

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500531
 研究課題名（和文） 反復した高強度の伸張－短縮サイクル運動中の疲労進行のメカニズム
 研究課題名（英文） Neuromuscular fatigue mechanisms during exhausting stretch-shortening cycle exercise.
 研究代表者
 堀田 朋基（HORITA TOMOKI）
 富山大学・人間発達科学部・教授
 研究者番号：30173644

研究成果の概要：

高強度のジャンプ運動を連続して行くと、運動中に筋活動や動作が変容しパフォーマンスを維持しようと努めることが明らかとなった。さらに疲労運動中の変化の度合いがその後のパフォーマンスの減少や筋損傷の度合いと密接に結びついていた。したがって運動中の疲労の度合いが中枢神経系にも影響を及ぼし、ジャンプ動作を変容させパフォーマンスに影響を及ぼした事が明らかとなった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学

キーワード：スポーツ工学とバイオメカニクス

1. 研究開始当初の背景

伸張－短縮サイクル運動の疲労のメカニズムについては、これまで本研究の研究代表者（堀田）が高強度の伸張－短縮サイクル運動後、2日後に筋損傷及び筋肉痛がピークをむかえ4日後も依然として完全には回復しないことを報告した（Horita et al., 1996）。さらに、遅発性の筋損傷及び筋肉痛が抑制効果を引き起こし、伸張－短縮サイクルの動作前のプリプログラミングに影響を及ぼしている事（Horita et al., 1999）及び伸張－短縮サイクル運動による疲労は短縮性収縮のパフォーマンスには一過性の疲労の影響し

か及ぼさない事を明らかにした（堀田 2000）。同様に長時間の伸張－短縮サイクル運動後（マラソン）においても筋損傷が生じ伸張－短縮サイクルのパフォーマンスおよび脊髄の興奮レベルが低下する事などが報告されている（Avela et al., 1999）。しかしながら、伸張－短縮サイクル運動中の疲労の進行パターンについては報告が無く、本研究により運動後の遅発性の筋損傷及びパフォーマンスの低下を引き起こす引きがねとなる伸張－短縮サイクル運動中の疲労のメカニズムが明らかとなり、両者の因果関係を明らかにする事ができる。

2. 研究の目的

跳躍やランニングで見られる筋の収縮様式すなわち、伸張-短縮サイクル運動を反復して繰り返した際の疲労進行のメカニズムを、運動中の動作パターン、関節の働きおよび筋活動を考慮して運動制御の観点から明らかにする。次に人体を簡単にモデル化し、反復運動中における運動制御パターンの変化がモデルの力学的パラメータに及ぼす影響について調べ、パフォーマンスを保つために制御パターンがどのように変化し、それが力学的変数にどのような影響を及ぼしているのか、さらには運動後の遅発性の筋損傷との因果関係を明らかにする。

3. 研究の方法

19年度は反復した高強度の伸張-短縮サイクル運動中の身体の応答パターンについて実験を行う。

実験手順

- ・最大下の伸張-短縮サイクルによる跳躍運動を疲労困憊に至るまで約3分間続ける(疲労運動)
- ・疲労運動の前後で伸張-短縮サイクルによる跳躍テストを実施する
- ・運動後2日後および4日後に同様の跳躍テストを行う
- ・筋損傷および筋肉痛は、血液分析と被験者の主観的感覚で評価する
- ・疲労運動中及び跳躍テスト中の動作を着地動作前も含めて高速度ビデオカメラで撮影する
- ・同時に下肢の筋群から筋電図を導出記録する

分析

- ・跳躍運動の動作分析を行い、リンクセグメントモデルを用いて下肢関節モーメントを計算し、関節での power、貢献度及び stiffness を求める
- ・筋電図を整流し、積分する

下肢関節のメカニカルなパラメータと筋電図の結果を照らし合わせながら、反復した高強度の伸張-短縮サイクル運動中の身体の運動制御パターンについて、特に跳躍動作の着地前と着地後の関係を重点的に考察する。20年度は人体のモデルを構築し、モデルの妥当性を確認しながらモデルの力学的パラメータと運動制御パターンとの関係さらには運動後の筋損傷及びパフォーマンスとの因果関係について探る。

実験手順

- ・最大下の伸張-短縮サイクルによる跳躍運動を疲労困憊に至るまで約3分間続ける(疲労運動)
- ・疲労運動の前後で伸張-短縮サイクルによる跳躍テストを実施する
- ・運動後2日後および4日後に同様の跳躍テ

