

動作を意識的に最大速度で行うスクワットトレーニングが 力の立ち上がり率に及ぼす影響

大木祥太¹⁾, 鍋倉賢治²⁾

¹⁾筑波大学大学院人間総合科学研究科

²⁾筑波大学体育系

キーワード: RFD, 最大速度, 自重負荷, シーズン

【要約】

最大筋力は発揮するまでに 300 ms 以上を要すると言われている。スポーツにおける一つ一つの動作は極めて短い時間の中で行われるため、パフォーマンスには 300 ms 以内の力発揮が重要と考えられる。そのため、スポーツのパフォーマンスを高めるには最大筋力の向上も重要だが、RFD を向上させる方が重要であると考えられる。RFD を高めるにはトレーニング動作の遂行速度が影響すると考えられているため、本研究では、動作を意識的に最大速度で行う自重負荷スクワットが、RFD に及ぼす影響を検討した。大学陸上競技同好会に所属する陸上競技選手 6 名を対象とし意識的に動作を最大速度で行う自重負荷スクワットを 10 回×3 セット、週 3 回の頻度で 6 週間行った。測定項目は、等尺性脚伸展最大筋力、立ち幅跳び、RFD (0-100 ms, 100-200 ms の RFD, それぞれ RFD₁₀₀, RFD₂₀₀) の測定をトレーニング介入前後で行った。結果は、RFD₁₀₀ と RFD₂₀₀ のみに有意差が認められ、RFD₁₀₀ が 9.5 ± 3.4 kN/s から 11.9 ± 4.6 kN/s, RFD₂₀₀ が 8.9 ± 2.1 kN/s から 10.5 ± 2.4 kN/s にそれぞれ向上した。以上から、本研究のスクワットは RFD の向上をもたらすことが示唆された。

スポーツパフォーマンス研究, 13, 40-54, 2021 年, 受付日: 2020 年 7 月 3 日, 受理日: 2021 年 2 月 2 日

責任著者: 大木祥太 〒305-8577 つくば市天王台 1-1-1 筑波大学大学院

oki.h5.424@gmail.com

Effects of rapid bodyweight squat training on the rate of force development (RFD)

Shota Oki¹⁾, Yoshiharu Nabekura²⁾

¹⁾Graduate School, University of Tsukuba

²⁾University of Tsukuba

Key words: rate of force development (RFD), maximum speed, body weight, season

【Abstract】

It has been reported that it takes more than 300 ms to exert maximum muscle strength. Since most movements in sports are performed in an extremely short time, it is important for athletes to exert power within 300 ms. Therefore, maximum muscle strength should be increased in order to improve sports performance. However, increasing the rate of force development (RFD) may be more important. It has been reported that the speed of training movements has a large effect on the rate of force development. The present study examined effects of bodyweight squats on the rate of force development. The participants, 6 track-and-field athletes who were members of a university track-and-field club, were instructed to do bodyweight squats as fast as possible 10 times \times 3 sets, 3 times a week for 6 weeks. Their maximum isometric leg extension muscle strength, standing long jump, and rate of force development (0-100 ms: RFD₁₀₀, 100-200 ms: RFD₂₀₀, respectively) were measured before and after the 6-week bodyweight squat training. Statistically significant differences were found in RFD₁₀₀ and RFD₂₀₀ following the squat training. RFD₁₀₀ improved from 9.5 ± 3.4 kN/s to 11.9 ± 4.6 kN/s, and RFD₂₀₀ improved from 8.9 ± 2.1 kN/s to 10.5 ± 2.4 kN/s. These results suggest that the bodyweight squats done at maximum speed may have improved RFD₁₀₀ and RFD₂₀₀.

I. 緒言

筋力はスポーツのパフォーマンスを高めるために重要な要因であり、筋力を高める方法として一般的にレジスタンストレーニングが用いられている。レジスタンストレーニングは競技種目を問わず、スポーツ選手のほとんどが取り組んだ経験があると言っても過言ではないポピュラーなトレーニングであり、レジスタンストレーニング方法の進歩は競技現場のトレーニング方法の発展やスポーツ選手のパフォーマンス向上に寄与する。

筋力を評価する指標に力の立ち上がり率 (rate of force development: RFD) があるが、これは力を素早く発揮する指標のことであり、単位時間当たりの力の変化量で評価される (Vitasalo et al., 1981; Aagaard et al., 2002)。最大筋力の発揮には筋力発揮開始から 300 ms 以上が必要とされているが (Thorstensson et al., 1979)、スポーツにおける一つ一つの動作は極めて短い時間の中で行われるため、パフォーマンスには 300 ms 以内の力発揮が重要と考えられる。運動の基本である走跳投動作の筋力発揮局面における所要時間の一例をそれぞれ挙げると、スプリント動作は接地時間が 120 ms 以内、走り幅跳びの踏切時間は 160 ms 以内、やり投げの最終局面である両脚接地期局面の開始からリリースまでは 130 ms 以内で動作が遂行されるとの報告がある (Luhtanen and Komi, 1979; Morriss et al., 1997; Kuitunen et al., 2002)。これらから、運動動作中に最大筋力を発揮できる場面は限られていると考えられる。そのため、スポーツのパフォーマンスを高めるには最大筋力の向上も重要だが、RFD を向上させる方がより重要であると考えられる。実際にパフォーマンスとの関係を検討した先行研究では、20 m スプリントや 30 m スプリントのパフォーマンスが 100 ms 以下の力発揮と関係があったことが報告されている (Tillin et al., 2013; Ishoi et al., 2019)。

