［原著論文］

学生中長距離エリートランナーにおける高強度走行中のランニングエコノミーと5000m走パフォーマンスとの関係

西出仁明*1・両角　速*1・丹治史弥*2・両角　駿*3

Relationships between 5000-m running performance and running economy during high-intensity running in elite collegiate distance runners

by

Noriaki Nishide, Hayashi Morozumi, Fumiya Tanji and Syun Morozumi

Abstract

The purpose of this study was to clarify the relationship between 5000-m running performance and physiological variables including O_{2Cost} and running economy considered with anaerobic energy metabolism (RE_{ana}) during high intensive running. 15 elite male collegiate distance runners (5000-m race time：13'57"24±15"4；$\dot{V}O_{2max}$：80.2±2.9 ml/kg/min) participated in this study. O_{2Cost} was evaluated only by $\dot{V}O_2$, RE_{ana} was evaluated using $\dot{V}O_2$, respiratory exchange ratio (RER), and anaerobic energy metabolism considered by blood lactate concentration at an intensity below and above the lactate threshold. The main findings of this study is following：

1) 5000-m running performance of elite runners was not related with maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2max}$), velocity of $\dot{V}O_{2max}$ ($v\dot{V}O_{2max}$), and velocity of LT (vLT).
2) Both O_{2Cost} and RE_{ana} at an intensity below the LT (300 m/min) were associated with 5000-m running performance ($r=0.77$ and 0.73； $p<0.01$, respectively). In addition, there were observed a significant relationship in 5000-m running performance with both O_{2Cost} and RE_{ana} at an intensity above the LT (300 m/min；$r=0.56$ and 0.64；$p<0.05$ and 0.01, respectively). Moreover, 5000-m running performance was observed a significant relationship with RE_{ana} at an intensity near the 5000-m race pace (360 m/min；$r=0.56$；$p<0.05$) but not with O_{2Cost} ($r=0.51$；$p=0.06$).
3) There were not a significant difference between O_{2Cost} and RE_{ana} at an intensity below the LT. However, a significant difference ($p<0.01$) was observed intensities above the LT. When the LT is above (320 m/min), the possibility that O_{2Cost} overestimate RE was indicated.

＊1　東海大学体育学部競技スポーツ学科　　＊2　国立スポーツ科学センタースポーツ科学部
＊3　東海大学大学院体育学研究科修士課程

Ⅰ．緒言

中長距離走パフォーマンスは最大酸素摂取量（maximal oxygen uptake：$\dot{V}O_{2max}$），乳酸性作業閾値（lactate threshold：LT），および走の経済性（running economy： RE）によって大部分が説明でき[1]，競技レベルの優れたランナーにとってはREが重要な生理学的指標となる[2]。REはある走スピードをいかに少ないエネルギーによって走行できるかを示す能力であり，値が小さいほどREに優れていると評価できる。これまでREはLTを超えない強度において酸素摂取量（oxygen uptake：$\dot{V}O_2$）によって評価されてきた。REと走パフォーマンスとの関係性は，競技レベルの優れた選手を対象にした研究が多くあり，同レベルであればREに優れるほど高いパフォーマンスを示すこと[3,4,5,6]や，$\dot{V}O_{2max}$が低くてもREに優れることで同パフォーマンスを示すこと[2]が報告されている。

これまでREは一般的にLTを超えない強度の走行に対する$\dot{V}O_2$による評価[2]やある距離を走るために必要となる$\dot{V}O_2$をエネルギーコスト（O_2コスト：O_{2Cost}）として評価されてきた[7,8]。しかし，実際のトラック競技では，LT強度を超える速度で走行しており，急激な速度変化が繰り返されるレースやラストスパートに対応するレースが展開されている。そのため中長距離走パフォーマンスを評価する際，LTを超えない強度でのREの評価ではなく，LTを超える強度におけるREの評価が実際の競技パフォーマンスとの関連が強くなると推測されるが，これまでLTを超える高強度走行中のREを明らかにした研究は非常に少ない。その要因として，運動強度がLTを超えると，エネルギー基質利用割合が変化し，無酸素性エネルギー代謝の動員が増大する[4]ためと指摘されている。これらの生理応答を踏まえると，$\dot{V}O_2$のみで正確にLTを超える強度におけるREを評価できているか疑問が呈されている[9]。この問題に対して，Tanji et al.[10,11]は，LTを超える強度におけるREを，$\dot{V}O_2$および呼吸交換比（respiratory exchange ratio：RER）によって有酸素性エネルギー代謝量，血中乳酸蓄積量（blood lactate accumulation：ΔbLa）によって無酸素性エネルギー代謝量をそれぞれ算出し，それらを加算した評価方法によってそれぞれ800 m[11]および1500 m[10]との関連を報告した。しかし，800 mや1500 mと比べて平均走速度が小さいものの，レース中の走速度はLTを超える強度である5000 m走パフォーマンスとの関係を明らかにした研究はない。

