

大学駅伝チームにおける5000m走のパフォーマンスと脚筋パワーおよび脚筋持久力の関係

木村瑞生、古泉一久
東京工芸大学工学部

キーワード: 5000m 走、連続スクワットジャンプ、脚筋パワー、脚筋持久力

【要 旨】

本研究は、5000m走のパフォーマンスに対する脚筋パワー、筋持久力の係わりを調べることを目的とした。被験者は、S大学駅伝部の男子長距離ランナー16名(平均年齢19.6歳、5000mベストタイムの平均15分27秒、14分40秒~16分44秒)であった。5000best(過去1年間の5000m走のベストタイム)に対する脚伸展パワー($legP$)、スクワットジャンプ高の最大値($HSJmax$)および脚筋持久力(HDI)の関係について調べ、以下の3点が明らかとなった。

- 1) 脚筋パワー($legP$ と $HSJmax$)は、同年齢の一般学生の値より劣っていた。
- 2) 5000best- $legP$ 関係と5000best- $HSJmax$ 関係には有意な相関は示されなかった。
- 3) 5000best- HDI 関係には有意な相関($r=0.600$, $p<0.05$)が示された。

さらに、5000bestが15分20秒未満のグループAとそれ以上のグループBについて HDI の平均値を比較すると、グループAの値($13.6\pm 4.17\%$)がグループBの値($20.6\pm 5.94\%$)よりも有意($p<0.05$)に小であった。つまり、走力の高いランナーの方が脚筋持久力に優れていた。

以上の結果より、本研究の被験者の5000m走のパフォーマンスを高めるためには、脚筋パワーの向上($HSJmax$ を35cm以上に改善)と脚筋持久力の向上(HDI を13.6%以下に改善)を図るトレーニングの導入の必要性が示唆された。

スポーツパフォーマンス研究, 7, 171-182, 2015年, 受付日:2014年8月29日, 受理日:2015年7月6日
責任著者: 木村瑞生 〒243-0297 神奈川県厚木市飯山1583 東京工芸大学 kimura@gen.t-kougei.ac.jp

Influence of leg muscle power and leg muscle endurance on the 5000-meter-run performance of members of a university ekiden team

Mizuo Kimura, Kazuhisa Koizumi
Tokyo Polytechnic University

Key words; 5000 meter run, continuous squat jump, leg muscle power, leg muscle endurance

[Abstract]

The present study investigated influences of leg muscle power and leg muscle endurance on athletes' 5000-meter run performance. The participants in the study were 16 male long distance runners from S University's ekiden team (average age: 19.6 years, best time in the 5000-meter run: average 15 min 27 sec, range, 14 min 40 sec to 16 min 44 sec). The relation of leg extension power (legP), maximum squat jump height (HSJmax), and leg muscle endurance (HDI) to their 5000-best (each runner's best time in a 5000-m run in the past year) was analyzed. The results were as follows:

- 1) The runners' leg muscle power (legP and HSJmax) was weaker than that of typical students of the same age.
- 2) No significant relationship was observed between their 5000-best and their legP, or between their 5000-best and their HSJmax.
- 3) A significant relationship ($r=0.60$, $p<0.05$) was observed between their 5000-best and their HDI.

The participants were divided into 2 groups, based on the runners' 5000-best time. Group A's times were shorter than 15 min 20 sec, whereas the 5000-best times of the runners in Group B were longer than that. When the average HDI of Group A and group B was compared, the HDI value of Group A ($13.6\pm 4.14\%$) was found to be significantly smaller than that of Group B ($20.6\pm 5.94\%$), suggesting that the runners with higher running power had superior leg muscle endurance.

The present results suggest that in order to improve the performance of the runners who participated in this study, it is likely to be necessary to implement training aimed at improving leg muscle power (HSJmax higher than 35 cm) and leg muscle endurance (HDI lower than 13.6%).