RFD を高めるには動作を意識的に最大速度で行うレジスタンストレーニングが効果的と考えられているが (Maffiuletti et al., 2016)、最大筋力を高めるトレーニングによっても RFD の向上は確認されている (Andersen et al., 2010)。しかし、Andersen et al. (2010) が行った 14 週間の高強度筋力トレーニング介入では、250 ms での RFD に有意な向上が認められたが、250 ms 未満では有意な向上は認められなかった。さらに、Andersen et al. (2006) によると 200 ms の RFD は等尺性最大筋力で約 80 % を説明できることが確認されたが、より短い時間での RFD では等尺性最大筋力による説明率が低下していったことを報告している。これらから、短い時間になればなるほど最大筋力と RFD の関係が弱くなることが考えられ、より短い時間の RFD を向上させるには最大筋力を向上させるタイプのトレーニングでは効果が小さくなることが考えられる。一方で、動作を素早く行ったトレーニングで 0~20 ms と極めて短い時間の RFD を向上させたとの報告があるので (Oliveira et al., 2013)、短い時間の RFD を向上させるには動作を意識的に素早く行うトレーニングに優位性があると考えられ、このようなタイプのトレーニングが瞬間的な力発揮が求められるスポーツのパフォーマンス向上により向いていると考えられる。

競技現場ではレジスタンストレーニングをシーズンオフの時期に集中的に取り組み、シーズンに向けて最大筋力や RFD などを含む筋機能の向上に取り組む。シーズンイン後には専門的なトレーニングや試合の為に調整を優先するためレジスタンストレーニングの頻度は下がっていくことも少なくない。シーズンの経過に伴い筋機能に関する指標が低下していったとの報告があるため (Astorino et al., 2004; Ronnestad et al., 2011; Gannon et al., 2015)、シーズンイン後のレジスタンストレーニングの頻度低下が関係していることも考えられる。スプリントやジャンプ能力が筋機能と相関があることが報告されているの

で(Comfort et al.,2013; West et al.,2011),筋機能の低下はパフォーマンスに影響していると考えられる。スポーツでは,わずか数秒の差がパフォーマンス差や勝敗を分けるといった場面が多くある。そのため,シーズン中の筋機能低下がスプリントやジャンプ能力に悪影響を及ぼしていた場合,アスリートの競技成績に大きな影響を与えている可能性がある。したがって,シーズン中も筋機能を落とさない方法があるならば,1)筋機能が常に高い状態でシーズンを完遂でき,競技成績に好影響を与える可能性がある,2)次のシーズンオフに筋機能が高い状態で臨める,という二点の効果が見込め,スポーツ選手にとって非常に有益である。

井上ら(2017)は健常女性を対象に自重負荷によるスクワットを素早く行わせ,大きい RFD の発揮を観測した。しかし,この研究は大きい RFD の発揮を観測しただけであり,自重負荷で素早く行うスクワットトレーニング介入をした場合に RFD が向上するかは不明である。さらに,ある程度能力の発達しているスポーツ選手を対象とした場合は,自重負荷という低強度のトレーニングで適応が生じるか不明である。自重負荷は強度が低いことから疲労が残りにくいと考えられ,シーズン中の専門的なトレーニングや調整とも並行して行えることが考えられる。そのため,自重負荷のトレーニングでスポーツ選手が RFD を高めることができたなら,競技現場への応用が期待できる。

本研究では,スポーツ選手がシーズン中も筋機能を落とさないトレーニング方法考案の一助となる知見を得ることを目的に,スポーツ選手を対象に動作速度を意識的に素早く行う自重負荷によるスクワットトレーニングの効果を検討する。

II.方法

1.被験者

被験者は大学陸上競技同好会に所属し,定期的に競技会に参加している男性陸上競技選手 6 名(身長:175.2±5.3 cm, 体重:62.6±5.5 kg, 年齢:20.5±1.1 歳)とした(表 1)。この被験者 6 名は中長距離選手 3 名,短距離選手 3 名であり,それぞれの競技レベルを表 2 に示した。被験者は普段のトレーニングにおいて定期的なレジスタンストレーニングは行っていなかった。また,被験者は,実験期間中の 10 月下旬に陸上競技同好会の主要大会(関東大学クラブ対抗陸上競技大会)に参加するため,この期間中は試合に向けた調整期に相当するトレーニングを行っていた。実験開始前に本研究の目的,起こりえる危険などを説明の上,データの公表,研究協力の同意を得た。

表 1.被験者プロフィール

被験者	身長(cm)	体重(kg)	年齢(歳)	専門種目
A	179.2	65.0	22	3000 mSC
B	170.1	54.0	20	5000 m
C	169.0	59.0	19	1500 m
D	184.0	72.0	22	100 m
E	172.0	62.5	20	400 mH
F	177.0	63.0	20	100 m
平均±標準偏差	175.2±5.3	62.6±5.5	20.5±1.1	

表 2.被験者自己ベスト

被験者	100 m	400 m	1500 m	5000 m	400 mH	3000 mSC
A			4分19秒	15分55秒		9分53秒
B				16分41秒		
C			4分2秒	16分00秒		
D	10秒98					
E	12秒29	52秒50			56秒24	
F	11秒80					