ストを行う

- ・筋損傷および筋肉痛は、血液分析と被験者の主観的感覚で評価する
- ・疲労運動中及び跳躍テスト中の動作を着地動作前も含めて高速度ビデオカメラで撮影する
- ・同時に下肢の筋群から筋電図を導出記録する

分析

- ・人体をモデル化し、シミュレーションを用いてモデルの妥当性を検討する
- ・モデルを用いて力学的パラメータ(弾性、粘性)を算出する
- ・過年度の結果も含めて、伸張-短縮サイクル運動中の身体の応答パターンとその後のパフォーマンス及び筋損傷との因果関係を探る。

4. 研究成果

19年度は繰り返しドロップジャンプ中の動作の適応パターンについて調べた。

男子体育専攻学生を被験者とし、100回の繰り返しドロップジャンプを行い、疲労の進行と共にジャンプ動作がどのように変化していくのか調べた。

分析の結果、疲労が蓄積してくる終盤になると力曲線が小さくなり、特にジャンプ動作の開始期での力の減少が大きかった。一方ジャンプ動作時間は増加しており、被験者は力の減少を動作時間を延長することで補償し、ジャンプ高を保とうとしていることが明らかとなった(図1)。

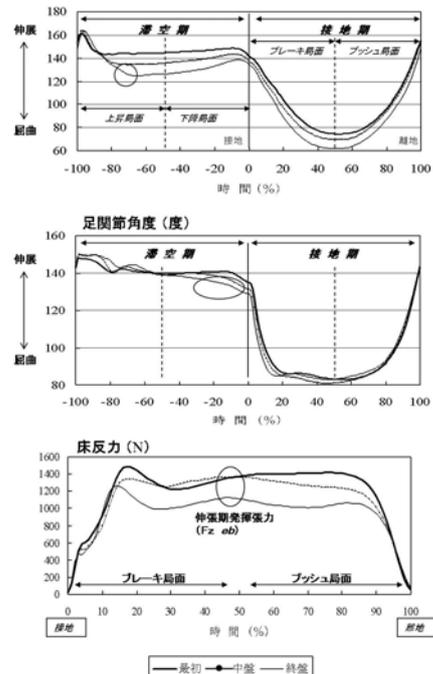


図1 繰り返しジャンプ中の最初、中盤、および終盤における膝関節角度、足関節角度および床反力の平均化曲線

次にジャンプ動作中の下肢関節角度の変化を調べた。膝関節角度はジャンプ動作前（空中）および動作中（接地）において終盤になると変化した。一方足関節角度はジャンプ動作前（空中）において終盤になると変化した。これらの事から疲労が蓄積してくると動作前の準備動作が影響を受けその後のジャンプ動作に影響を及ぼすという重要な知見が得られた（図2）。

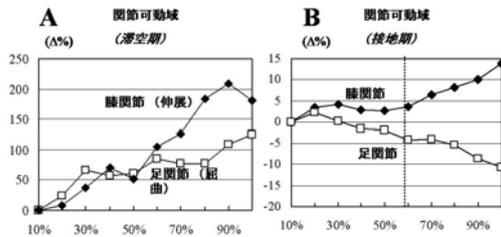


図2 繰り返しジャンプ中のジャンプの累積に伴う滞空期 (A) と接地期 (B) における関節可動域

また下肢筋群の筋電図を分析したところ、終盤で疲労が蓄積してくると筋放電の放電するタイミングがジャンプ動作の後半にシフトし、筋の作用機序が変化することがわかった（図3）。

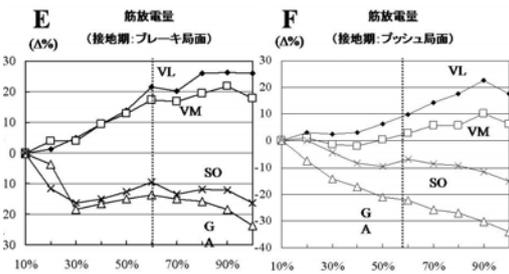


図3 繰り返しジャンプ中のジャンプの累積に伴う筋放電量の変化

このようにジャンプを繰り返すと、発揮するパフォーマンスは同じであっても筋や関節の働き方は変化しており、疲労の状態に併せて動作を補償していることが示唆された。

20年度は人体のモデル（図4）を構築し、モデルの妥当性を検証しながらモデルの力学的パラメータと運動制御パターンとの関係、さらには運動後の筋損傷及びパフォーマンスとの因果関係について調べた。