I. 諸言

古くから長距離走のパフォーマンスには、最大酸素摂取量($VO_2\max$)などの呼吸循環系の機能が強く関連することが報告されている(Saltin・Åstrand 1967, Costill et al.1973)。近年山地ら(2010)は1500mの記録は $VO_2\max$ の値と、5000mからマラソンまでの記録は体重1kgあたりの $VO_2\max$ の値とそれぞれ最も相関が高いことを報告している。さらに、Billat・Koralsztein(1996)、Noakes et al.(1990)は、最大酸素摂取量が示された走速度が中・長距離ランナーのパフォーマンスを測る良い指標であると言っている。一方で、Hickson(1980)、Hunter et al.(1987)は、持久性トレーニングと高強度の筋力トレーニングを組み合わせることで長距離のランニングパフォーマンスが向上することを示している。Paavolainenら(1999)は、エリートクロスカントリーランナーを対象に、9週間の爆発的筋力トレーニング(explosive strength training)と持久性トレーニングを組み合わせたトレーニングによって、最大酸素摂取量の向上なしに5km走のタイムが有意に短縮したことを報告している。Taipal et al.(2013)は、脚筋のExplosive strength trainingと持久性トレーニングを組み合わせることによって、持久性パフォーマンスが改善されることを報告している。しかしながら、これらの研究報告は長距離ランナーにレジスタンストレーニングを課した場合のトレーニング効果(ランニングパフォーマンスの改善)に関する結果であり、長距離ランナーのランニングパフォーマンスと脚筋パワーの関係の結果は示されていない。

短距離走のような疾走能力については、脚筋パワーとの関係について調べられており、両者の関係には高い相関が示されている(生田ら、1972)。一方、長距離走の能力と脚筋パワーの間に相関関係が存在するかについては疑問である。三木本ら(2000)は、マラソン出場者を対象にマラソンの平均スピードと脚の筋力やパワーに関する項目について調べている。その結果、マラソンランナーの平均スピードと脚力および平均スピードと脚筋パワーそれぞれの関係には有意な相関が示されなかったことを報告している。さらに、彼らはマラソンではレース後半の脚筋の伸長-短縮サイクル(SSC)の機能が大きく低下することを指摘し、マラソンにおいては高水準の脚筋機能の維持が重要であることを示唆している。つまり、一定のペースで走り続けることが要求されるマラソンでは、脚筋パワーというよりも脚筋持久力がパフォーマンスに影響することを示唆している。しかし、マラソンに比べて高い走スピードの維持とスピード変化への対応能力が要求される5000m走においては、より短距離走に近い脚筋のパワーとその維持能力(筋持久力)が必要になると考えられる。そのため、5000m走のパフォーマンスにおける脚筋の特性について以下の3つの問題が提起される。

- 1) 長距離ランナーの脚筋パワーは高いのか低いのか
- 2) 5000m走のパフォーマンスに脚筋パワーは関係するのか
- 3) 5000m走のパフォーマンスに脚筋持久力は関係するのか

これらの疑問点を事例的にでも明らかにすることが、現在、長距離ランナーが行っているトレーニングの再考につながり、またそのトレーニングを意識的に取り組めるひとつの材料になり得ると考える。

そこで、本研究では長距離ランナーの5000m走のパフォーマンスに対する脚筋のパワーと筋持久力それぞれの関係について調べ、長距離ランナーの脚筋特性の評価方法を提案し、走パフォーマンス向上のためのトレーニング方法の立案に役立てることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

本研究の被験者は、S大学駅伝部の男子長距離ランナー16名(平均値±SD:年齢 19.6±0.8歳、身長 170.6±6.5cm、体重 57.0±4.2kg、BMI19.6±1.1kg/m²、体脂肪率 7.1±2.8%)であった(表1)。

