

高校生ランナーのランニングエコノミーと反応筋力の関係性

浅野勝成¹⁾, 後藤大²⁾, 中村登³⁾, 内丸仁¹⁾

Relationship between running economy and reactive strength in high school runners

Katsunari ASANO¹⁾, Yutaka GOTO²⁾, Noboru NAKAMURA³⁾, Jin UCHIMARU¹⁾

Abstract

Background: Maximal strength, power and reactive strength are key factors of running economy; however, their relationship among high school runners is unclear.

Purpose: The purpose of this study was to examine the relationship between running economy and maximum strength, muscular power, and reactive strength in high school runners.

Method: 24 runners participated and assessed $\dot{V}O_2$ under three different running speed as running economy (RE), $\dot{V}O_{2max}$, height of countermovement jump (CMJ) as muscular power, reactive strength index (RSI) of 4 jump and drop jump as an indicator of reactive strength, and maximal isometric strength of knee extensor and flexor muscles. Also, correlation between $\dot{V}O_2$ under three stages and height of CMJ, 4 jump RSI, drop jump RSI and maximum isometric strength were examined.

Result: $\dot{V}O_2$ at the three stages (running speed; 188m/min, 222m/min, and 282m/min) were 33.5 ± 2.1 ml/kg/min (% $\dot{V}O_{2max}$: $61.1 \pm 4.1\%$), 39.6 ± 2.1 ml/kg/min (% $\dot{V}O_{2max}$: $71.4 \pm 4.3\%$) and 51.8 ± 2.4 ml/kg/min (% $\dot{V}O_{2max}$: $89.5 \pm 4.0\%$), respectively. $\dot{V}O_{2max}$ was 66.7 ± 3.4 ml/kg/min. Height of CMJ, 4 jump RSI, drop jump RSI, and maximal isometric strength of knee extensor and flexor were 34.5 ± 5.3 cm, 1.427 ± 0.471 m/s, 1.280 ± 0.476 m/s, 0.81 ± 0.16 kg/kg, and 0.45 ± 0.06 kg/kg, respectively. Drop jump RSI was significantly correlated with $\dot{V}O_2$ at 188m/min ($r = -0.552$, $p < 0.01$), 222m/min ($r = -0.443$, $p < 0.05$), 282m/min ($r = -0.487$, $p < 0.05$).

Conclusion: These results suggest that superior drop jump RSI may be related to greater RE. Enhancing reactive strength may contribute to improve running economy in high school runners.

Key words : Jump Performance, Drop Jump, 4 Jump, Running Performance

キーワード : ジャンプパフォーマンス, ドロップジャンプ, 4ジャンプ, ランニングパフォーマンス

1) 仙台大学 体育学部

〒989 - 1693 宮城県柴田郡柴田町船岡南 2-2-18

2) 青森県スポーツ科学センター

〒039 - 3505 青森県青森市大字宮田字高瀬 22-2

3) 仙台大学附属明成高校

〒981 - 8570 宮城県仙台市青葉区川平二丁目 26-1

1. 緒言

長距離走競技における勝敗は、定められた距離に要する時間によって決定される (Barnes and Kilding, 2015, p. 37). 長距離走のパフォーマンスを決定する要因として最大酸素摂取量 (以下「 $\dot{V}O_{2max}$ 」とする)、乳酸性作業閾値 (以下「LT」とする)、そしてランニングエコノミー (以下「RE」とする) の3つが挙げられる (Jung, 2003). $\dot{V}O_{2max}$ は長距離走選手の持久性能力を評価する信頼性の高い指標であるが、競技レベルが高い選手間では必ずしも高い $\dot{V}O_{2max}$ が実際の競技パフォーマンスに反映するわけではないことから、他の要因によるパフォーマンスへの影響についての指摘がされている (Paavolainen et al., 1999). LT は血中乳酸濃度が急激に蓄積し始める運動強度と定義され (Hauswirth and Le Meur, 2012), LT が高いほど解糖系によるエネルギー供給に依存せずに運動が継続でき、ラストスパートやより速い走行のために必要となるエネルギーを節約できることから、長距離走パフォーマンスを決定する要因の一つとして考えられている (Joyner and Coyle, 2008). RE は走の経済性とも言われ、ある走速度に対してより少ないエネルギーで効率の良い走行ができるかを測る指標である。また、RE は一定の走速度における酸素摂取量によって評価され (Conley and Krahenbuhl, 1980, p. 357), ランニングパフォーマンスを予測する指標として有用であることや (Saunders et al., 2004a, p. 466), $\dot{V}O_{2max}$ が同程度のランナーにおいて RE は長距離走パフォーマンスの僅かな差を説明できることが示唆されている (Bassett and Howley, 2000, p78). そのため、長距離走のパフォーマンスを高めるには $\dot{V}O_{2max}$ や LT だけでなく、RE の向上にも取り組むことが重要となる。