2.測定項目・測定方法

トレーニング介入前後 (pre 測定, post 測定) で等尺性脚伸展最大筋力, 立ち幅跳び, RFD を測定した。なお, RFD は 0-100 ms と 100-200 ms の分析を行い, それぞれ RFD₁₀₀, RFD₂₀₀ とした。Aagaard et al (2002) を参考に RFD は以下の式にて算出を行った。

$$\text{力(N)} = \text{等尺性脚伸展最大筋力(kg)} / 9.81$$

$$\text{RFD(kN/s)} = \Delta \text{力(N)} / \Delta \text{時間(s)} / 1000$$

それぞれの指標は以下の方法で測定した。等尺性脚伸展最大筋力は等尺性脚伸展筋力測定器 (図 1) で測定を行った。同時に等尺性脚伸展筋力測定機に AD 変換器 (Power Lab, DKH 社製) を接続し, RFD を測定した。RFD の分析には信号解析ソフト (Lab Chart, DKH 社製) を使用した。筋力測定は検者の合図で力発揮を開始した。本研究では, 多関節運動であるスクワットを行ったことから, 同じ多関節運動である等尺性脚伸展最大筋力の測定を採用した。先行研究を参考に, 試技中の膝関節角度は 110° とした (Herzog et al., 1991; Pavvolainen et al., 1999)。試技は 3 回とし, 最も高い値を採用した。なお, 先行研究は力発揮時間を 2~4 秒としているが (Hakkinen et al., 2003; Mikkola et al., 2006), 本研究には最大筋力の発揮が苦手であると考えられる長距離選手が含まれていたので十分に力を出させるために 5 秒間の維持を指示した。立ち幅跳びは研究室内にメジャーを引いて測定をした。上半身の影響が入らないように手は腰に当てて跳ぶように指示した。試技は 3 回とし, 最も記録の良いものを採用した。なお, 立ち幅跳びを採用した理由は, 競技現場で屋外屋内を問わず簡易的に測定できるためである。

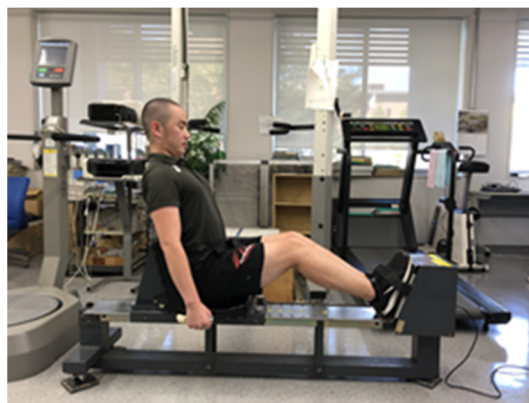


図 1.等尺性脚伸展最大筋力測定の様子

3. トレーニング介入

トレーニングは6週間(2018年10月上旬~11月中旬)行わせた。被験者には、意識的に動作を最大速度で行う自重負荷のスクワットトレーニングを10回3セット、セット間休息1分を週3回の頻度で行わせた。このスクワットは、大腿が地面と水平になるまでは自分のペースでしゃがみ込み、立ち上がり動作(膝関節と股関節の伸展動作)を意識的に最大速度で行うスクワットである(動画)。スクワットのフォームは眞鍋ら(2004)を参考に、股関節主導型スクワットを採用した。トレーニング介入前には、レジスタンストレーニングに習熟した検者によって十分な指導を行い、正確なフォームと実施方法について習熟した。その後は、被験者の任意のタイミングでトレーニングを行うように指示をした。トレーニングの実施状況については検者の方で綿密に連絡を取り、確認をした。

期間や頻度は先行研究を参考に決定した(Kamen et al.,2004; Moritani et al.,1980; Oliveira et al.,2013; Vila-cha et al.,2010)。さらに、競技現場での補強トレーニングという位置づけで行ったので、疲労を残さず短時間で終わるトレーニング量に設定した。また、低強度であるが各セットを確実に最大速度で行うために1分間の休息を設定した。

4. 統計分析

統計処理にはIBM SPSS Statistics 26を用いた。測定値は平均値±標準偏差で示した。トレーニング介入前後の測定項目の値の変化を変化率で示した。介入前後の値の比較には、対応のあるt検定を用いた。なお、有意水準は5%未満とした($p<0.05$)。

III. 結果

それぞれの結果を表3と図2に記載した。等尺性脚伸展最大筋力はpre測定 376.8 ± 76.7 kg, post測定 380.5 ± 66.9 kg で測定値間に統計的有意差は確認されなかった。立ち幅跳びはpre測定 226.7 ± 22.9 cm, post測定 224.5 ± 21.1 cm で測定値間に統計的有意差は確認されなかった。RFD₁₀₀はpre測定 9.5 ± 3.4 kN/s, post測定 11.9 ± 4.6 kN/s で測定値間に統計的有意差が確認された($p=0.037$)。RFD₂₀₀はpre測定 8.9 ± 2.1 kN/s, post測定 10.5 ± 2.4 kN/s で測定値間に統計的有意差が確認された($p=0.003$)。