本実験では、長距離走のパフォーマンスの指標として、被験者の過去1年間の5000mベストタイム(5000best)を採用した。被験者16名の5000bestは、14分40秒～16分44秒(平均15分27秒)であった(表1)。関東学生陸上競技連盟(2014)の第93回関東学生陸上競技対校選手権大会標準記録によると、本研究の被験者の5000bestは、男子2部のB標準(14分35秒)にも届かない記録であった。

表1 被験者の身体的特徴と過去1年間の5000mのベストタイム

被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI	体脂肪率 (%)	5000m ベストタイム (分:秒)
A	19	175.8	59.7	19.3	4.4	14:40
B	19	172.4	59.2	19.9	10.3	14:54
C	18	165.5	58.1	21.2	11.2	15:02
D	21	167.7	57.7	20.5	6.5	15:03
E	20	172.6	60.8	20.4	6.4	15:04
F	20	163.3	48.5	18.2	3.0	15:16
G	20	170.3	59.9	20.7	9.3	15:17
H	19	168.2	57.6	20.4	7.1	15:18
I	21	175.2	53.8	17.5	3.0	15:22
J	20	178.8	63.1	19.7	8.3	15:25
K	19	167.4	54.3	19.4	8.2	15:26
L	20	185.4	61.1	17.8	4.6	15:44
M	19	170.4	59.0	20.3	12.3	15:50
N	20	163.9	54.2	20.2	6.8	15:56
O	19	173.8	57.2	18.9	5.9	16:05
P	20	159.2	48.3	19.1	5.5	16:44
Mean	19.6	170.6	57.0	19.6	7.1	15:27
SD	0.8	6.5	4.2	1.1	2.8	00:31

本実験は、被験者に本研究の趣旨、内容について十分説明しインフォームドコンセントを得た後に実施した。

2. 脚筋パワーと脚筋持久力の測定方法

(1) 脚筋パワーの測定

各被験者の脚筋パワーの指標として、脚伸展パワー (legP)、ハーフ・スクワットジャンプ (HSJ) 高を測定した。legPは、脚伸展パワー測定装置 (アネロビクス3500、コンビ社製) を用いて、HSJは、マルチジャンプテスト (DKH社製) を用いて測定した。HSJ高の値は、後述の20試行連続HSJの1～3試行のうちの最大値 (HSJmax) を採用した。

(2) 脚筋持久力の測定

各被験者の脚筋持久力の指標として、最大努力による 20 試行連続 (20HSJ) の減衰率を求めた。本実験で採用した減衰率は、Jones ら (2009) の連続パワーグリップ力の減衰率 (strength decrement index:SDI) を参考にし、図1に示したように height decrement index (HDI) として次の式によって求められた。

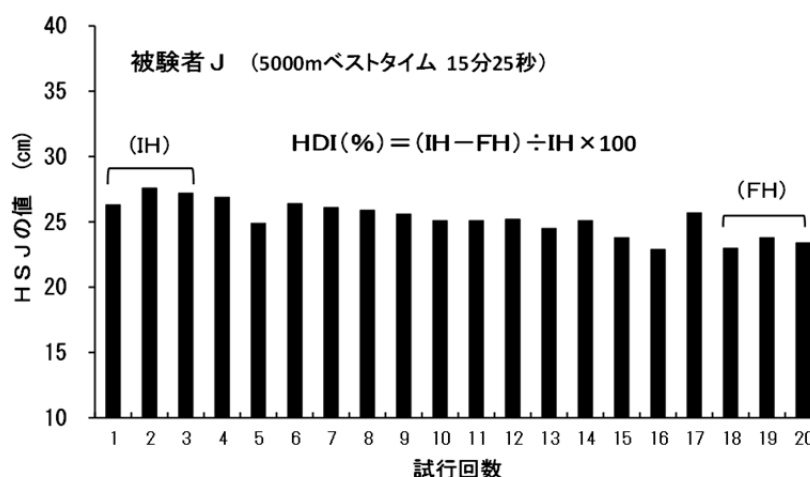


図1 HDIの求め方

IH: 1~3試行の平均ジャンプ高(cm)、 FH: 18~20試行の平均ジャンプ高(cm)

$$\text{HDI}(\%) = (\text{IH} - \text{FH}) \div \text{IH} \times 100$$

IH(初期のジャンプ高) = 1~3試行の平均ジャンプ高(cm)