RE は酸素摂取量や換気量などの呼吸循環機能だけではなく、神経-筋の機能にも影響を受けることが示唆されている (Saunders et al., 2004a). 例えば、レジスタンストレーニングを行うことで筋力や筋パワーの増加とともに RE の改善に繋がることが先行研究で報告されており (Blagrove et al., 2018 ; Balsalobre-Fernández, 2015), レジスタンストレーニングの介入が神経-筋機能の改善と速筋線維の動員増加を促し、結果として筋力や筋パワーが向上することで RE の改善に貢献することが考えられている (Aagaard and Andersen, 2010). さらに、伸張-短縮サイクルの要素が含まれた力発揮の指標である反応筋力も RE の向上に貢献する要因の一つとして挙げられる (Barnes and Kilding, 2015, p. 45). 反応筋力を評価する指標として Reactive Strength Index (反応筋力指数, 以下「RSI」とする) があり、主に連続ジャンプやドロップジャンプで測定され、跳躍高を地面接地時間で除すことで算出される (Beattie et al., 2017a). 大学生ランナーを対象とした先行研究では時速 12 km, 14 km, および 16 km における RE とドロップジャンプ RSI の間には有意な相関関係が認められたことから (Li et al., 2021), 下肢の高い反応筋力を有することは RE の改善に繋がる可能性が考えられる。

下肢の最大筋力、筋パワー、および反応筋力と RE の関係性については多くの先行研究で報告されているが、それらの報告は成人ランナーを対象としていることが多い。高校生年代の長距離ランナーに対して RE と筋力などの筋機能との関係性について調査した研究は少なく、著者の知る限りでは Mikkola et al. (2007)のみである。この研究では 30m 走や垂直跳び跳躍高などの走スピードや筋パワーに関する項目は測定しているものの、RSI を用いた反応筋力の評価指標は見当たらず、この点については不明な点が多い。そこで本研究では、高校生の長距離ランナーにおける下肢の最大筋力、筋パワー、および反応筋力と RE との関係性について検討することを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は、高校陸上競技部に所属する男子高校生長距離ランナー24名とし、年齢 16.4 ± 1.1 歳、身長 1.72 ± 0.04 m、体重 55.8 ± 4.5 kg であった。

研究を行うにあたり、被験者と親権者に対して研究の目的や内容、研究参加に伴う危険性を説明した。被験者は未成年であるため、書面で親権者の同意を得た。なお、本研究は仙台大学倫理審査委員会の承認（承認番号：30-8）を得て実施した。

2.2 測定方法

測定項目は、RE、 $\dot{V}O_{2\max}$ 、下肢の筋パワー、反応筋力、および最大筋力とした。

2.2.1 ランニングエコノミーと $\dot{V}O_{2\max}$ の測定

トレッドミルを用いた間欠的多段階漸増負荷テストにて、 $\dot{V}O_{2\max}$ と最大下走速度における RE を計測した。間欠的多段階漸増負荷テストのプロトコルは、Saunders et al. (2004b) の方法を参考に、4つのステージを設け、傾斜 1° で分速 188m、分速 222m、および分速 282mの順に各ステージ間に1分間の休憩を設け3分間ずつ走行させた。Saunders et al. (2004b)では、各ステージの走行時間は4分間で設けられていたが、4分のうちラスト2分で酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) がプラトーになったことを報告している。また、我々の研究室での陸上競技選手を対象とした間欠的多段階漸増負荷テストでは、各ステージ3分間として実施しているが $\dot{V}O_2$ のプラトーを確認できている。これらを踏まえて、各ステージの走行時間を先行研究より1分短い3分間に設定した。続けて4ステージ目には、3ステージ目と同じ分速 282mの走速度で1分毎に傾斜を 1° 増加させ疲労困憊に至るまで、もしくはトレッドミル速度について行けなくなる地点まで走行させた。テスト中の $\dot{V}O_2$ は呼気ガス代謝測定器 (AE300S, ミナト社製) を用いて Breath-by-Breath 法にて定量した。心拍数は、心拍計測器 (H10N, ポラールジャ

パン社製)を用いて測定中を通して1分間毎に記録した。分速188mから282mの各ステージにおける $\dot{V}O_2$ は、2分目から3分目の間に定量された1分間の平均値を各段階の値とし、各ステージの $\dot{V}O_2$ をREの評価指標とした。 $\dot{V}O_{2max}$ は4ステージ目に出現した $\dot{V}O_2$ の最高値とし、年齢から推定される最大心拍数(220-年齢)の到達程度(±10拍/分)、呼吸交換比が1.1以上の値であること、そして $\dot{V}O_2$ のプラトーが見られたことのうち2つ以上を満たしていることを確認して判断した。

2.2.2 下肢の筋パワー、反応筋力、および最大筋力の測定

全ての被検者は、筋パワーの評価指標として立位姿勢から反動動作を用いて垂直方向へ跳躍するカウンタームーブメントジャンプ(以下「CMJ」とする)の跳躍高、反応筋力の評価指標として立位姿勢からその場で4回連続の跳躍を行う4ジャンプと台上から地面に跳び下りて即座に垂直方向へ跳躍を行うドロップジャンプのRSI、そして最大筋力の評価指標として膝関節伸展・屈曲筋群の等尺性最大筋力を測定した。

