

伸張-短縮サイクル利用による上肢の筋パワー発揮特性

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/26886

氏 名	宮口 和義
学 位 の 種 類	博士（学術）
学 位 記 番 号	博甲第1037号
学位授与の日付	平成20年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	伸張－短縮サイクル利用による上肢の筋パワー発揮特性
論文審査委員（主査）	出村 慎一（教育学部・教授）
論文審査委員（副査）	矢倉 公隆（教育学部・教授），寺沢 なお子（教育学部・准教授）， 増田 和実（教育学部・准教授），山次 俊介（福井大学・准教授）

Abstract

The purpose of this study was to examine the properties of muscle power output by the upper limb using stretch-shortening cycle (SSC). Sixty-three male and twenty-one female athletes participated in this study. Each participant pulled up a constant light load by ballistic elbow flexion under the following two preliminary conditions: 1) the static relaxed muscle state (SR condition) and 2) using the SSC with counter-movement (SSC condition). Muscle power was determined from the product of the pulling velocity and the load mass by a power measurement instrument using the weight loading method.

It was suggested that the use of SSC may contribute significantly to early explosive power output during concentric contraction. Hence, assuming that a difference between initial muscle power outputs of the SR and SSC conditions reflects a difference in SSC ability, an SSC index was devised to evaluate the above ability. The SSC index showed significantly higher values in male than in female. In addition, the non-dominant limb showed higher values than the dominant limb. It was suggested that one-repetition maximum bench press is associated with initial power in the SSC condition, ; however, the contribution of the eccentric maximum strength to the SSC potentiation may be low.

I. 序 論

反動動作の利用により、動作をより強く、より速く行えることは、日常動作やスポーツ動作でしばしば経験する。具体的には、ジャンプする際に一旦しゃがみ込んだり、投球する際に投球腕を後方へ引いたりする動作などが挙げられる。このように筋が短縮する前に伸張する動作様式を伸張－短縮サイクル(stretch-shortening cycle: SSC)と呼んでいる。

競技選手にとって、筋力強化の最終的な目標は競技成績の向上であり、筋力トレーニングは、競技中の主動作に関与する筋群の強化が主体となる。よって、実際の競技動作に関連する出力、特に SSC を活用し素早くかつ爆発的に筋力を発揮しうる能力である筋パワーを適切に測定・評価することが必要と考えられる。しかしながら、これまで筋機能は、等尺性、短縮性、および等速性の単一の筋収縮様式時の筋力発揮を測定・評価することがほとんどで、反動動作を用いることは禁忌とされてきた。よって、競技選手が持つ本来の筋機能を十分に評価できなかった可能性がある。

近年、下肢のジャンプ動作（ドロップジャンプ）を用いて SSC を効果的に利用する能力（SSC 遂行能力）が評価されるようになったが、上肢の SSC 利用に関する研究は極めて少なく、SSC 増強効果に関しても未だ十分確認されていない。しかし、「投げる」「打つ」等、上肢により筋パワーを発揮する動作においても SSC は頻繁に利用される。よって、競技成績との関係で筋機能を評価する場合、上肢においてもその特性を踏まえ、SSC 遂行能力を適切に評価する必要があると考えられる。

一方、これまで、SSC 遂行能力の性差に関しては、主に下肢を利用して検討され、上肢に関してはほとんど検討されていない。また、先行研究の多くは、片腕、もしくは両腕同時で測定されており、SSC 遂行能力の左右差や一側優位性に関してはほとんど検討されなかった。さらに、SSC の効率を決定する要因についても数多く検討されているが、筋力との関係について明らかにされていない。トレーニング法を明確にするためにも、両者の関係について検討すべきだろう。

本研究では、SSC 利用による上肢の筋パワー発揮特性を明らかにするために、1) 肘屈曲動作を対象に荷重負荷法を用い、SSC 利用有無の条件で筋パワー発揮特性を比較検討すること、2) その特性に基づき、上肢の SSC 遂行能力を評価する指標を作成し、性差ならびに一側優位性を検討すること、そして、3) 筋収縮様式の異なる各種筋力と SSC 利用による筋パワー出力（SSC パフォーマンス）との関係について検討すること、を目的とした。

