. 結 言

腱や靱帯は、おもにコラーゲン線維束、コラーゲン線維、原線維などから構成されている。このため、腱や靱帯の生体力学的研究を進めていくには、コラーゲン線維束やコラーゲン線維などの微細構成要素レベルでの構造と力学的性質に関する研究が必要となってくる。

我々の研究室では、マウス尾腱より摘出したコラーゲン線維束の微細構造を観察しながら引張試験を行い、線維束全体が破断する少し前から、コラーゲン線維が一本づつ破断し始めることを明らかにしている¹⁾。

そこで本研究では、コラーゲン線維の微細な破断により線維束の力学的性質がどのように変化するのかについて検討した。

2. 実 験

本実験には 4 週齢の雄の DD-y マウス(体重 $19.9 \pm 0.1\text{g}$ (Mean $\pm$ S.E.))を 5 匹用いた。エーテル吸入により屠殺した後、尾を胴体の付け根付近で切断した。尾の長軸方向に対して垂直にメスで 2 箇所切り込みを入れ、ピンセットを用いて長さ約 40mm の尾腱を摘出した。摘出した尾腱は、生理食塩水を滴下したスライドガラスに載せ、ピンセットにより数本のコラーゲン線維束に分けた。この線維束を中央で 2 分割し、近位側はそのまま引張試験を行った。一方、遠位側は負荷による損傷の過程を調べるために、近位側の線維束で得られた引張強度の 50, 75, 90% の負荷を作用させた後、除荷し、再び破断するまで引張試験を行った。なお、コラーゲン線維束の近位側と遠位側で力学的性質に有意差が無いことは確認されている²⁾。

引張試験装置の概略を Fig. 1 に示す。コラーゲン線維束の微細構造を観察しながら引張試験を行うために、微分干渉顕微鏡のステージ上で利用できる小型の試験装置を用いた。ステージ上の一端にロードセル(LTS-1KA, 共和電業)を、他端にリニアアクチュエーター(CM420-3C, オリエンタルモーター)を固定した。この両機器にアクリル製のチャックを取り付けた。コラーゲン線維束はシアノアクリレート系接着剤でチャックに固定し、スライドガラスとカバーガラスの間に生理食塩水と共に挟み込んだ。なお、チャック間距離は約 2 mm とし、これを

試料長さとした。断面積は、ビデオディメンションアナライザー(VDA, Percept scope C3160, 浜松ホトニクス)を用いて線維束の顕微鏡像を画像処理することにより直径を計測し、得られた値を円近似して求めた。引張試験中の微分干渉顕微鏡像は、CCD カメラ(PV10-CB, オリンパス)で撮影し、ビデオテープに録画した。

Fig. 1 Schematic diagram of micro tensile tester.

力学的性質は平均±標準誤差で表した。有意差検定には、負荷による力学的性質の影響を調べるために、負荷 0, 50, 75, 90%群で一元配置の分散分析を用いた。p<0.05 で有意差ありとした。

3. 結果と考察

近位側の引張強度に対する遠位側の引張強度の低下率を Fig. 2 に示す。作用させた負荷が引張強度の 75, 90%と増加するに従って引張強度は有意に低下した。

90%の負荷を作用させた後、完全に除荷したときのコラーゲン線維束の顕微鏡像を Fig. 3 に示す。引張強度が正常値の 49%に低下すると、コラーゲン線維の配列が乱れ、横方向の結びつきがなくなり、部分的に線維が破断している様子が見られた。

負荷 75%では、線維束の引張強度が正常値の 85%に低下した。負荷前に比べて負荷後では、線維束全体が伸びて弛んでいたもので、コラーゲン線維の微細な破断が起きて引張強度が低下したと考えられる。負荷後の顕微鏡像では、正常な組織に見られるクリンプパターンが消失していたが、コラーゲン線維レベルでの微細構造の変化を確認することはできなかった (Fig. 4)。今後は、さらに微細なレベルでの破断過程を明らかにしていく必要がある。

負荷 50%では、線維束の引張強度は低下しなかった。負荷後の顕微鏡像には、負荷前と同様なクリンプパターンが見られた (Fig. 5)。負荷 50%は、応力-ひずみ曲線において変曲点前までの直線性が高い範囲内 (弾性変形域内) であるので、微細なコラーゲン線維の破断が起こらず、引張強度が低下しなかったと考えられる。

Fig. 2 Change in the tensile strength by loading in distal fascicles.

Fig. 3 Microscopic image of the collagen fascicle loaded to 90% of tensile strength.

Fig. 4 Microscopic image of the collagen fascicle loaded to 75% of tensile strength.

Fig. 5 Microscopic image of the collagen fascicle loaded to 50% of tensile strength.

参考文献

- 1) 山本憲隆, 田中充 : マウス尾腱より摘出したコラーゲン線維束の微細構造と破断特性, 日本機械学会第13回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 52-53, 2001.
- 2) 井川英志, 山本憲隆 : マウスより摘出した尾腱とそのコラーゲン線維束の力学的関係, 日本機械学会第11回バイオエンジニアリング学術講演会・秋季セミナー講演論文集, 75-76, 2000.