

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 石垣智恒

最近スポーツ人口の増加に伴い、使い過ぎによるスポーツ障害が増加しつつある。特に、アキレス腱炎や膝蓋腱炎などは、競技力向上を目指すトップアスリートのみならず、健康増進を目的とした運動を実践する一般人においても、克服すべき課題と言える。腱炎に対してはさまざまな治療法が試みられているが、好ましい結果が得られていないのが現状である。一方、この 10 数年の間にリハビリテーションとしての伸張性収縮を含む運動により、良好な治療成績が得られたとする報告が多数みられている (e.g., Alfredson et al. 1998)。しかし、腱炎を有する患者に対するリハビリテーションの具体的なプロトコル内容に関する検討は、ほとんど行われていないのが現状である。本博士論文は、腱炎の治療に最適な伸張性収縮運動のプロトコルの確立を目指して、これまでにヒト生体の腱で測定法が確立されていないコラーゲン線維配向（並び方）の定量法を確立し、この手法と既存の力学的特性および血液循環の測定法を組み合わせ、伸張性収縮運動の負荷、回数、および実施頻度が腱特性に及ぼす一過性および慢性の影響を検証したものである。

本論文は以下に示す 3 つの実験結果をまとめたものであり、第 1 章は「研究目的」および「研究小史」、第 2 章は「ヒト生体における腱コラーゲン線維配向の定量方法の確立（実験 1）」、第 3 章は「負荷の異なる伸張性収縮運動が腱の血液循環およびコラーゲン線維配向に及ぼす一過性効果（実験 2）」、第 4 章は「実施頻度の異なる伸張性トレーニングが腱の血液循環、コラーゲン線維配向、および力学的特性に及ぼす慢性効果（実験 3）」、第 5 章は「総括論議」、第 6 章は「結語」、の全 6 章で構成されている。

実験 1（第 2 章）では、アキレス腱の超音波横断画像の輝度のばらつきから、ヒト生体における腱のコラーゲン線維配向（並び方）を定量できるか否かを検証した。輝度のばらつきは、輝度の標準偏差を平均値で除した値をパーセント化することで変動係数から評価した。多くの先行研究でアキレス腱の伸張が認められている、足関節を他動的に背屈させる課題（角度課題）と最大随意収縮（MVC）の 0% から 70% MVC までの等尺性足底屈運動をさせる課題（筋収縮課題）で検討を行った。その結果、角度課題では足関節が背屈するにしたがい、筋収縮課題では強度が上がるにしたがい、輝度変動係数は有意に減少した。さらに、角度課題ではより背屈位で、筋収縮課題ではより低強度で、輝度変動係数の変化が顕著であった。これらの結果は、他動的背屈で先に筋が伸張し後半に腱が伸張され、低強度閾ではコラーゲン線維の縮み（crimp）が引き伸ばされ伸張の程度が顕著になることと合致していると言える。すなわち、本実験で用いた腱の超音波横断画像の輝度変動係数から、ヒト生体における腱のコラーゲン線維配向が定

量できることが示唆された。

実験 2（第 3 章）では、アキレス腱炎に対し良好な治療成績が認められている多くの先行研究で採用されている低負荷・高回数条件による伸張性運動と、筋力増加や筋肥大に効果が認められている高負荷・低回数条件による伸張性運動について、腱の血液循環およびコラーゲン線維配向に及ぼす一過性効果を比較した。これまでの先行研究では、後者の高負荷・低回数条件による 12 週間の伸張性トレーニングで腱の血液循環が変化しないことが示されている（Kubo and Yata 2017 Sports Med Int Open）。一方、多くの先行研究では低負荷・高回数条件で良好な治療成績が報告されているため、低負荷・高回数条件の方が腱炎の治癒に関与すると思われる腱の血液循環やコラーゲン線維配向の変化が顕著になると予想された。結果は、両条件ともに伸張性収縮の繰り返しにより腱の血液循環が高まり輝度変動係数が減少（コラーゲン線維の再配向）したが、両条件間に差異は認められなかった。したがって、腱炎患者の安全面を考慮すると、低負荷・高回数の運動プロトコルが推奨されるかもしれない。

実験 3（第 4 章）では、実験 2 で推奨された低負荷・高回数プロトコルで、週あたりの実施頻度の違い（週に 3 回、週に 6 回）が、腱特性（血液循環、コラーゲン線維配向、力学的特性）に及ぼす 12 週間の慢性効果を比較した。アキレス腱炎に対し良好な治療成績が認められている多くの先行研究では伸張性トレーニングを毎日実施しているが、トレーニング後に十分な回復期間を設けた（つまり実施頻度を少なくする）方が、腱特性の変化が顕著になると予想した。その結果、両条件ともに、腱の血液循環は高まり、輝度変動係数が減少（コラーゲン線維の再配向）し、腱スティッフネスには変化がみられなかった。しかし、これらの変化に実施頻度の影響は認められなかった。したがって、週に 3 回の実施頻度でも腱特性を変化させ、治療効果が得られる可能性が示唆された。

以上 3 つの実験結果より本論文では、腱の超音波横断画像の輝度変動係数からヒト生体における腱のコラーゲン線維配向を定量する手法を確立し、腱炎患者に対し良好な治療効果が認められている伸張性収縮を含む運動において、患者の安全面や負担を考慮して低負荷・高回数条件で週 3 回実施するプロトコルを推奨している。

審査会では、個々の実験は適切に実施されているが、すべての実験で健常者を対象としており腱炎患者ではないことから、総括論議での論調に修正を要する点が指摘された。一方、ヒト生体における腱コラーゲン線維配向の定量法を確立した点は新規性が高く、今後の研究の展開が多いに期待されるものであり、博士論文に値するものであることが全会一致で承認された。

したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。