中長距離群と短距離群に分けた際のRFD₁₀₀とRFD₂₀₀の結果を図3に示した。中長距離群のRFD₁₀₀はpre測定 7.4 ± 1.9 kN/s, post測定 8.8 ± 3.0 kN/s, 短距離群のRFD₁₀₀はpre測定 11.6 ± 3.4 kN/s, post測定 15.1 ± 3.7 kN/sであった。中長距離群のRFD₂₀₀はpre測定 7.5 ± 1.4 kN/s, post測定 9.2 ± 1.6 kN/s, 短距離群のRFD₂₀₀はpre測定 10.4 ± 1.7 kN/s, post測定 11.8 ± 2.3 kN/sであった。

表 3. 結果

被験者	等尺性脚伸展最大筋力 (kg)		立ち幅跳び (cm)		RFD ₁₀₀ (kN/s)		RFD ₂₀₀ (kN/s)	
	pre	post	pre	post	pre	post	pre	post
A	410	372	216	218	10.1	12.9	9.2	10.8
B	263	269	192	190	5.8	7.9	7.3	9.8
C	481	479	240	227	6.4	5.7	5.9	7.0
D	290	338	244	229	16.0	18.8	10.9	13.1
E	429	432	259	262	10.8	16.4	12.2	13.7
F	388	393	209	221	7.9	10.0	8.2	8.6
平均	376.8	380.5	226.7	224.5	9.5	11.9*	8.9	10.5**
標準偏差	76.7	66.9	22.9	21.1	3.4	4.6	2.1	2.4

*:P<0.05 **:P<0.01

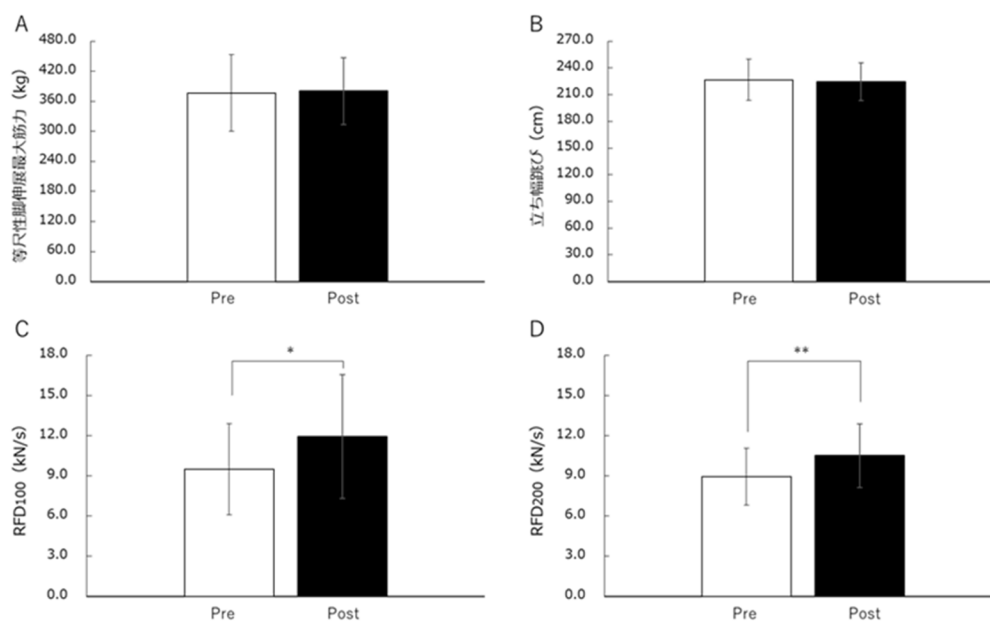


図 2.トレーニング介入前後の各指標の値

A.等尺性脚伸展最大筋力、B.立ち幅跳び、C.RFD₁₀₀、D.RFD₂₀₀

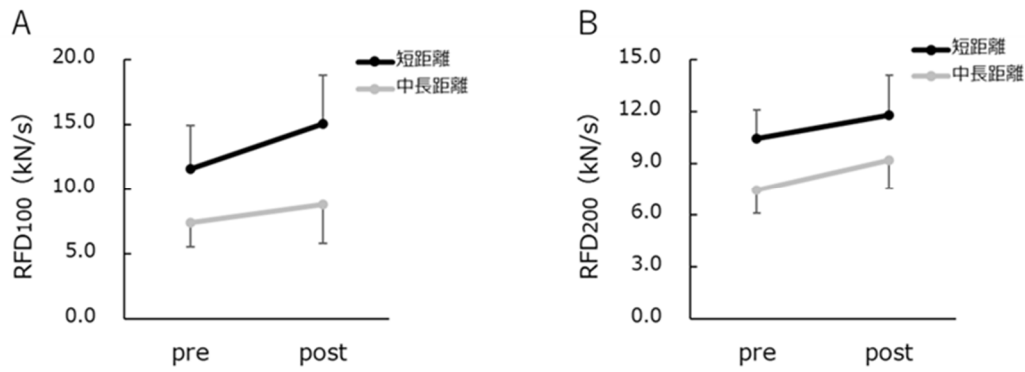


図 3.専門種目ごとに分けた際のトレーニング介入前後の RFD

A.RFD₁₀₀、B.RFD₂₀₀

IV. 考察

本研究では、普段からトレーニングに取り組むスポーツ選手を対象に、動作を意識的に最大速度で行う自重スクワットを 10 回×3 セット、週 3 回の頻度で 6 週間実施した。その結果、等尺性脚伸展最大筋力と立ち幅跳びに変化は見られなかったが、RFD₁₀₀と RFD₂₀₀の向上が確認された。これらの結果から、本研究で用いたスクワットは低負荷でありながらもスポーツ選手の RFD を向上させる可能性があることが示唆された。以下に、本研究に用いたトレーニングとそれぞれの測定項目に対する考察を述べていく。