CMJ、4ジャンプ、そしてドロップジャンプの測定にはマットスイッチ(マルチジャンプテストII, Q'sfix社製)を用いた。これら3種類のジャンプ測定では、腕の振込み動作による影響を排除するため、両手を腰に当てた状態で測定を行わせた。また、本測定を行う前に、デモンストレーションを見せながら跳躍練習を行わせた後にそれぞれ3試行を行わせた。

CMJでは、マットスイッチ上にて立位姿勢から反動動作を用いて垂直方向へ最大限に跳躍を行わせた(図1A)。被検者にはできるだけ高く跳躍するよう口頭で指示した。CMJの跳躍高は、以下の式にて算出した(遠藤ほか, 2007)。跳躍高 $=1/8 \cdot 9.81 \cdot (\text{滞空時間})^2$ 、9.81は重力加速度(m/s^2)。4ジャンプテストでは、マットスイッチ上にて立位姿勢からその場で4回連続して垂直方向に跳躍させた(図1B)。被検者にはできるだけ地面接地時間を短くし、できるだけ高く跳躍するよう口頭で指示した。1セットあたりジャンプ4回の平均値を算出した。4ジャンプRSIは跳躍高を地面接地時間で除すことで算出した(跳躍高/地面接地時間)。ドロップジャンプテストは、Demasceno et al. (2015)が報告している方法に基づき、40cmの台上からドロップジャンプを行わせた(図1C)。台上から地面(マットスイッチ上)に落下した直後に垂直方向に跳躍する際、できるだけ短い地面接地時間で、できるだけ高く跳躍するように口頭で指示した。ドロップジャンプRSIは跳躍高を地面接地時間で除すことで算出した(跳躍高/地面接地時間)。なお、CMJ、4ジャンプ、そしてドロップジャンプの値は、外れ値による誤差を減らすため、中央値を採用した。



図1. カウンタームーブメントジャンプ (A), 4 ジャンプ (B), およびドロップジャンプ (C)

最大筋力テストでは、対象者は日常的にレジスタンストレーニングを実施していないことから最大挙上重量測定 (1RM) には安全面の不安があったため、より安全に行える等尺性最大筋力測定を採用した。被検者の利き足側の膝伸展および屈曲の等尺性最大筋力を測定した。測定には、多用途万能筋力計 (TKK1231, 竹井機器工業社製) を用いた。被検者は椅座位で、背部を背もたれに当て、胴体部分をベルトで固定し、股関節と膝関節の角度をそれぞれ 90° および 105° に設定した。その座位姿勢にて、デジタル筋力計 (TKK1269, 竹井機器工業社製) にワイヤーで繋がれたバンドを利き足側の足関節に巻き付けた状態で最大限の力発揮を行わせた。伸展と屈曲の測定を2回ずつ行い、数値が高い方を選択し、体重で除した数値を測定値とした。また、伸展値を屈曲値で除算して伸展 - 屈曲比も算出した。

2.3 統計処理

測定された全ての値を平均±標準偏差で示す。各ステージの体重当たりの $\dot{V}O_2$ と体重当たりの膝伸展等尺性最大筋力、体重当たりの膝屈曲等尺性最大筋力、CMJ の跳躍高、4 ジャンプ RSI、およびドロップジャンプ RSI との相関性の検証には、ピアソンの積率相関係数を算出し、各分析の有意水準は 5% とした。データ解析には統計解析ソフト (SPSS Statistics 25, IBM 社製) を使用した。

3. 結果

3.1 各ステージの最大下および最大運動時における $\dot{V}O_2$

各ステージの RE の評価指標としての $\dot{V}O_2$ は分速 188m で $33.5 \pm 2.1 \text{ ml/kg/min}$ ($61.1 \pm 4.1\% \dot{V}O_{2\text{max}}$), 分速 222m で $39.6 \pm 2.1 \text{ ml/kg/min}$ ($71.4 \pm 4.3\% \dot{V}O_{2\text{max}}$), 分速 282m で $51.8 \pm 2.4 \text{ ml/kg/min}$ ($89.5 \pm 4.0\% \dot{V}O_{2\text{max}}$) であった。 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ は $66.7 \pm 3.4 \text{ ml/kg/min}$ であった。(表1)。

表 1. 各ステージおよび最大運動時における酸素摂取量

	分速188m	分速222m	分速282m	最大運動時
$\dot{V}O_2$ (<i>ml/kg/min</i>)	33.5±2.1	39.6±2.1	51.8±2.4	66.7±3.4