II. 研究課題

先行研究における問題点を整理し、本研究において検討すべき研究課題を5つ設定した。研究課題Ⅰでは、SSC を利用した条件（SSC 条件）と SSC を利用しない条件（SR 条件[静的条件]および ISO 条件[等尺性緊張状態]）によって発揮された肘屈曲パワー値間の比較検討を行った。その結果、SSC の利用は concentric 収縮初期の爆発的パワー発揮に貢献することが明らかにされた。この知見に基づき、研究課題Ⅱでは SSC 利用有無による初期パワー出力差に着目し、オリジナルの SSC 指数を考案し SSC 遂行能力の性差を検討した。研究課題Ⅲでは SSC 遂行能力の一側優位性を検討した。また、SSC パフォーマンスを高めるトレーニング法を明確にするため、研究課題Ⅳでは SSC パフォーマンスと等速性最大筋力ならびに 1RM テスト(最大挙上テスト)との関係について、そして研究課題Ⅴでは SSC

パフォーマンスと伸張性最大筋力との関係について検討した。

III. 研究方法

1. 問題へのアプローチ

これまで、SSC に関する研究は主に多関節運動のジャンプ動作を利用して行われた。しかし、この運動は全身運動であり、パフォーマンスは被験者のスキル（例えば前方および上方への腕の振り上げ動作）によって大きく左右される。そして、筋パワーの定量化は体重を負荷とするため困難である。そこで、測定動作として単関節運動である肘屈曲動作を採用した。これは体重の影響を受けず、運動に関連する筋群（肘屈筋群：上腕二頭筋等）を統制でき、また、容易に反動動作を利用することが可能で、男女の比較、左右肢の比較、および筋力との関係を検討するために適切と判断された。

2. 被験者

研究課題ⅠおよびⅣを検討するために男子競技選手 16 名を対象とした。研究課題Ⅱを検討するために男女競技選手 54 名（男子 33 名、女子 21 名）を、研究課題Ⅲを検討するために男子競技選手 33 名を、そして研究課題Ⅴを検討するために男子競技選手 18 名を、それぞれ対象とした。

3. 測定装置

筋パワーの測定は、筋パワー測定器（ヤガミ製）を用いた（図 1）。この測定装置は定滑車部に取り付けられた Rotary Encoder とデータ記録装置からなる。被験者は横向き椅座位姿勢をとり、右上腕を体側にある台上に置いた。手関節の屈曲や回内動作の影響を除外するためにボーリング用プロテクターを装着し、一定負荷（錘）を掛けたワイヤーロープの一端にあるハンドル部に手をかけた状態から、後述の条件から肘屈曲動作によって、できるだけ素早く、一気に負荷を牽引した。運動の第 2 法則に基づいて、以下の式により、牽引速度と負荷量の積から筋パワーを算出した。

$$\text{ピークパワー}(W) = \text{負荷重量}(kg) \times \text{重力加速度}(9.807 \text{ m/s}^2) \times \text{最高速度}(m/s)$$

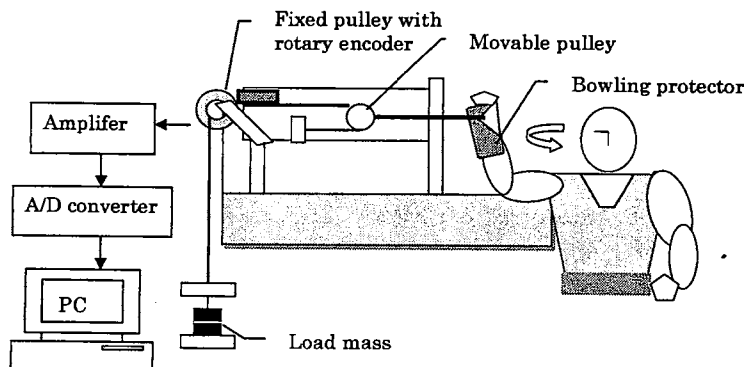


Fig.1 Schematic representation of experimental setup

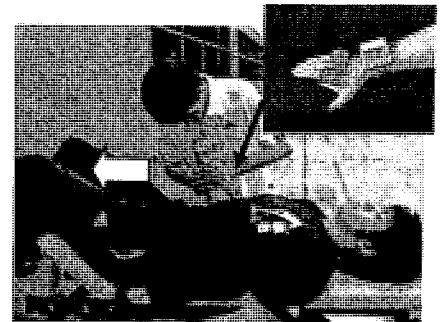


Fig.2 Eccentric strength measurement

等速性最大筋力を測定するために Lumex 社製 Isokinetic マシン（Cybex-325）を用いた。また、伸張性最大筋力を測定するために、Hand-held dynamometer (HHD) [等尺性筋力測定装置] pTas F-1（アニマ社）を用いた（図 2）。