1. 本研究で用いたトレーニングの有効性

本研究と同様に、意識的に動作を素早く行うトレーニングを実施した研究は今までにいくつかある (Duchateau et al.,1984; Young et al.,1993; Newton et al.,1996; Van Cutsem et al.,1998)。評価方法の違いはあるが、これらの先行研究は筋力の発揮速度に関連する指標の向上を示しており、本研究の結果も先行研究と同様の結果になった。

トレーニングの原理原則に特異性の原理がある。特異性の原理とは、ある種の能力は同類の運動を用いたトレーニングによって効果的に高められると定義されている (市橋ら,1997)。特異性の原理に当てはめると、短縮性収縮での力発揮を高めたい場合は、短縮性収縮を主体とするトレーニングを行うことで最も効果が得られる。この特異性の原理は速度にも当てはまる (速度特異性の原理)。速度の異なるスクワットトレーニングを行い、等速性筋力を評価した眞鍋ら (2008) の研究では、挙上を素早く行った Strength 群で高速である 300 deg/s までの筋力向上を確認したが、動作をゆっくり行った Slow 群では低速である 60 deg/s のみで筋力向上が認められた。本研究でも、トレーニング速度や負荷の設定による特異的な適応が生じたことが考えられる。

2. 等尺性脚伸展最大筋力

最大筋力の決定要因として主要な要因には筋横断面積と神経系が挙げられる (Young et al.,1984; Komi et al.,1986)。筋横断面積は最大筋力の 60~70 % 以上でトレーニングを行う時に増加する (Wernbom et al.,2007)。また、中高負荷でのトレーニング時には、筋肥大に効果的に作用する成長ホ

ルモンやテストステロンなどの蛋白同化ホルモンの血中濃度が増加することが確認されている (Kraemer et al.,1998; McCaulley et al.,2009; Leite et al.,2011). 本研究で行ったトレーニングは非常に低負荷な自重負荷であったことから、筋肥大に必要な適応機序を引き起こせなかったと考えられる。

最大筋力は随意収縮時よりも電気刺激を加えて筋収縮を起こした時の方が高いことから(矢部,1966), 人が意識的に行う動作には筋力発揮に制限がかかっている。つまり、随意的に最大筋力を発揮したとしても、神経系の要因である運動単位を全て動員させることは不可能であり、運動に参加していない筋が多く存在することを意味する。そのため、最大筋力を向上させるには運動に参加する運動単位の数を増加させることが必要不可欠である。一般的に最大筋力の 85%以上で行う高強度トレーニングが神経系の適応に有効と言われているため、本研究のトレーニング負荷では運動単位の動員数を増加させるまでには至らなかったと考えられる。

以上から、本研究で用いたトレーニングでは筋肥大や運動単位の動員数増加を引き起こすほどの負荷が与えられなかったため、等尺性脚伸展最大筋力の向上が生じなかったと推測できる。

3.立ち幅跳び

立ち幅跳びは競技現場で屋外屋内問わずにメジャーがあれば簡易的に測定できるため、専門の機材を必要とせずに測定が可能である。そのため、本研究では実際の競技現場での評価のしやすさを優先し、立ち幅跳びを評価項目に選択した。しかし、本研究のトレーニング介入では立ち幅跳びのパフォーマンスに変化は見られなかった。立ち幅跳びに変化が見られなかった原因は立ち幅跳びの踏切時間(運動遂行時間)が長いことが考えられる。立ち幅跳びの踏切に必要な時間は 500~1000 ms 程度と言われているため(高松ら,1989), 素早い力発揮の影響が小さいことが考えられる。

本研究ではトレーニング介入後に RFD₁₀₀ と RFD₂₀₀ の向上が確認されたため、評価項目としては力発揮局面が 200 ms 以内であるリバウンドジャンプやドロップジャンプが適切であったと考えられる(岩竹ら,2002; 遠藤ら,2007; 吉田ら,2016)。

4.RFD

RFD は神経系の要因である発火頻度と関係が強いと考えられる。発火頻度とは、運動ニューロンが神経筋結合部に送る活動電位を発生させる頻度のことである。主に瞬発系のトレーニングに取り組む陸上競技短距離選手は、陸上競技長距離選手やトレーニングされていない者と比較した際に高い発火頻度を示したことが確認されている(Saplinskas et al.,1980)。また、Van Cutsem et al.(1998)は動作速度をできるだけ速く行う足部背屈トレーニングを 12 週間行わせ、ワイヤー電極にて単一運動単位の活動を評価した。その結果、トレーニング後に筋活動の立ち上がり速度が向上したと同時に、運動単位の非常に高い発火頻度(二重発火や Doublet discharge と呼ばれる)の増加を観測した。これらから、素早く動く瞬発的なトレーニングは神経系における発火頻度を高めて、RFD の向上に寄与すると言える。本研究でも、素早いトレーニング動作により発火頻度が高まり、RFD が向上したと考えられる。