FH(最終のジャンプ高) = 18~20 試行の平均ジャンプ高(cm)

本実験で実施した 20HSJ を測定する前に、被験者には HSJ のフォームや試行のリズム、最大努力の意識ついて指導した。HSJ の指導のポイントは次のとおりである。①被験者は両手を腰に当てる。②足を肩幅に開く。③ハーフ・スクワットの姿勢をとる。④験者のスタートの号令により最大努力でジャンプする。⑤着地後直ちにハーフ・スクワットの姿勢をとる。⑥験者の号令で2試行目のジャンプを最大努力で開始する(験者は、被験者の試行毎の HSJ の姿勢を観察しながら 1.3~1.5 秒間隔で号令を 20 までかける)。

3. 実験手順

本実験は以下の手順で遂行した。

- (1) 身体計測(身長、体重、BMI、体脂肪率)
- (2) LegP の測定
- (3) 連続 HSJ の練習(フォーム、ジャンプのリズム、最大努力の意識の指導)
- (4) 休憩(15 分)
- (5) 20HSJ の測定(HSJmax と HDI を求める)

4. データ解析

長距離走のパフォーマンスと脚筋パワーおよび脚筋持久力の関係を調べるために、5000best に対する LegP、HSJmax および HDI の相関係数(r)をそれぞれ求めた。

さらに、便宜的に 5000best を基準に被験者 16 名を2グループ(Aグループ:15 分 20 秒未満、Bグループ:15 分 20 秒以上)に分け、HDI の平均値の差の検定(t-検定、 $p < 0.05$)を行った。

III. 結果

1. 長距離ランナーの脚筋パワー

5000mのベストタイムが 14 分 40 秒から 16 分 44 秒(平均 15 分 27 秒)の被験者 16 名の脚筋のパワー(LegP、HSJmax)を表2に示した。LegP の平均値と HSJmax の平均値は、それぞれ 21.5 ± 2.3 w/kg (16.40~24.3w/kg)と 29.3 ± 5.2 cm (18.0~35.6cm)であった。

表2 被験者の脚筋パワー

被験者	legP (w/kg)	HSJmax (cm)
A	22.90	34.5
B	22.60	29.2
C	19.90	31.1
D	21.80	34.8
E	22.60	24.8
F	20.60	32.0
G	16.40	22.2
H	20.50	34.0
I	20.40	32.7
J	23.80	27.2
K	24.20	35.6
L	24.30	27.5
M	16.60	18.0
N	22.90	30.4
O	22.90	33.4
P	20.90	21.6
Mean	21.5	29.3
SD	2.3	5.2

legP:脚伸展パワー(w/kg)、HSJmax:HSJ 中の最高ジャンプ高

2. 5000best と脚筋パワーの関係

脚筋パワーが 5000mのパフォーマンスに及ぼす影響を調べるために、被験者 16 名について 5000best と LegP の関係および 5000best と HSJmax の関係をそれぞれ図2と図3に示した。5000best と脚伸展パワー関係の相関係数は、極めて低い値($r = -0.037$)であった(図2)。また、5000best と HSJmax 関係の相関係数も有意な値($r = -0.408$)ではなかった(図3)。