4. 測定手順および実験条件

SSCを利用した（SSC条件）肘屈曲動作による筋パワー発揮特性を明らかにするために、比較条件として、SSCを用いない上腕筋を弛緩させた静止状態（SR条件）および等尺的な緊張を維持した状態（ISO条件）からの筋パワー出力を計測した。3種の予備条件の実施方法は以下のとおりである。

- ① SSC条件：被験者は負荷を保持したまま、 $80^{\circ}\sim 110^{\circ}$ （伸展位 0° ）の範囲内で、最適な自分のリズム・タイミングで反動動作をとり、同負荷を一気に牽引した。反動回数は自由とした。ただし、concentric収縮開始時点の肘関節角度は 80° になるようピープ音で教示した。
- ② SR条件：被験者は肘関節角度 80° において、測定上腕筋を弛緩した静止状態から、concentricな収縮のみによって一気に負荷を牽引した。
- ③ ISO条件：被験者は肘関節角度 80° の位置で約3秒間isometricな収縮により負荷を保持した状態から一気に牽引した。

SRおよびISO条件とも、検者は静止状態を確認し合図を提示した。合図の後、被験者は自らのタイミングで牽引した。

5. 評価変数

評価変数は、①最大速度、②最大速度到達時間、③concentric収縮開始0.1秒の速度、④同じく0.2秒の速度、⑤収縮開始から0.2秒までの累積速度、⑥最大パワーを選択した（図3）。

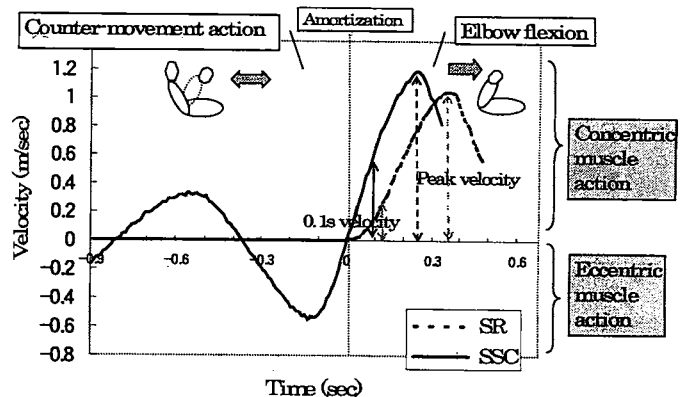


Fig. 3 Typical time-series velocity curve of SR and SSC conditions, and parameters

IV. 研究結果の概要

本研究における各検討課題から以下の結果が得られた。

研究課題Ⅰ：上肢における伸張－短縮サイクル利用による筋パワー発揮特性

荷重負荷法（Rotary Encoder 採用）を用いて行う SSC 利用の筋パワー測定の信頼性は高かった。SSC 条件では最大パワーに増強効果は認められなかったが、初期パワー出力は、SSC を用いない条件（弛緩および軽度等尺性緊張状態）に比べ高値を示した。

研究課題Ⅱ：上肢における伸張－短縮サイクル遂行能力の性差

男女とも、SSC 条件と SR 条件の初期速度には、それぞれ異なる要因が関与する（SSC 条件では特に弾性要素が関与）ことが示唆された。男女の SSC 指数の比較から、SSC 遂行能力に性差が認められた。男子の SSC 指数 (50.1 ± 12.4) は女子 (32.1 ± 23.2) に比べ高値を示した。ただし、女子の SSC 遂行能力の個人差は大きかった。