値：平均値±標準偏差。 $\dot{V}O_2$:酸素摂取量、最大運動時の値は最大値とする。

3.2 下肢の筋パワー、反応筋力、および最大筋力

CMJ の跳躍高は 34.5±5.3cm , 4 ジャンプは RSI が 1.427±0.471m/s, 跳躍高が 0.223±0.052m, 地面接地時間が 0.165±0.023s, そしてドロップジャンプは RSI が 1.280±0.476m/s, 跳躍高が 0.292±0.044m, 地面接地時間が 0.256±0.095s であった (表 2)。体重当たりの等尺性最大筋力は伸展筋群が 0.81±0.16 kg/kg, 屈曲筋群が 0.45±0.06 kg/kg, そして伸展 - 屈曲比は 1.79±0.33 であった (表 2)。

表 2. CMJ の跳躍高, 4 ジャンプとドロップジャンプの RSI, 跳躍高, 地面接地時間, および膝伸展筋力, 膝屈曲筋力, 伸展 - 屈曲比の値

CMJ		4ジャンプ		ドロップジャンプ			体重当たりの等尺性最大筋力		
跳躍高 (<i>cm</i>)	RSI (<i>m/s</i>)	跳躍高 (<i>m</i>)	地面接地時間 (<i>s</i>)	RSI (<i>m/s</i>)	跳躍高 (<i>m</i>)	地面接地時間 (<i>s</i>)	膝伸展 (<i>kg/kg</i>)	膝屈曲 (<i>kg/kg</i>)	伸展 - 屈曲比
34.5±5.3	1.427±0.471	0.223±0.052	0.165±0.023	1.280±0.476	0.292±0.044	0.256±0.095	0.81±0.16	0.45±0.06	1.79±0.33

値:平均±標準偏差。CMJ:カウンタームーブメントジャンプ, RSI;Reactive Strength Index(反応筋力指数), 伸展 - 屈曲比:伸展筋群の数値を屈曲筋群の数値で除した値。

3.3 各ステージの $\dot{V}O_2$ と下肢の最大筋力, 筋パワー, および反応筋力との相関関係

各ステージの $\dot{V}O_2$ と膝関節の伸展および屈曲の等尺性最大筋力と伸展 - 屈曲比 (図 2, 3, 4), CMJ の跳躍高 (図 5), および 4 ジャンプ RSI との間では有意な相関は認められなかった (図 6)。ドロップジャンプ RSI は分速 188m($r=-0.552$, $p<0.01$), 分速 222m($r=-0.443$, $p<0.05$), および分速 282m での $\dot{V}O_2$ ($r=-0.487$, $p<0.05$) との間で有意な相関関係が認められた (図 7)。

ランニングエコノミーと反応筋力の関係性

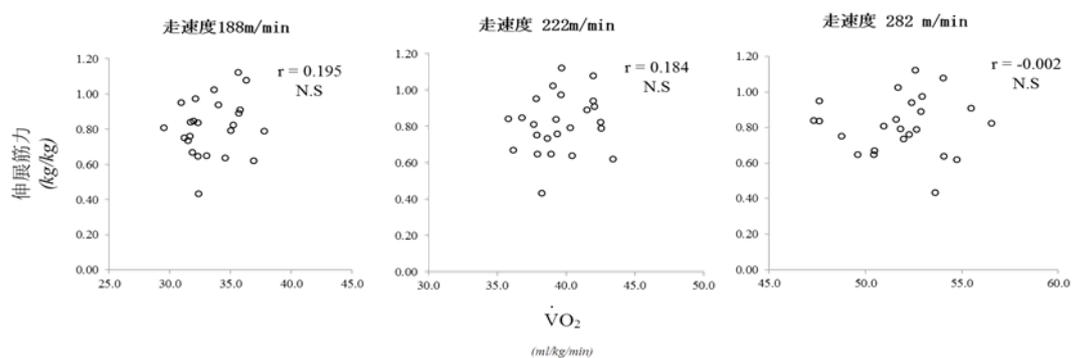


図2. 膝関節伸展の体重当たりの等尺性最大筋力と各ステージにおける $\dot{V}O_2$ との関係
注) 各走速度の $\dot{V}O_2$ がランニングエコノミーを示す

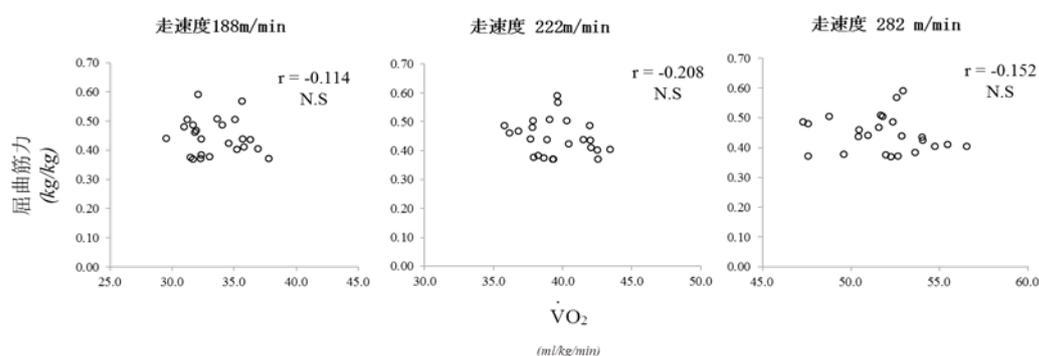


図3. 膝関節屈曲の体重当たりの等尺性最大筋力と各ステージにおける $\dot{V}O_2$ との関係
注) 各走速度の $\dot{V}O_2$ がランニングエコノミーを示す