5.専門種目ごとのトレーニング適応

本研究では中長距離群と短距離群に分け専門種目ごとの比較を行い、1)短距離群の RFD が優れ

ていた, 2) 短距離群が RFD₁₀₀ に対するトレーニング効果が高い傾向がある, という二点が確認された。

筋線維は Type I 線維, Type II a 線維, Type II b 線維の 3 種類に分類できる. Type II 線維は力発揮能力に優れ, 筋線維の収縮速度も速い一方で, Type I 線維は持久力に優れ, 力発揮を不得意とする線維である. 短距離選手は Type II 線維の割合が多く, 中長距離選手は Type I 線維の割合が多い (Costill et al., 1976). RFD の種目間の差にはこのような筋線維組成の違いが影響していたことが考えられる。

さらに, 短距離選手は普段のトレーニングから瞬間的な力発揮が求められることが多いため, 素早く運動を行うことに慣れていた可能性がある. そのため, 短距離群は中長距離群よりも本研究におけるトレーニングを素早く行っていた可能性があり, トレーニング効果が高く出たことが考えられる。

RFD₁₀₀ のトレーニング効果には普段のトレーニング様式の差も影響していると考えられる. Vila-Cha et al. (2010) は被験者に 6 週間の持久トレーニングを行わせ, 等尺性膝伸展最大筋力の低下と運動単位の発火頻度の低下を確認した. したがって, 中長距離群は介入期間中に通常持久性トレーニングに加え本研究のトレーニングを組み合わせを行ったために, 神経系の適応が抑制された可能性がある。

6. 個別事例

被験者 E が介入前後のタイミングで競技会へ参加したため, 比較可能な記録を得ることができた. 被験者 E は 400 mH 専門の選手であり, 57 秒 42 (介入前) から 56 秒 24 (介入後) へと記録を伸ばすことができた. 被験者 E から聞き取り調査を行ったところ, 地面を押す力が強くなった感覚があるとの報告を受けた. 被験者 E は RFD₁₀₀ の向上が大きかったため (Pre 10.8 kN/s, Post 16.4 kN/s), 走行中の力発揮効率が向上し自己ベスト更新に繋がった可能性がある. また, 被験者 E のトレーニング介入中の大会に向けての調整方法やトレーニング頻度は介入前と変化はなかった。

走速度はピッチとストライドの積で求められるため, 両者を向上させることは走速度を上げるために重要である. スプリント走中のストライドと滞空時間に有意な相関が認められていることから, ストライドの延長には滞空時間を延長させることが効果的である可能性が示唆されている (土江ら, 2010). 滞空時間は接地中の鉛直方向への力積に依存することが報告されているため (Hay 1993), 被験者 E の RFD が高まったことによって走行中の鉛直方向への力積が増加し, ストライドが延長したためにパフォーマンスが向上した可能性が考えられる。

しかし, 上記の変化は選手自身の主観に基づくコメントである. 本研究では走行中のバイオメカニクスの指標は評価していないため, ストライドの延長が実際に起きていたかは不明である. そのため, 本研究にて実施したトレーニングがストライドの延長や記録の向上に影響を及ぼすことを客観的に認めたものではないことには留意が必要である。

V. 競技現場への応用

先行研究では, 一般健常人に対して負荷を加えたトレーニングを本研究と同様に素早い動作で行わせ, 結果を得ているが (Young et al., 1993; Newton et al., 1996; Van Cutsem et al., 1998), 本研究では, スポーツ選手を対象に自重負荷でトレーニングを行わせ RFD の向上を確認することができた。

複数の先行研究から, 競技シーズンの経過に伴い最大筋力などの筋機能が下がっていったとの報

告がある(Astorino et al.,2004; Ronnestad et al.,2011; Gannon et al.,2015). この原因は, シーズンイン後には専門的なトレーニングや試合の為の調整を優先するため, 余計な疲労を避けるためにレジスタンストレーニングの頻度が下がっていったためと考えられる. 本研究で行ったトレーニングは非常に低強度な自重負荷であるため, 普段からトレーニングに取り組む者が疲労を蓄積することや筋痛を引き起こすことはほとんどないと考えられ, シーズン中にも積極的に取り組むことが可能である. 本研究で行ったトレーニングは最大速度で行うことでトレーニング効果を最大限に得られると考えられる. 実際に競技現場で取り組む際には, トレーニングを最大速度で実施するために疲労の影響がないメイントレーニングの前に取り組むことで, RFD の向上・維持が期待でき, RFD を落とさずにシーズンを完遂できることが期待される.

VI. 研究の限界

本研究では, コントロール群を設けなかったため RFD の改善が本研究で実施したトレーニングの影響であるかは不明である. そのため, 今後はコントロール群を設けて本研究で行ったトレーニングの効果を検討する必要がある.

本研究の被験者は定期的に競技会に参加し, 競技意欲の高い大学陸上競技同好会所属の選手であったが, さらに高いレベルで競技に取り組む選手と比べた際にパフォーマンスが劣っているのは否定できない. そのため, パフォーマンスのより高い選手や普段からレジスタンストレーニングを積極的に行っている競技の選手に対しても同様の効果が見込めるかは不明であるため, これらのスポーツ選手を対象にしても同様の効果が得られるのかを検討することが必要である.

本研究では, 立ち幅跳びをパフォーマンス評価のために実施した. しかし, トレーニング後に立ち幅跳びの変化は確認できなかったため, 本研究で実施したトレーニングがパフォーマンスに与える影響は明らかにできなかった. 本研究のトレーニング特性をトレーニング速度や力の立ち上がりの面から考慮すると, トレーニング効果を評価するには運動遂行時間が約 200 ms 以内のリバウンドジャンプやドロップジャンプが適切であり(岩竹ら,2002; 遠藤ら,2007; 吉田ら,2016), 運動遂行時間が 500~1000 ms かかるとされる立ち幅跳びは本研究におけるパフォーマンス評価の指標としては適切ではなかったと考えられる.