このように、本実験の被験者においては、5000m 走のパフォーマンスと脚筋パワー (LegP と HSJmax) との間には有意な相関は示されなかった。

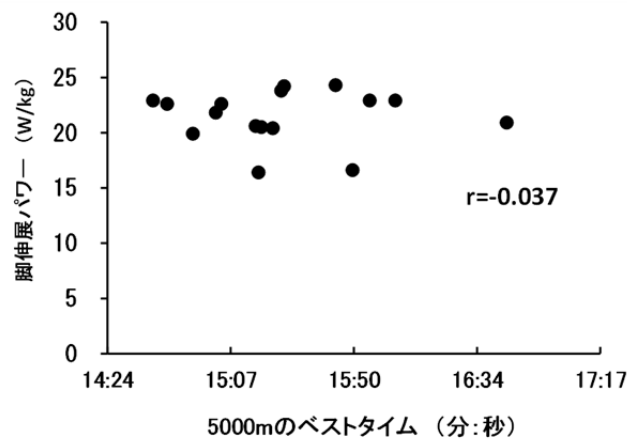


図2 5000m ベストタイムと脚伸展パワーの関係

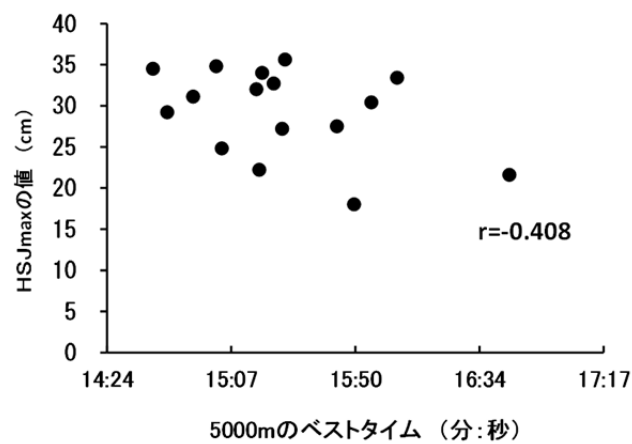


図3 5000m ベストタイムとHSJmax の関係

3. 5000best と脚筋持久力の関係

5000best と脚筋持久力の関係を調べるために 5000best と HDI の関係を図4に示した。その結果、5000best の良い者ほど HDI の値が小となる傾向を示し、両者の相関係数($r=0.600$)は統計学的に有意 ($p<0.05$)であった。

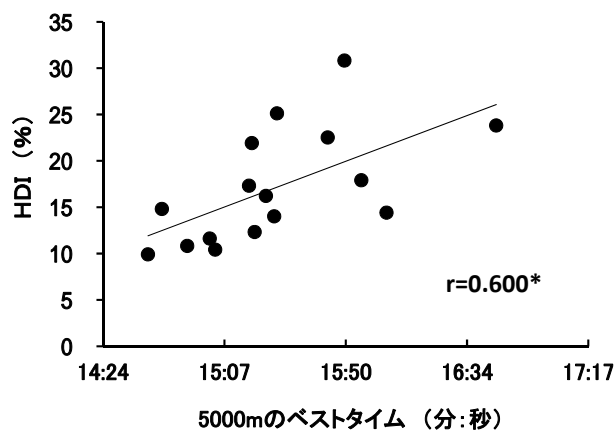


図4 5000m ベストタイムとHDIの関係
*: p<0.05

図5には、便宜的に 5000mベストタイムを基準にAグループ(15分20秒未満、被験者8人、平均タイム 15分02秒±15秒)とBグループ(15分20秒以上、被験者8人、平均タイム 15分49秒±27秒)に分け、それぞれの HDI の平均値を比較した。Aグループの HDI の値(13.6±4.17%)は、Bグループの値(20.6±5.94%)より明らかに低く、その差は統計学的に有意 (p<0.05)であった。

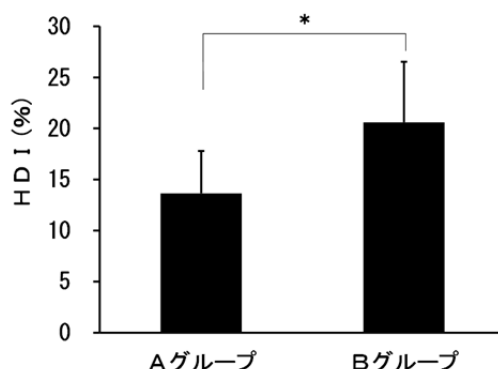


図5 走力の異なるグループのHDIの比較
A:5000mのベストタイムが15分20秒未満のグループ(被験者8人)
B:5000mのベストタイムが15分20秒以上のグループ(被験者8人)
*: p<0.05