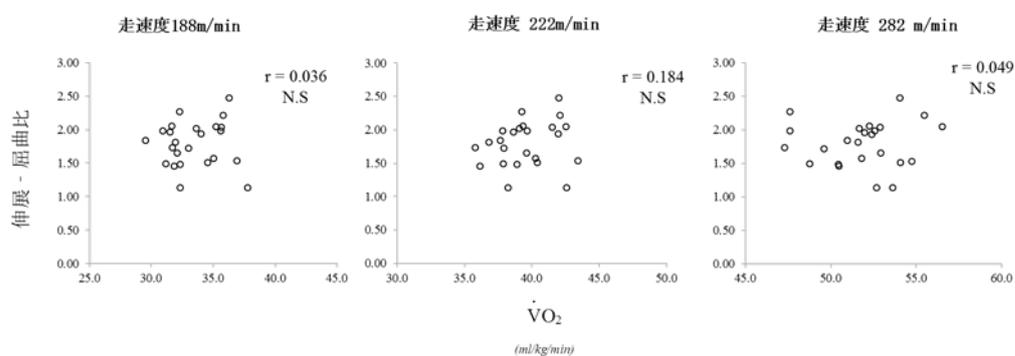


図4. 伸展 - 屈曲比と各ステージにおける $\dot{V}O_2$ との関係
注) 各走速度の $\dot{V}O_2$ がランニングエコノミーを示す

ランニングエコノミーと反応筋力の関係性

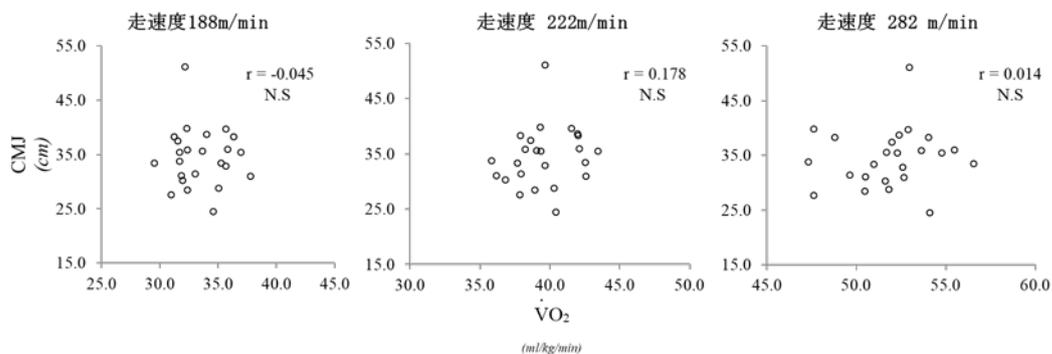


図5. カウンタームーブメントジャンプの跳躍高と各ステージにおける $\dot{V}O_2$ との関係
注) 各走速度の $\dot{V}O_2$ がランニングエコノミーを示す

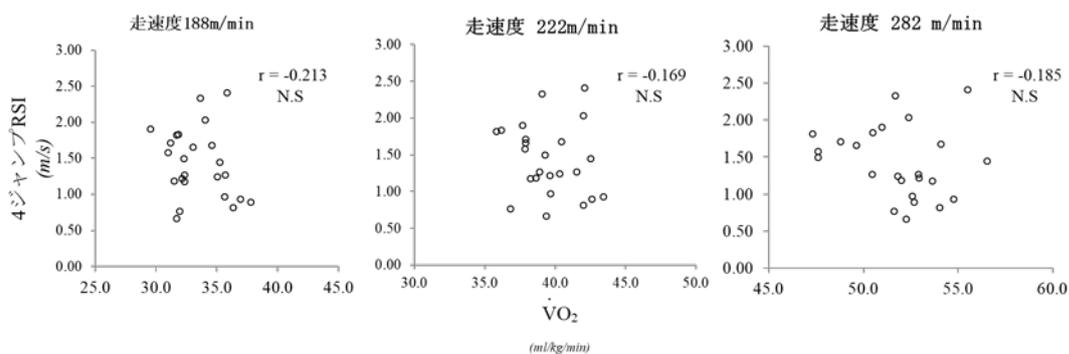


図6. 4ジャンプの反応筋力指数 (RSI) と各ステージにおける $\dot{V}O_2$ との関係
注) 各走速度の $\dot{V}O_2$ がランニングエコノミーを示す