VII. 結論

本研究では, 普段からトレーニングに取り組むスポーツ選手を対象として, 動作を意識的に最大速度で行う自重スクワットを 10 回×3 セット, 週 3 回の頻度で 6 週間実施した. その結果, 1)RFD₁₀₀ と RFD₂₀₀ が向上した, 2)等尺性脚伸展最大筋力に変化なし, 3)立ち幅跳びに変化なし, という三点が確認された. スポーツ選手を対象に自重負荷でのトレーニングで RFD の向上が確認されたのは特筆に値する. しかし, 本研究の限界として, 1)コントロール群を設けられなかった, 2)被験者が大学同好会所属の選手であり, さらに高いレベルで競技に取り組む選手と比べ, パフォーマンスが劣る選手であった, 3)パフォーマンスに与える影響は不明である, という三点に気を付ける必要があり, 結果の解釈には注意が必要である.

謝辞

本研究は筆者が学部時代に行った卒業研究であり、研究の完成にあたり学部時代の指導教員である大東文化大学の琉子友男教授には研究の基本からご指導頂き、大変お世話になりました。この場を借りて改めてお礼申し上げます。

引用文献

- Aagaard, Per, Erik B. Simonsen, Jesper L. Andersen, Peter Magnusson, and Poul Dyhre-Poulsen. (2002) Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 93: 1318-1326,
- Andersen LL, Aagaard P. (2006) Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Eur J Appl Physiol* 96: 46-52.
- Andersen LL, Andersen JL, Zebis MK, Aagaard P. (2010) Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? *J Med Sci Sports* 20: 162-169.
- 井上純爾, 大重努, 向井陵一郎, 岩田晃, 淵岡聡. (2017) 下肢の筋力発生率と負荷量の異なる素早い運動課題との関係. *理学療法科学* 32(2): 279-283.
- 市橋則. (1997) 筋力 トレーニングの基礎知識 一筋力に影響する要因と筋力増加のメカニズム一. 京都大学医療技術短期大学部紀要別冊 健康人間学 第9号 97
- 岩竹淳, 小田宏行, 鈴木朋美, 永澤健, 中村夏実, 岩壁達男. (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. *体育学研究* 47 253-261.
- 遠藤俊典, 田内健二, 木越清信, 尾縣貢(2007)リバウンドジャンプと垂直跳の遂行能力の発達に関する横断的研究. *体育学研究* 52 : 149-159
- Duchateau J and Hainaut K. (1984) Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 56(2): 296-301.
- Comfort P, Stewart A, Bloom L, Clarkson B. (2014) Relationships Between Strength, Sprint, and Jump Performance in Well-Trained Youth Soccer Players. *Journal of Strength and Conditioning Research: January, Volume 28, Issue 1, pp.173-177.*
- Costill DL, Daniels J, Evans W, Fink W, Krahenbuhl G, Saltin, B. (1976) Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J. Appl. Physiol.* 40(2): 149-154.
- Cutsem MV, Duchateau J and Hainaut K. (1998) Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *Journal of Physiology*, 513.1, pp.295-305.
- Gannon EA, Stokes KA, Trewartha G. (2015) Strength and power development in professional rugby union players over a training and playing season. *International*

- Journal of Sports Physiology and Performance 11, 381-387.
- Hakkinen K, Alen M, Kraemer WJ, Gorostiaga E, Izquierdo M, Rusko H, Mikkola J, Hakkinen A, Valkeinen H, Kaarakainen E, Romu S, Erola V, Ahtiainen J, Paavolainen L. (2003) Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol* 89: 42-52
 - Herzog W, Hasler E, Abrahamse SK. (1991) A comparison of knee extensor strength curves obtained theoretically and experimentally. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol.23 No.1 pp.108-114
 - Ishøi L, Aagaard, P Nielsen MF, Thornton KB., Krommes KK., Hölmich P, and Thorborg K. (2019) The Influence of Hamstring Muscle Peak Torque and Rate of Torque Development for Sprinting Performance in Football Players: A Cross-Sectional Study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14, 665-673.
 - Kraemer WJ, Hakkinen K, Newton RU, McCormick M, Nindl BC, Volek JS, Gotshalk LA, Fleck SJ, Campbell WW, Gordon SE, Farrell PA, Evans WJ (1998) Acute hormonal responses to heavy resistance exercise in younger and older men. *Eur J Appl Physiol* 77: 206-211.
 - Hay JG. (1993) *The biomechanics of sports techniques*, 4th Edition, Prentice Hall, New Jersey, pp.396-412
 - Kamen G, and Knight CA. (2004) Training-Related Adaptations in Motor Unit Discharge Rate in Young and Older Adults. *Journal of Gerontology: MEDICAL SCIENCES*, Vol. 59A, No. 12, 1334-1338.
 - Kuitunen S, Komi PV, and Kyrolainen H. (2002) Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol. 34, No. 1, pp. 166-173.
 - Leite RD, Prestes J, Rosa C, De Salles BF, Maior A, Hiranda H, Simao R. (2011) Acute effect of resistance training volume on hormonal responses in trained men. *The Journal of Sports Medicine Physical Fitness* 51(2)322-328.
 - Luhtanen P and Komi PV. (1979) Mechanical Power and Segmental Contribution to Force Impulses in Long Jump Take-off. *Eur. J. Appl. Physiol.* 41, 267-274.
 - Maffiuletti NA, Aagaard v, Blazevich AJ, Folland J, Tillin N, Duchateau J. (2016) Rate of force development: physiological and methodological considerations. *Eur J Appl Physiol* 116:1091-1116
 - 眞鍋芳明, 横澤俊治, 尾縣貢 (2004) 動作形態の異なるスクワットが股関節と膝関節まわりの筋の活動および関節トルクに与える影響. *体力科学* 53 321-336
 - 眞鍋芳明, 桜井健一, 岩壁達男, 尾縣貢. (2008) 速度の異なるスクワットトレーニングが下肢の筋断面積, 筋力, 運動パフォーマンスに与える影響. *バイオメカニズム* 19 69-80.
 - Mikkola J, Rusko H, Nummela A, Pollari T, Häkkinen K. (2006) Concurrent Endurance and Explosive Type Strength Training Improves Neuromuscular and

