

氏名・本籍	積山 和加子 (熊本県)
学位の種類	博士 (生命システム科学)
学位記番号	博甲 第27号
学位授与の日付	平成27年3月20日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 (課程博士)
学位論文題目	低負荷インターバル運動による骨格筋の筋肥大と 筋力増強に関する研究
学位論文審査委員	主査 教授 沖 貞明 副査 教授 堀内 俊孝 教授 小野 武也 教授 原田 俊英

## 学位論文の要旨

### 第1章 諸言

骨格筋の筋肥大や筋力増強を図るためには、短時間であっても最大筋力の60から70%以上の高負荷での運動が必要とされている。しかし、高齢者や内部障害者に対しては高負荷では循環器系に関する安全面に問題があり、低負荷での運動方法の開発が必要である。従来から骨格筋の遠心性収縮を伴った運動は筋肥大・筋力増強効果が高いと報告されているが、高負荷で行われた研究しか報告されていない。そこで本研究では、低負荷でも遠心性収縮運動を長時間負荷することで筋肥大が可能かについてラットによる実験的検証を行った。次に、運動の合間に休息を挟むインターバル形式でも同様の筋肥大効果、さらには筋力増強効果が認められるかについても実験的検証を行った。最終的には、ヒトにおいても安全に実施できる運動方法を構築し、低負荷インターバル運動による骨格筋の筋肥大・筋力増強効果について検証した。

### 第2章 ラットにおける低負荷運動の検討

本研究で用いるラットのヒラメ筋に対する遠心性収縮運動が、筋活動および運動耐容能の面から低負荷であるか、さらに筋に与える影響を検討した。ヒラメ筋に遠心性収縮を負荷させる方法は、先行研究を参考にトレッドミル下り坂走行を用いた。まず実験1では下り坂走行時の筋活動を評価した。ヒラメ筋に電極を留置し、下り坂走行と通常運動負荷にあたる平地走行の筋活動を測定した。その結果、下り坂走行は平地走行に比べ筋活動が少なく、低負荷な運動であることが確認できた。次に実験2では、運動耐容能の面から低負荷であることを検証するための評価方法を構築した。運動耐容能の評価は、運動中の血中乳酸濃度を測定して求める乳酸性作業閾値(LT)を用いた。外頸静脈にカテーテルを留置することにより、運動中に連続した血中乳酸濃度を測定することができ、ラットにおける

運動耐容能の評価方法が構築できた。実験3では、実験2で構築した運動耐容能の評価方法を用い、下り坂走行における運動耐容能を評価した。下り坂走行と平地走行にて運動負荷試験を行い、LTを求めた。その結果、下り坂走行は運動耐容能の面からも低負荷であることを確認した。実験4では、下り坂走行が骨格筋に与える影響を検討した。実験3の結果をもとに下り坂走行と平地走行をLTの50から60%の走行速度で90分間負荷し、走行直後と1日後、2日後に採血を行い、生化学的評価として血清クレアチンキナーゼ(CK)値を測定した。下り坂走行群において2日後の血清CK値が有意に上昇した。この結果から長時間の低負荷な遠心性収縮運動が、筋肥大に繋がる筋再生過程における初期の損傷を引き起こすことが確認できた。

### 第3章 ラットにおける低負荷インターバル運動による骨格筋の筋肥大と筋力増強

実験5では、実験4で用いた下り坂走行と平地走行を3日に1回、計20回行い、筋肥大効果を比較検討した。筋湿重量および筋線維径ともに下り坂走行群が有意に増加した。この結果から遠心性収縮を用いた低負荷運動における筋肥大効果を確認することができた。次に実験6では、骨格筋の遠心性収縮を用いた低負荷運動において、運動の合間に休息を挟むインターバル形式の運動であっても、連続運動と同程度の筋肥大効果を認めるのか、さらに筋力増強効果もあるかについて検証した。実験5で用いた下り坂連続走行と新たに設定した下り坂インターバル走行を3日に1回、計20回行い、筋肥大と筋力増強効果を比較検討した。下り坂インターバル走行群は下り坂連続走行群と同程度の筋湿重量、筋線維径および強縮張力の増加を示した。この結果から低負荷インターバル運動は、連続運動と同程度の筋肥大効果および筋力増強効果があることを確認した。

