

反動動作によるパフォーマンス増強効果の個人差を決定する要因 —筋腱複合体の Stretch-shortening cycle に着目して—

Factors influencing on individual difference of performance potentiation in counter movement — Focusing Stretch-shortening cycle of muscle-tendon unit —

身体科学研究領域

5006A060-7 平山邦明

研究指導教員:

川上泰雄教授

第1章 緒言

反動動作を伴う運動では、筋腱複合体(MTU)の Stretch-Shortening Cycle(SSC)により、発揮される機械的仕事量が増強される(反動効果)。

これまで、MTU における弾性エネルギーの貢献が反動効果の個人差の要因の 1 つであることが指摘されてきた。弾性エネルギーの蓄積には、筋の力発揮能力、腱組織のスティフネス、反動動作中の筋束および腱組織の振る舞いなどが関係していると考えられる。本研究では、これらの項目について反動効果との関連性を明らかにし、反動効果の個人差に影響を与える要因について検討することを目的とした。

第2章 力発揮能力と反動効果の関係

【目的】

筋の力発揮能力が反動効果に与える影響について、種々の力発揮能力指標を比較し、検討することを目的とした。

【方法】

被験者は健康な男性 14 名とした。力発揮能力指標として、静的最大随意トルク(sTQ)、動的最大随意トルク(190 度/秒:Dyn-190、300 度/秒:Dyn-300)、静的トルクの立ち上がり速度(トルク微分最大値:RTD-max)ならびに 40m 秒・200m 秒までのトルク微分値[RTD]および積分値[TTI])を測定した。さらに、足関節による反動なしの跳躍(no-CMJ)および反動ありの跳躍(CMJ)における足関節底屈の機械的仕事量指標を求め、その差を反動効果(ΔW)とした。

【結果および考察(表 1)】

- 重回帰分析の結果、 ΔW の説明変数として RTD-max が選択された。CMJ 反動動作の減速局面に要す時間は非常に短いため、腱組織に多くの弾性エネルギーを蓄積するには、短時間に力を立ち上げる能力が重要であることが示唆されたものの、その寄与率は 30%にしか過ぎず、他の要因の関与が示唆された。
- CMJ に比べ、no-CMJ は力発揮能力との関連性が低かった。no-CMJ は筋活動が低い状態から運動を行うため、筋活動レベルの影響が大きかった可能性がある。

表1 力発揮能力指標と足関節底屈機械的仕事量指標の相関係数

* : $p < 0.05$

† : 重回帰分析によって選択された説明変数

	no-CMJ	CMJ	Δ
sTQ	0.35	0.53	0.37
sTQ/体重	0.40	0.34	0.15
Dyn-190	0.45	0.68 *†	0.48
Dyn-300	0.45	0.65 *	0.45
RTD-max	0.30	0.67 *	0.55 *†
RTD-40	0.32	-0.05	-0.22
RTD-200	0.39	0.65 *	0.47
TTI-40	0.30	-0.11	-0.27
TTI-200	0.41	0.49	0.30

第3章 反動動作中の筋腱複合体の振る舞いと腱組織の粘弾性が反動効果に与える影響

【目的】

反動動作中の筋束および腱組織の振る舞い、腱組織のスティフネスが反動効果の個人差に与える影響について検討することを目的とした。

【方法】

被験者は健康な男性 12 名とした。足関節による no-CMJ および CMJ 中の腓腹筋内側頭(MG)の筋束動態を超音波法を用いて撮像し、筋束長および羽状角を求めた。床反力から、腱組織張力および筋束張力を算出しに、筋束、腱組織、MTU の機械的仕事量(W-muscle、W-tendon、W-MTU)を伸張局面および短縮局面それぞれについて算出した。それぞれの短縮局面の機械的仕事量について、no-CMJ と CMJ の差(ΔW)を求め、 ΔW -MTU を反動効果とした。また、静的トルク発揮中の MG 筋束と腱膜の交点の移動から腱組織のスティフネスを求めた。