- Anaerobic Characteristics in Young Distance Runners. *Int J Sports Med* 2007; 28: 602-611
- Morriss C, Bartlett R, and Fowler N. (1997) Biomechanical analysis of the men's javelin throw at the 1995 World Championships in Athletics. *New studies in Athletics* 12: 31-41
 - McCaulley GO, McBride JM, Cormie P, Hudson MB, Nuzzo JL, Quindry JC, Triplett NT. (2009) Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *Eur J Appl Physiol* 105:695-704
 - Newton RU, Kraemer WJ, Hakkinen K, Humphries BJ, and Murphy AJ. (1996) Kinematics, Kinetics, and Muscle Activation During Explosive Upper Body Movements. *JOURNAL OF APPLIED BIOMECHANICS*, 12, 37-43
 - Oliveira BD, Oliveira SC, Rizzato GF, Denadai BS. (2013) Resistance Training for Explosive and Maximal Strength: Effects on Early and Late Rate of Force Development. *Journal of Sports Science and Medicine* 12, 402-408.
 - Paavolainen L, Hakkinen K, Hamalainen I, Nummela A, Rusko H. (1999) Explosive strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.* 86(5): 1527-1533.
 - Ronnestad B, Nymark BS, Raastad T. (2011) Effects of in-season strength maintenance training frequency in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25, 2653-2660.
 - 高松薫, 関子浩二, 会田宏, 吉田亨, 石島繁.(1989) デプスジャンプにおける台高と踏切中の膝曲げ動作の相違が跳躍高および下肢にかかる 負荷特性に及ぼす影響. 昭和 63 年度日本体育協会 スポーツ科学研究報告 No.IX プライオメトリック アクティブ筋力トレーニングに関する研究—第 2 報—, pp. 46-55.
 - 土江寛裕, 櫛部静二, 平塚潤.(2010) 最大スプリント走時の走速度,ピッチ・ストライド,接地・滞空時間の相互関係と,競技力向上への一考察 城西大学研究年報.自然科学編 33 巻, pp.31-36
 - Thorstensson A, Karlsson J, Viitasalo JHT, Luhtanen P and Komi PV (1976) Effect of Strength Training on EMG of Human Skeletal Muscle. *Acta physiol.* 98. 232-236
 - Tillin NA, Pain MTG and Folland J. (2013) Explosive force production during isometric squats correlates with athletic performance in rugby union players. *Journal of Sports Sciences*, Vol. 31, No.1, 66 76.
 - Viitasalo T and Komi PV (1981) Influence of maximal muscle strength and intrinsic muscle contractile properties on contractile rate of force development. *Acta Physiol Scand*, 111:97-103.
 - Vila-Chã C, Falla D, Farina D.(2010) Motor unit behavior during submaximal contractions following six weeks of either endurance or strength training. *J Appl Physiol* 109: 1455-1466.

- ・ Wernbom M, Augustsson J, and Thome R. (2007) The Influence of Frequency, Intensity, Volume and Mode of Strength Training on Whole Muscle Cross-Sectional Area in Humans. *Sports Med* 2007; 37 (3): 225-264.
- ・ West DJ, Owen NJ, Jones MR, Bracken RM, Cook CJ, Cunningham DJ, Shearer DA, Finn CV, Newton RU, Crewther BT, Kilduff LP. (2011) Relationships Between Force-Time Characteristics of the Isometric Midthigh Pull and Dynamic Performance in Professional Rugby League Players. *Journal of Strength and Conditioning Research: Volume 25 - Issue 11 - p 3070-3075*
- ・ Young WB, Jenner A, and Griffiths K. (1998) Acute Enhancement of Power Performance From Heavy Load Squats. *Journal of Strength Conditioning Reserch*, 12(2), 82-84.
- ・ Young WB, and Bilby GE (1993) The Effect of Voluntary Effort to Influence Speed of Contraction on Strength, Muscular power, and Hypertrophy Development. *Journal of Strength and Conditioning Reserch*, 7(3), 172-178.
- ・ 吉田拓矢, 中宗一郎, 荻山靖, 林陵平, 高橋和孝, 岡子あまね, 岡子浩二.(2016)ドロップジャンプにおけるパフォーマンス獲得に至るまでの時系列的な運動連関. *体力科学* 第 65 巻 第 5 号 479-489.