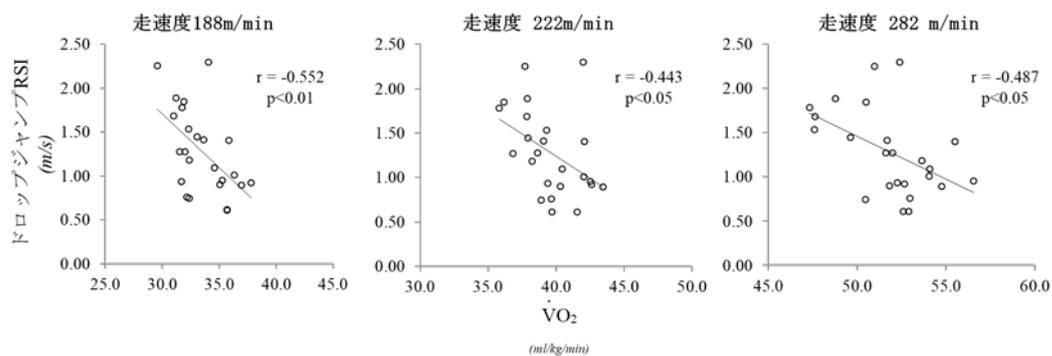


図7. ドロップジャンプの反応筋力指数 (RSI) と各ステージにおける $\dot{V}O_2$ の関係
注) 各走速度の $\dot{V}O_2$ がランニングエコノミーを示す

4. 考 察

本研究では、大学生や成人ランナーを対象とした先行研究で報告されている反応筋力とREに関係性があるという点において、高校生ランナーにおいても同様の見解が得られるのかという仮説を検証した。REの指標として3つの異なる走速度（分速188m, 222m, および282m）の $\dot{V}O_2$ と筋パワーの指標としてのCMJの跳躍高、反応筋力の指標としての4ジャンプとドロップジャンプのRSI, そして膝伸展および屈曲の等尺性最大筋力との関係性を検証した。その結果, 4ジャンプRSIと各ステージの $\dot{V}O_2$ においては有意な相関関係は認められなかったが, ドロップジャンプRSIと各ステージの $\dot{V}O_2$ に有意な相関関係が得られたため, ドロップジャンプRSIを向上させることが分速188 - 282mの走速度におけるREの改善に繋がる可能性があることが考えられる。

ドロップジャンプRSIと各ステージの $\dot{V}O_2$ で有意な相関関係が認められた点については, 大学生ランナーを対象とした先行研究の結果と同様の見解を示した (Li et al., 2021) 。 Li et al. (2021)は大学生ランナーにおいても, ドロップジャンプRSIとREにおいて有意相関が認められていることを報告しており, 本研究の結果と合わせると, どの年代のランナーにおいてもドロップジャンプRSIとREには関係性があると考えられる。ドロップジャンプのRSIに優れることで効率の良いランニングに繋がるというメカニズムについては, ドロップジャンプの動作とランニング動作に共通する下肢の反応筋力が関与していることが考えられる。反応筋力は, ランニング動作において, 筋腱複合体の伸張 - 短縮サイクルと弾性エネルギーを効率良く利用する能力を示す (Beattie et al., 2017b) 。弾性エネルギーは, 地面接地時に筋腱複合体の伸張性収縮により蓄積され, その後の短縮性収縮時に再利用されることでランニングにおける推進力の獲得に貢献することが報告されている (Anderson, 1996) 。さらに, 弾性エネルギーの再利用は, ランニング時のエネルギー利用の節約にも繋がることから (Kyröläinen et al., 2001) , 反応筋力を高めることでランニング中のエネルギー利用を節約でき, REの改善に繋がることが考えられている。

4ジャンプRSIと各ステージの $\dot{V}O_2$ との間で有意な相関が得られなかった点については, 大学生女子中距離ランナーを対象として, 4ジャンプテストに類似した連続リバウンドジャンプテストを用いた佐伯ら (2011) の報告と同様の見解を示した。ドロップジャンプRSIと各ステージの $\dot{V}O_2$ では有意な相関は認められたが, 4ジャンプRSIとでは有意な相関は得られなかった点について, ドロップジャンプと4ジャンプは地面接地時間が短いという点では共通しているものの (Schmidtbleicher, 1992), ドロップジャンプは股関節, 膝関節, および足関節が中心となって動作が遂行され (Flanagan and Comyns, 2008), 4ジャンプは足関節が中心となって動作が遂行される (後藤ほか, 2022)。REが優れるランナーは, 接地

中の股関節の伸展速度が大きく、支持脚の膝関節はより屈曲し、接地時における足関節はより背屈する傾向にあることが報告されている (丹治, 2014; Williams and Cavanagh, 1987). これらの点から、股関節、膝関節、および足関節の関与は優れたREと関係性があることが推察され、ドロップジャンプRSIと各ステージの $\dot{V}O_2$ とは有意な相関が得られた一方で、4ジャンプRSIとの間では有意な相関が認められなかった要因と考える。