IV. 考察

本研究では、各被験者の VO₂max は測定しなかったが、5000mベストタイムと VO₂maxの間には非常に高い相関(男子:r=-0.85、女子 r=-0.80)が示されている(Ramsbottom et al. 1987)。このように、長距離走、特に 5000m走のパフォーマンスには優れた呼吸循環系の機能が大きく関与していることは事実である。しかしながら、本研究では呼吸循環系の能力の必要性に加えて、長距離ランナー16名(5000mベストタイムの平均値が14分40秒から16分44秒)の5000bestと脚筋特性の関係に興味ある結果が得られたので以下に考察する。

1. 長距離ランナーの脚筋パワー (LegP、HSJmax) の現状

本研究の被験者において、HSJmax の平均値は $29.3 \pm 5.2\text{cm}$ (18.0~35.6cm) あった (表2)。この値は、同一測定器を用いた一般学生の体力測定の結果 (木村・山本、2013) の垂直跳びの平均値 ($42.9 \pm 7.5\text{cm}$) から推測すると、決して優れた値ではなくどちらかと言えば一般学生以下と考えられる。LegP についても、本研究の被験者の平均値 $21.5 \pm 2.3\text{w/kg}$ (16.4~24.2w/kg) は、標準体型の一般学生の平均値 24.0w/kg (木村ら、2002) より明らかに劣っている。このように本研究の被験者の脚筋パワー (LegP、HSJmax) の値は一般学以下ということになる。Paavolainen et al (1999) は、エリートクロスカントリーランナーを対象に9週間の explosive strength training と持久性トレーニングを組み合わせたトレーニング実験において、持久性トレーニングが約9割を占めるコントロール群の 20mダッシュ (V20m) および立5段跳び (5J) それぞれの記録がトレーニング前に比してトレーニング後に有意に低下したことを示した。これら V20m と 5J は、脚の瞬発力を要する種目であるため本実験の LegP と HSJmax に共通する種目と考えられる。Paavolainen et al (1999) の結果を考えると、本研究の被験者の日々のトレーニング内容の9割以上が持久性トレーニングであることから、彼らの LegP と HSJmax の低レベルな値は、長年にわたる持久性トレーニングが招いた結果と推測される。

2. 5000best と脚筋パワー (LegP、HSJmax) の関係

本研究では、5000best と LegP および 5000best と HSJmax それぞれの関係において有意な相関は示されなかった (図2、図3)。岩竹ら (2008) は、145名の男子生徒 (15.6歳) を対象に 50m走と各種ジャンプ種目との有意な相関を報告している。その結果において、最も高い相関を示した種目は立3段跳び ($r=0.632$) あり、本実験に相当する垂直跳びは $r=0.588$ であった。また、生田ら (1972) は、22名の男子 (18~33歳)、9名の女子 (18~23歳) を対象に、自転車エルゴメータによる体重あたりの最大パワーと 50m走との間に高い相関 (男子: $r=-0.72$ 、女子: $r=-0.88$) を示している。このように、脚筋のパワーは疾走能力との関連性が強く、本実験の 5000m14分40秒から16分44秒のランナーの長距離走パフォーマンスとは関連しないと考えられる。また、三木本ら (2000) は、マラソンの平均スピードと脚力関係およびマラソンの平均スピードと脚パワー関係には有意な相関が示されないことを報告している。本研究の 5000best-LegP 関係と 5000best-HSJmax 関係に有意な相関が示されなかったことは、彼らの結果を支持するものになるとも考えられる。

