

Title	腱由来コラーゲン線維束の力学的特性とリモデリングに関する研究
Author(s)	山本, 衛
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.11501/3144031
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	やまもと えい 山 本 衛
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 13917 号
学位授与年月日	平成10年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科物理系専攻
学位論文名	腱由来コラーゲン線維束の力学的特性とリモデリングに関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 林 紘三郎 (副査) 教授 荒木 勉 教授 田中 正夫

論 文 内 容 の 要 旨

腱・靭帯におけるリモデリング（再構築）のメカニズムを解明するために、腱・靭帯の微細構成要素であるコラーゲン線維束（直径約300 μ m）を対象として、その力学的特性及びリモデリングについて調べた。

まず、コラーゲン線維束用の力学試験装置を製作するとともに、これを使って、成熟家兎膝蓋腱より摘出したコラーゲン線維束の力学的特性及び粘弾性特性を調べた。これにより、線維束の力学的特性は膝蓋腱内の部位間で差がないこと、ひずみ速度に対する感受性が比較的小さいことが明らかになった。また膝蓋腱の力学的特性や応力緩和現象と比較すると、線維束の引張強度、接線係数、及び応力緩和は膝蓋腱よりも小さかった。この相違の原因としては、線維束間の力学的相互作用や線維間マトリックスの影響が考えられた。

また、ストレスシールドの手法を用いて作用する負荷を取り除いた膝蓋腱より摘出したコラーゲン線維束の力学的特性を調べた結果、除荷によって引張強度や接線係数は低下するものの、その変化は膝蓋腱の力学的特性の変化に比べて小さいものであった。凍結処理によって細胞を壊死させた後に、除荷した膝蓋腱の線維束についても、同様の結果が得られた。これより、除荷に対する腱のリモデリングにおいては、微細構造であるコラーゲン線維束自体の力学的特性の変化だけでなく、線維間マトリックスの変化や、摩擦力等の線維束間の力学的相互作用が関係していることが示唆された。特に細胞が存在しない場合に、膝蓋腱の強度低下に比べて、コラーゲン線維束の強度低下が小さかったことより、細胞によるコラーゲン線維の合成・分解のみならず、プロテオグリカン等のマトリックスの変化が、膝蓋腱の強度変化に大きな影響を及ぼすものと考えられた。

また、生体外での培養実験により、コラーゲン線維束の力学的特性に及ぼす細胞の有無の影響、及び静的並びに動的負荷の影響を検討した。これより、生体内と同様に、線維束が生体外の培養装置の中でもリモデリングを起こすこと、及び線維束の強度維持にはやはり細胞の存在が必要であること、及び最適な負荷応力が存在することが明らかになった。

以上のことより、腱・靭帯のリモデリングにおいては、微細構成要素であるコラーゲン線維束の力学特性が変化するだけでなく、線維束間の力学的相互作用や線維間マトリックスの変化が重要な役割を担うことが明らかになった。また、生体外の培養実験においても、コラーゲン線維束の力学的特性が力学的環境の変化に対して機能的に適応することが明らかになった。

論文審査の結果の要旨

腱・靭帯は負荷に反応してその寸法と性質を変え、再構築（リモデリング）することが知られるようになってきた。本論文では、この現象をより詳細に検討するために、家兎膝蓋腱の主要構成要素である直径約300 μ mのコラーゲン線維束を対象として、その力学的特性とリモデリングについて調べた結果について述べている。

まず、コラーゲン線維束の力学的性質を正確に求めるための小型引張試験装置を設計、製作し、これを用いて同線維束の引張特性並びに粘弾性特性を調べている。その結果、引張特性は膝蓋腱内の位置には依存しないうえに、ひずみ速度に対する感受性も小さいこと、また膝蓋腱そのものに比較して、線維束の引張強度、接線係数、及び応力緩和は小さいことを明らかにしている。次に、生体内で張力を作用させない操作を施した膝蓋腱から摘出したコラーゲン線維束の力学的性質を調べた結果、除荷により引張強度や接線係数は低下するが、その変化は膝蓋腱そのもので観察される変化に比べてかなり小さいものであることを明らかにしている。

さらに、生体外培養実験で、コラーゲン線維束の力学的特性に及ぼす静的及び繰り返し負荷の影響を検討した結果、上述の生体内実験の場合と同様に線維束がリモデリングを起こし、機能的に適応すること、及び線維束の強度維持には最適な負荷応力が存在することを明らかにしている。

以上のように、本論文は生体工学、とくにバイオメカニクスの手法を用いることによって、マクロとミクロの両面から腱・靭帯のリモデリングに関する重要な知見を得ており、これらの結果は整形外科やリハビリテーション医学に役立つのみならず、機能性材料や最適構造設計法の開発等に手がかりを与えるものであり、博士（工学）論文として価値のあるものと認める。