トレーニング介入によるドロップジャンプRSIの向上とREの改善を検証した報告は少なく、著者の知る限りではLi et al. (2019)のみである。彼らは大学生の男子長距離ランナーを対象とし、高強度レジスタンストレーニング群、高強度レジスタンストレーニングとプライオメトリックトレーニングを組み合わせたコンプレックストレーニング群、およびコントロール群に分類し、8週間のトレーニング介入による検証を行っている。その結果、コンプレックストレーニング群のみでドロップジャンプRSIと時速16kmの走速度におけるREが有意に改善したことを報告している。他にも、反応筋力とREの関係性に関する横断的な研究においては、ドロップジャンプRSIとREが有意な相関関係にあることを報告しており (Li et al., 2021)、ドロップジャンプRSIを高めるトレーニングは長距離ランナーのREの改善に有効であることが推察できる。本研究の結果を踏まえると、高校生ランナーにおいてもドロップジャンプRSIを高めるトレーニングによってREの改善に貢献する可能性があることから、今後は介入方法まで含めた検証が必要であることが考えられる。

CMJの跳躍高と各ステージの $\dot{V}O_2$ においては、ドロップジャンプのRSIと同様の結果は得られなかった。この点についても、大学生ランナーを対象としたLi et al. (2021)の報告と同様の見解を示した。CMJは跳躍前の踏切時間 (地面接地時間) が長く (Schmidtbleicher, 1992)、REの改善に反映しないことが示唆されており (Beattie et al., 2014)、6週間のプライオメトリックトレーニングの介入研究においても、CMJの跳躍高の変化とREの変化に有意な相関は認められなかったことを報告している (Spurrs et al., 2003)。CMJの跳躍前における踏切動作は低速であることから弾性エネルギーの利用と再利用が低いため、ホッピングなどの踏切動作が高速のジャンプ動作よりも伸張 - 短縮サイクルの寄与が低くなる (Komi, 1992)。さらに、弾性エネルギーの利用と再利用による寄与が少ないと、ランニング時の $\dot{V}O_2$ は増加することが考えられていることから (Lum, 2017)、CMJの跳躍高と各ステージの $\dot{V}O_2$ の関係性が本研究においても見られなかったことが考えられる。

本研究において、膝伸展および膝屈曲の等尺性最大筋力と各ステージの $\dot{V}O_2$ で有意な相関関係は認められなかった。Mikkola et al. (2007)は、動作が速い高速度のレジスタンストレーニングを8週間に渡って介入したところ、下肢伸展の等尺性最大筋力は有意に向上したものの、等尺性最大筋力とREの相関関係については認められなかった。有意な相関が認められなかったことは、本研究と共通している点で

ある。これら結果の要因として、筋の力 - 速度関係の特性が関係していると考えられる。ランニング時の筋の収縮様式は速度が伴った伸張性および短縮性収縮の繰り返しである一方で、等尺性収縮時の筋の収縮速度は0である。ランニング時と筋力測定時の筋の収縮様式と速度が異なることから、本研究における最大筋力と各ステージの $\dot{V}O_2$ との間で有意な相関関係が認められなかった可能性がある。

Aagaard et al. (2010) は、筋の最大力発揮が高いと、一定の走速度を維持するために必要となる力発揮は相対的に低くなるため、長距離ランナーにおいても高い筋力を有することが望ましいことを示唆している。一方、筋の力発揮は、等尺性や等速性などの様式に分けられるため、どの様式の筋の力発揮を改善・高めるためのトレーニングが高校生ランナーにとって効果的であるかは慎重に考慮しなければならない。

本研究においては、高校生ランナーにおいても、先行研究にある成人ランナーと同様に、ドロップジャンプRSIがREとの間に有意な関係性があることが本研究で認められた。このことは、高校生以上のどの年代のランナーにおいても高いドロップジャンプRSIを有することでREの改善につながることを示唆している。しかしながら、発育・発達期の段階に該当する高校生ランナーのドロップジャンプRSIを高めるトレーニングの介入による影響については、今後さらに検討していく必要があると考える。

5. 結論

本研究では、高校生男子長距離ランナーを対象として、RE と筋パワー、反応筋力、および最大筋力との関係性を検討した。その結果、 $\dot{V}O_2$ と筋パワー、最大筋力、および4 ジャンプ RSI との間では有意な相関は認められなかったが、ドロップジャンプ RSI との間では、大学生ランナーを対象とした先行研究と同様に、有意な相関関係を示した。このことから、高校生ランナーにおいて、ドロップジャンプ RSI が高いほど一定の走速度における $\dot{V}O_2$ が低い傾向にあり、反応筋力を高めることが高校生ランナーのランニングエコノミーの改善に寄与する可能性があると考えられる。

参考文献

- 1) Aagaard, P. and Andersen, J. (2010) Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scand. J. Med. Sci. Sports.*, 20 (Suppl.2):39-47.
- 2) Anderson, T. (1996) Biomechanics and running economy. *Sports. Med.* 22:76-89.
- 3) 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.