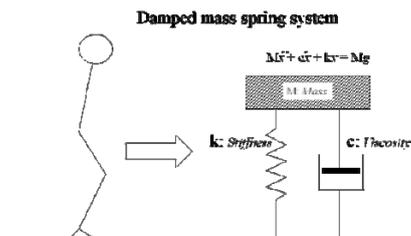


図4 下肢筋群のモデル

男子体育専攻学生を被験者とし、100回の繰り返しドロップジャンプを行い、疲労の進行と共にモデルの力学的パラメータがどのように変化してくるのか分析を行った。

分析の結果、疲労が蓄積してくると下肢筋の弾性パラメータが減少し、粘性パラメータが増加した（図5）。

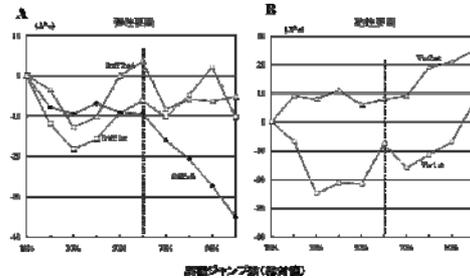


図5 繰り返しジャンプ中のジャンプの累積に伴う弾性要素と粘性要素の変化

また弾性パラメータの減少と動作時間の増加との間に相関が見られ、疲労の進行に伴う動作時間の増加には筋の弾性要素の減衰が関係していることが明らかとなった（図6）。

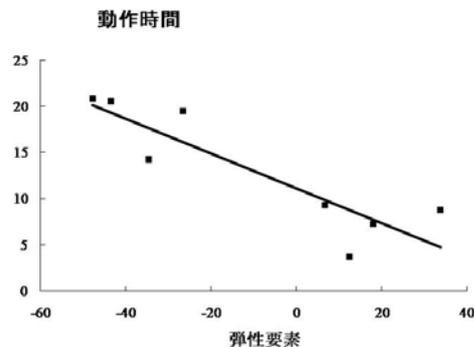


図6 弾性要素の変化と動作時間の変化との関係

さらに、弾性パラメータの減少と粘性パラメータの増加との間に関係があったことから（図7）、この二つの相反する要素が疲労の進行に深く関わっていることが示唆された。

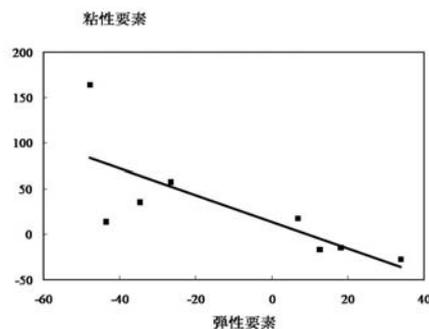


図7 弾性要素と粘性要素の関係

次に遅発性筋損傷を示す血液中のマーカーを調べたところ2日後に増加しており、遅発性の筋損傷を引き起こしていることが明らかとなった。運動中の粘性パラメータの増加と血中マーカーの増加との間に相関が見られたので運動中の筋損傷が筋の粘性に影響を及ぼしている事が示唆された(図8)。

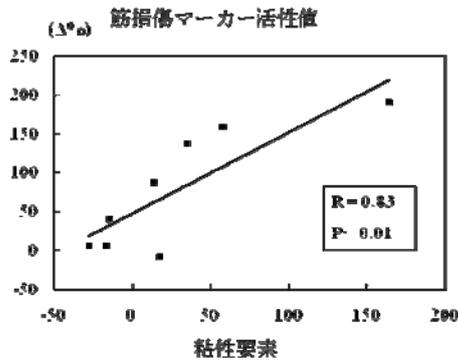


図8 粘性要素の変化と筋損傷マーカー活性値の変化との関係

以上のことから、高強度の伸張-短縮サイクル運動を行うと、運動中に筋活動や関節の動作が変容しパフォーマンスを維持しようと努めることが明らかとなった。さらに疲労運動中の変化の度合いがその後のパフォーマンスの減少や筋損傷の度合いと密接に結びついていた。したがって運動中の疲労の度合いが中枢神経系にも影響を及ぼし、ジャンプ動作を変容させパフォーマンスに影響を及ぼした事が考えられた(図9)。

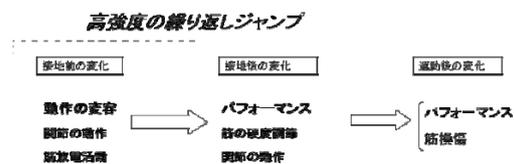


図9 高強度の繰り返しジャンプ中の変化と運動後の変化との関係

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀田朋基

富山大学・人間発達科学部・教授

研究者番号：30173644

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者