### 第4章 ヒトにおける低負荷インターバル運動による骨格筋の筋肥大と筋力増強

ラットの実験では下り坂走行を用いたが、ヒトに応用する場合は転倒の危険性がある。そこで、電動アシスト機能により受動的に足関節底背屈運動が行える機器を用い、健常成人を対象として検討した。実験7では、筋活動の面から遠心性収縮運動を認め、かつ低負荷であるかについて検証を行った。ヒラメ筋の表面筋電図を測定した結果、立位条件において遠心性収縮相の筋活動が可能であることが確認でき、また低負荷であることを確認した。実験8では、呼気ガス分析を用いた酸素摂取量の測定を行った。その結果、運動耐容能の評価においても通常歩行よりも低負荷な運動であることを確認した。最後に実験9にてこの運動をインターバル形式で週に3回、計20回行った。運動前に比べヒラメ筋の筋厚および最大筋力が有意に増加した。この結果から、ヒトにおける遠心性収縮を用いた低負荷インターバル運動によって骨格筋の筋肥大および筋力増強が可能であることが示された。

### 第5章 総括

本研究はこれまで骨格筋の筋肥大や筋力増強が起きないとされてきた低負荷運動において、長時間の遠心性収縮運動を行うことにより筋肥大と筋力増強が可能であること、さらには運動の合間に休息を取り入れたインターバル形式で運動を行っても同様の効果があるという新知見を明らかにした。

## 審査の結果の要旨

本研究は、骨格筋の筋肥大や筋力増強を得るための低負荷な運動方法を構築することを目的としてラット及びヒトで実験的研究を行い、低負荷な遠心性収縮運動を用いたインターバル形式による新たな運動方法を開発した。

本論文は5章から構成される。第1章は緒言で、本研究の背景と目的を要約した。第2章では本研究で用いるラットのヒラメ筋に対する遠心性収縮運動が、筋活動および運動耐容能の面から低負荷であるか、さらに筋に与える影響を検討した。運動方法はトレッドミル下り坂走行を用いた遠心性収縮運動を採用した。筋活動と運動耐容能の結果から、下り坂走行は平地走行よりも低負荷と確認できた。下り坂走行と平地走行を乳酸性作業閾値の50~60%の走行速度で90分間負荷したところ、下り坂走行の群で血清クレアチンキナーゼ値が上昇し、筋肥大に繋がる筋再生過程における初期の筋損傷を引き起こすことが確認できた。第3章では第2章の結果をもとに、遠心性収縮を用いた低負荷インターバル運動による骨格筋の筋肥大および筋力増強効果を検討した。第2章で得られた条件で下り坂連続走行と平地連続走行を3日に1回、計20回行ったところ、下り坂連続走行の群において筋肥大効果を確認できた。さらに、運動の合間に休息を取り入れる下り坂インターバル走行を同様の条件で行い、下り坂連続走行の群と同程度の筋肥大および筋力増強効果を確認した。第4章ではヒトを対象として、遠心性収縮を用いた低負荷インターバル運動による骨格筋の筋肥大と筋力増強を検討した。ヒラメ筋の遠心性収縮が得られる足関節底背屈運動が行える機器を用いた。筋活動と運動耐容能の結果から、低負荷と確認できた。この運動を90分間のインターバル形式で週に3回、計20回行い、筋肥大と筋力増強効果が示された。第5章は総括とした。

本研究は、筋肥大や筋力増強が起きないとされてきた低負荷運動でも、長時間の遠心性収縮運動を用いることにより筋肥大と筋力増強が可能で、インターバル形式でも同様の効果があるという新知見を明らかにした。これらの新知見は、保健・医療・福祉分野からスポーツ分野のみならず幅広い生命科学分野に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（生命システム科学）の学位に値するものと認められる。