- 4) Balsalobre-Fernández, C., Santos-Concejero, J., and Grivas, G.V. (2015) Effects of strength training on running economy in highly trained runners: A systematic review with meta-analysis of controlled trials. *J. Strength. Cond. Res.*, 30(8):2361-2368.
- 5) Barnes, K.R. and Kilding, A.E. (2015) Strategies to improve running economy. *Sports Med.*, 45(1):37-56.
- 6) Basset, D.R. and Howley, E.T. (2000) Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 32(1):70-84.
- 7) Beattie, K., Kenny, I.C., Lyons, M., and Carson, B.P. (2014) The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Med.*, 44(6):845-865.
- 8) Beattie, K., Carson, B.P., Lyons, M., and Kenny, I.C. (2017a) The relationship between maximal strength and reactive strength. *Intr. J. Sports. Physi. Per.*, 12: 548-553.
- 9) Beattie, K., Carson, B.P., Lyons, M., Kenny, I.C. (2017b) The effect of strength training on performance indicators in distance runners. *J. Strength. Cond. Res.* 31:9-23.
- 10) Blagrove, R.C., Howatson, G., and Hayes, P.R. (2018) Effects of strength training on the physiological determinants of middle- and long-distance running performance: A systematic review. *Sports Med.*, 48(5):1117-1149.
- 11) Conley, D.L. and Krahenbuhl, G.S. (1980) Running economy and long distance running performance of highly trained athletes. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 12(5): 357-360.
- 12) Demasceno, M.V., Lima-Silva, A.E., Pasqua, L.A., Tricoli, V., Duarte, M., Bishop, D.J., and Bertuzzi, R. (2015) Effects of resistance training on neuromuscular characteristics and pacing during 10-km running time trial. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 115(7): 1513-1522.
- 13) Flanagan, E.P., Comyns, T.M. (2008) The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength and Conditioning Journal*, 30(5):32-38
- 14) Hausswirth, C and Le Meur, Y. (2012). Physiological demands of endurance performance. In *Endurance Training Science and Practice*, edited by Iñigo Mujika, pp.1-10.
- 15) Joyner, M.J. and Coyle, E.F. (2008) Endurance exercise performance: the physiology of champions. *J. Physiol.*, 586:35-44.
- 16) Jung, P.A. (2003). The impact of resistance training on distance running performance. *Sports. Med.*, 33(7):539-552.

- 17) Komi, P. (2003). Stretch-shortening cycle. In: *2nd, ed. Strength and power in sport: Olympic encyclopedia of Sports Medicien (Vol. 3)*, edited by Paavo Komi. pp192-193.
- 18) Kyröläinen, H., Belli, A., and Komi, P.V. (2001) Biomechanical factors affecting running economy. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 33(8):1330-1337.
- 19) Li, F., Wang, R., Newton, R.U., Sutton, D., Shi, Y., and Ding, H. (2019) Effects of complex training versus heavy resistance training on neuromuscular adaptation, running economy and 5-km performance in well-trained distance runners. *Peer. J.*, 7:e6787.
- 20) Li, F., Newton, R.U., Shi, Y. Sutton, D., and Ding, H. (2021) Correlation of eccentric strength, reactive strength, and leg stiffness with running economy in well-trained distance runners. *J. Strength. Cond. Res.*, 35(6):1491-1499.
- 21) Lum, D. (2017) 持久力および筋力トレーニング, またはプライオメトリックトレーニングの同時実施がランニングエコノミーおよびパフォーマンスに及ぼす影響. *ストレングス&コンディショニングジャーナル*. 24(8): 37-45.
- 22) Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A., Pollari, T., and Häkkinen, K. (2007) Concurrent endurance and explosive type of strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *Int. J. Sports. Med.*, 28(7): 602-611.
- 23) 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.*, 86:1527-1533.
- 24) Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D., and Hawley, J.A. (2004a) Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med.*, 34(7):465-485.
- 25) Saunders, P.U., Pyne, D.B., Telford, R.D., and Hawley, J.A. (2004b) Reliability and validity of running economy in elite distance runners. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 36(11):1972-1976.
- 26) 佐伯徹郎 (2011) 大学女子中距離走者の“バネ能力”と走の経済性の関係. *陸上競技学会誌*, 9:1-5.
- 27) Schmidbleicher, D. (1992). Training for power events. In: *1st, ed. Strength and power in sport: Olympic encyclopedia of Sports Medicien*, edited by Paavo Komi. pp. 381-395.
- 28) Spurr, R.W., Murphy, A.J., and Watsford, M.L. (2003) The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 89(1):1-7.
- 29) 後藤晴彦, 黒澤亮介, 中宗一郎, 谷口耕輔, 西谷和也. (2022) 高校生男子中距離走選手における接地パターンによるジャンプ能力の違い. *岐阜県スポーツ医科学研究*, 2. 1-7.

- 30) 丹治史弥 (2014) 様々な運動強度における Running Economy の高いランニングフォームを探る.
上月研究助成事業報告書.
http://www.kozuki-foundation.or.jp/ronbun/spresearch/spres12_tanji.pdf, (参照日 2023年3月23日)
- 31) Williams, KR. And Cavanagh, PR. (1987) Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. J.Appl.Physiol., 63:1236-1245.

(2023年2月1日受付 / 2023年4月8日受理)