3. 5000best と HDI の関係

本研究では、5000best と HDI の関係において有意な相関 ($r=0.600$, $p<0.05$) が示された (図4)。HDI 測定の際、事前に験者は被験者に対して HSJ のフォームの指導、連続ジャンプのリズム、そして、試行毎に最大努力でジャンプすることを十分に指導した。さらに最大努力のジャンプを持続させるために、20HSJ の最中にも被験者に対して試行毎のジャンプ高を口頭で伝え、出来る限りジャンプ高を維持させるようにした。したがって、今回の結果で示された 20HSJ 後半のジャンプ高の低下は、被験者の意識 (最大努力) の低下によるものではないと考えられる。

Paavolainen et al. (1999) は、持久走のパフォーマンスの向上には最大酸素摂取量、乳酸閾値、ランニングエコノミー (RE)、VMART (筋パワーの指標:トレッドミル走における 20 秒間の最大スピード) の4

つ要素が関与していることを示している。そして、RE は神経-筋特性の改善により向上し、神経-筋特性は explosive strength training により改善することを示している。彼らが実施した explosive strength training には、ジャンプトレーニング(交互ジャンプ、両脚ジャンプ、ドロップジャンプ、ハードルジャンプ、片足ジャンプ、立5段跳び)が含まれており、本研究の20HSJはまさしく彼らのジャンプトレーニングに相当するものと思われる。そして、このようなジャンプトレーニングは、中枢神経系から脚筋への運動指令の入力が非常に高くなることが言われている(Hakkinen・Komi, 1985)。したがって、本研究の20HSJは中枢神経系から脚筋への非常に高い運動指令の入力による筋持久力テストであると言えるかもしれない。

つまり、20HSJの結果、HDIの値が小さい者ほど筋持久力とREが優れており、5000mのランニングスピードに好影響を及ぼし、結果として5000bestとHDIの有意な関係として表れたと推測される

最後に本研究結果は、関東学生陸上競技連盟(2014)主催の関東学生陸上競技選手権大会標準記録の男子2部B標準の5000m14分35秒を52秒もオーバーしているランナー集団(平均値タイム15分27秒、14分40秒~16分44秒)から得られたものである。エリート長距離ランナー(例えば5000m13分台)にもHDIと記録の関係が成立するのかは今後の課題である。

V. 現場への提言

5000mの平均値タイム15分27秒(14分40秒~16分44秒)の集団のランナーは、脚筋パワーの指標であるHSJmaxとLegPの値が、一般学生より劣っていることが示唆された。脚筋のパワー値が低いということは、疾走能力が劣っていることを意味しており、レースでのラストスパートにおけるスプリント力で負けてしまう可能性が大きい。したがって、一般学生よりも劣ったHSJmaxやLegPを有するランナーは、せめて一般学生並みの値(HSJmax:35cm、LegP:24w/kg)に改善するトレーニングの導入が必要である。例えば脚筋のプライオメトリックトレーニング(バウンディング、両脚連続ハードルジャンプ、連続スクワットジャンプなど)の導入は必須であると考えられる。

さらに、本研究の20HSJ実施中の観察より、HDIの値が劣る被験者は、スクワットジャンプの姿勢の乱れが目立った。このことから、HDIの値には脚筋だけではなく、体幹や上肢帯の筋群の強さも影響していることが推測される。したがって、それらの筋群を強化するトレーニングの積極的な導入が望まれる。

日々のトレーニングが持久走中心で記録の伸びが停滞している長距離ランナーは、まず、脚筋パワー(HSJmax:35cm以上)と脚筋持久力(HDI:13.6%以下)を評価し、その結果を基に自重を利用したレジスタンストレーニングのプログラムを組み実践することが大切である。それが、一層の5000mの記録向上に繋がり、結果として20km以上のレースにも好影響を及ぼすものと考えられる。