【結果および考察】

- ΔW -MTU は、 ΔW -tendon と正の相関関係($r=0.71$)があったことから、反動効果の個人差は弾性エネルギーの増加量の個人差に影響されることが示唆された。

[2] ΔW -MTU の大きかった被験者 (GOOD 群) では、伸張局面で蓄積されたエネルギーよりも多くのエネルギーを短縮局面で解放していた。この現象は力学的に説明することが不可能であることから、筋束からのエネルギーの移動が起こっていたものと推察された。さらに、その程度は ΔW -tendon と正の相関関係があり ($r=0.84$)、反動効果の個人差メカニズムの 1 つとなっている可能性が示された。

[3] GOOD 群においては、MTU 伸張局面における筋束の等尺性収縮が長く、MTU 短縮初期に筋束の短縮速度が遅い様子が観察された。つまり、GOOD 群は腱組織の反跳を利用し、筋束は力発揮に有利な状態を維持していたと考えられる。その際筋束からのエネルギーの移動が生じることで、腱組織の反跳はより効果的にはたらいていた可能性がある。

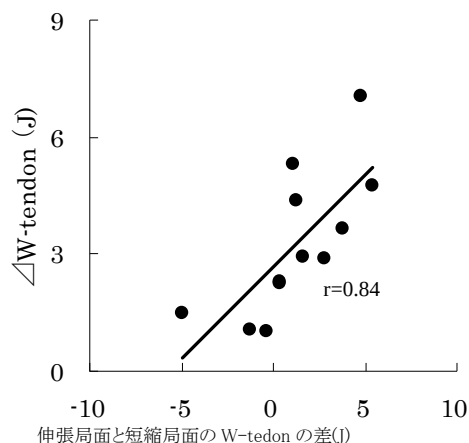


図 1 伸張局面と短縮局面の腱組織の機械的仕事量と、反動動作による腱組織機械的仕事の増加量の関係

第 4 章 総括論議

第 2 章において力の立ち上がり速度が反動効果に影響 (正) を与えることが示唆され、第 3 章では実際に GOOD 群は、 ΔW -MTU の小さかった POOR 群に比べ、筋束および腱組織の最大張力が高いことが示された。両群に静的トルク発揮中の腱組織スティフネスに差がないにもかかわらず、腱組織の伸張には差がなかった。これは、腱組織スティフネスが筋活動の影響を受け変化すること (Huijing & Ettema 1988-89) によるものであると推察され、反動動作中の腱組織の振る舞いが筋束の振る舞いに影響されることを示唆している。

以上の結果、反動効果の個人差には筋束および腱組織の振る舞いの個人差が与える影響が大きいことが示唆された。

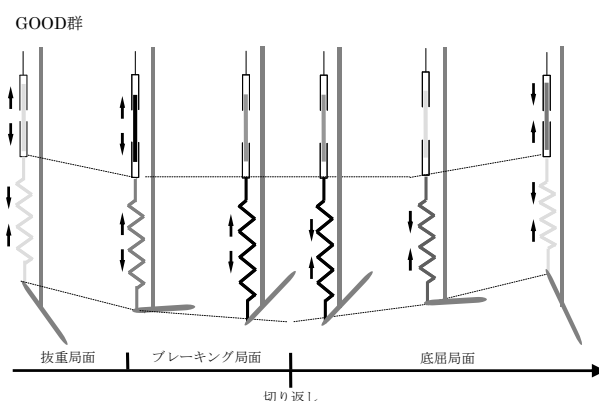


図2 GOOD 群における CMJ 中の MG MTU のモデル足関節角度変化と、その際の筋束および腱組織の長さおよびエネルギー量の経時変化 (動作開始から離地まで) を表している。直線は筋束を表し、折れ線は腱組織を示している。また、各線の色はエネルギー量を表している (濃いほどエネルギーが大きいことを表す)。