研究課題Ⅲ：上肢における伸張－短縮サイクル遂行能力の一側優位性

SSC 指数は非利き手 (57.6 ± 14.3) が利き手 (50.1 ± 12.4) よりも高値を示し、SSC 遂行能力の左側優位の可能性が示唆された。片側性競技者（テニス、バドミントン等）は、両側性競技者（陸上走種目、水泳等）に比べ、利き手での SSC 利用による筋パワー出力が大

きかった。

研究課題Ⅳ：伸張－短縮サイクルパフォーマンスと動的最大筋力の関係

SSC 条件の初期パワーは 1RM ベンチプレスと有意な高い相関 ($r = 0.83$) が認められたが、等速性筋力とは中程度の相関 ($r = 0.50 - 0.67$) であった。SSC 条件の初期筋収縮速度に対して 1RM BP の貢献度は高かった。

研究課題Ⅴ：伸張－短縮サイクルパフォーマンスと伸張性最大筋力の関係

伸張性最大筋力は、等尺性最大筋力に比べ約 16% 高値を示し、等尺性最大筋力との間に $r = 0.79$ の有意な高い相関を示した。SSC 条件の最大パワーと伸張性最大筋力とは有意な相関が認められたが、SSC 増強効果が顕著な初期パワーとは認められなかった。

V. 総括

上肢の場合、SSC は特に初期パワー出力の増大に貢献することが明らかにされた。そこで、SSC 利用有無による初期パワー出力差に注目し、SSC 指数を考案した。これによって、これまで十分評価できなかった上肢の SSC 遂行能力の評価が可能となった。

SSC 遂行能力の性差および一側優位性について検討した結果、SSC 遂行能力は、女子が男子より劣り、その一側優位性は非利き手が優れる（左側優位）という興味深い知見が得られた。筋パワー発揮における性差および一側優位性の解明は運動学的にも非常に重要なテーマであり、今後詳細に検討していく必要がある。

また、収縮様式の異なる各種筋力と SSC パフォーマンスとの関係について検討した結果、近年盛んに行われている等速性筋力測定よりも、1RM テスト（ベンチプレス）で計測される動的最大筋力が SSC パフォーマンスと関連が高いことが明らかにされた。このことは、伝統的筋力トレーニングであるベンチプレスの重要性を再認識させるものであった。しかし、期待された伸張性最大筋力と SSC 増強効果（初期パワー）との間に有意な関係は認められなかった。よって、伸張性筋力トレーニングにより最大筋力が高まったとしても、必ずしも SSC パフォーマンスの向上に貢献しないと判断された。上肢においても腱組織が SSC パフォーマンスに大きく貢献する可能性がある。この点についても、今後、さらに詳細な研究が必要であろう。

学位論文審査結果の要旨

筋機能の測定・評価に関する研究は、主に単一の筋収縮様式に関して行なわれ、上肢における複合的な筋の収縮パターンである伸張－短縮サイクル (stretch-shortening cycle : SSC) に関してはほとんど行なわれていない。しかし、「投げる」「打つ」等、上肢により筋パワーを発揮する動作においても SSC は頻繁に利用される。よって、競技成績との関係で筋機能を評価する場合、上肢における SSC 遂行能力の特性を踏まえて評価することが必要であろう。本論文では荷重負荷法による筋パワー測定器を利用し、SSC 利用による上肢の筋パワー発揮特性について以下の知見を得ている。

SSC を利用する条件と SSC を利用しない条件で発揮された肘屈曲パワー値間の比較の結果、SSC 条件では、初期パワーが高値を示した。よって SSC 利用の有無による初期パワー出力差に注目し、SSC 遂行能力を評価する SSC 指数を考案した。この指数により女子が男子に比べ SSC 遂行能力が劣ることが示唆された。また、利き手に比べ非利き手が優れる (左側優位) ことが明らかにされた。さらに、SSC 利用による筋パワー出力 (SSC パフォーマンス) の向上には 1RM テストで計測される最大筋力の貢献が大きいことが示唆された。

以上、本論文はこれまで不明確であった上肢の SSC 利用による筋パワー発揮特性、その性差および一側優位性を明らかにした。さらに、今後の SSC 遂行能力の向上方法を検証した点でも実用的価値は高い。従って、審査委員会は本論文が博士論文 (学術) に値すると判定した。