VI. まとめ

本研究は、5000bestの平均値が15分27秒(14分40秒~16分44秒)の16人の長距離ランナーを対象とし、長距離ランナーの脚の筋持久力とパワーの評価方法を提案し、走パフォーマンス向上のための脚の神経-筋系特性の改善を図るトレーニング内容の組み立てに役立てることを目的とした。

結果として、本研究で対象とした競技レベルの被験者において、以下の3点が明らかとなった。

- 1) 長距離ランナーの脚筋パワー(legP、HSJmax)は、一般学生より劣っていた。

2) 5000best-legP 関係と 5000best-HSJmax 関係には有意な相関は示されなかった。

3) 5000best-HDI 関係には有意な相関($r=0.600$, $p<0.05$)が示された。

以上の結果から、5000m走のパフォーマンスの向上を図るひとつの方法として、脚筋持久力とパワーの改善を考慮したレジスタンストレーニングの導入が示唆された。

<参考文献>

- Billat L., J. P. Koralsztein (1996) Significance of the velocity at VO_2 max and time to exhaustion at this velocity. Sports Med., 22:90-108
- Costill D.L., Thomason H., Roberts E. (1973) Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. Med.Sci.Sports, 5(4):248-252
- Häkkinen K., Komi P.V. (1985) Effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercise. Scand. J. Sports Sci., 7:65-76
- Hickson R.C. (1980) Interference of strength development by simultaneous training for strength and endurance. Eur. J. Appl. Physiol., 215:255-263
- Hunter G., R. Demment, D. Miller (1987) Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance.
- J. Sports Med. Phys. Fit., 27:269-275
- 生田香明、渡部和彦、大築立志 (1972) 50m疾走におけるパワーの研究. 体育学研究, 17:61-67
- 岩竹淳、山本正嘉、西菌秀嗣、川原繁樹、北田耕司、関子浩二 (2008) 思春期後期の生徒における加速および全力疾走と各種ジャンプ力との関係. 体育学研究, 53:1-10
- Jones D.W., Robertson L.D., Fioni S.F. (2009) A strength-endurance index for power grip. J. Occup. Rehabil, 19(1):56-63
- 関東学生陸上競技連盟 (2014) 第 93 回関東学生陸上競技対校選手権大会標準記録. 関東学生陸上競技連盟, <http://www.kgrr.org/>
- 木村瑞生、北均、五十嵐桂一、山本正彦 (2002) 身体組成別にみた脚伸展パワーの比較-東京工芸大学新入生体力テストの結果より-. 東京工芸大学工学部紀要, 25(1):24-34
- 木村瑞生、山本正彦 (2013) 東京工芸大学新入生における 15 年間の体格と体力の推移. 東京工芸大学工学部紀要, 36(1):48-54
- 三木本温、佐伯徹郎、山本泰明、鍋倉賢治、高松薫 (2000) マラソンレースにおける走速度の低下と筋力および筋パワーの低下との関係. 体育学研究, 45:503-512
- Noakes T.D., K.H. Myburgh, R. Schall (1990) Peak treadmill running velocity during the VO_2 max test predicts running performance. J. Sports Sci., 8:35-45
- Paavolainen L., Häkkinen K., Häkkinen A., 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

- R. Ramsbottom, M. G. L. Nute, C. Williams (1987) Determinants of five kilometre running performance in active men and women. *Brit. J. Sports Med.*, 21(2):9-13
- Saltin B, Åstrand P.O.(1967) Maximal oxygen uptake in athletes. *J.Appl.Physiol.*,23:353-358
- Taipal R.S., Mikkola J., Vesterinen V., Nummela A., Häkkinen K. (2013) Neuromuscular adaptation during combined strength and endurance training in endurance runner: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *Eur J Appl Physiol.*, 113(2):325-335
- 山地啓司、橋爪和夫、遠山孝司(2010) 中・長距離走の競技記録と体重のべき指数当りの最大酸素摂取量, *スポーツパフォーマンス研究*, 2:165-171