そこで本研究では，競技パフォーマンスに優れた学生中長距離ランナーを対象に，高強度走行中における$\dot{V}O_2$のみによって評価されたO_{2Cost}および無酸素性エネルギー代謝能力を考慮したRE（running economy considered with anaerobic energy metabolism：RE_{ana}）を含む生理学的変数と5000 m走パフォーマンスとの関係を明らかにすることを目的とした。

Ⅱ．方法

1. 被験者

本研究の被験者は，中長距離走を専門的にトレーニングを行っている学生ランナー15名であった。被験者の身体的特徴と5000 mシーズン最高記録は表1の通りである。被験者の5000 mシーズン最高記録は，実験を実施した過去1年に記録した最も高い記録（5000 mSB）を用い，国際陸上競技連盟（International Association of Athletics Federations：IAAF）が発行するIAAF Score[12]の得点に換算すると1009.6±51.0であった。被験者には本実験の目的，方法ならびに危険性を説明し，書面にて実験参加に対する同意を得た。また，本研究は東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認（承認番号16165）を得て実施した。

2. 実験デザイン

O_{2Cost}およびRE_{ana}を含む生理学的変数を明らかにするために多段階漸増負荷走行テストを実施した。多段階漸増負荷走行テストは室内の傾斜1％に設定されたトレッドミル上で最初の走速度を280 m/minとし，3分間走行を1ステージごとに20 m/min走速度を漸増させ，各ステージ間に血液採取およびトレッドミルの速度調整のために2

分間の休息をはさみ，5ステージ実施させた。5ステージ走行後，7分間安静にさせ，その後疲労困憊に至るまで1分ごとに10 m/min走速度を漸増させながら連続的に走行させた。疲労困憊は，1）呼吸交換比（respiratory exchange ratio：RER）が1.15以上，2）年齢から推定される最大心拍数（220―年齢）に達している，3）血中乳酸濃度（blood lactate concentration：bLa）が8.00 mmol/L以上のうち，いずれか2つを満たしている場合とした[7]。

酸素摂取量（oxygen uptake：$\dot{V}O_2$），二酸化炭素排出量（carbon dioxide production：$\dot{V}CO_2$）および換気量は，自動呼気ガス分析器（Quark CPET，Cosmed,Italy）のミキシングチャンバモードを用いて10秒ごとに測定した。テスト開始前，各ステージ走行直後および疲労困憊後1分，3分に指先から血液を採取し，血中乳酸分析器（ラクテート・プロ2，アークレイ社，京都）によってbLaを分析した。心拍数はハートレートモニタ（RS 800，Polar Electro Japan，東京）によって連続測定した。

3. 算出項目および算出方法

多段階漸増負荷テストにおいて連続する1分間の$\dot{V}O_2$の最高値を$\dot{V}O_{2max}$として採用した。$\dot{V}O_{2max}$時の走速度（velocity of $\dot{V}O_{2max}$：v$\dot{V}O_{2max}$）は多段階漸増負荷テストにおける各ステージにおける$\dot{V}O_2$によって，$\dot{V}O_2$―走速度回帰直線を求め，$\dot{V}O_{2max}$を外挿することで算出された。なおこの時，各走速度の$\dot{V}O_2$は各ステージ走行終了前1分間の$\dot{V}O_2$とした。LT時の走速度（velocity of LT：vLT）は，多段階漸増負荷テストにおける各走速度に対するbLa（走速度―bLa）に対して残差が最小となる2本の直線回帰の交差する点とし，Lactate analysis software（Lactate ― E ver.2）によって算出された[13]。この算出方法は，血中に乳酸が蓄積されることによって出現するベースラインからブレーク地点を正確に評価できるモデルとされている[13]。LTは$v\dot{V}O_2max$に対するvLTの強度として算出された。O_{2Cost}はdi Prampero et al.の方法[14]を用いて，20.9 kJ/O_2Lによって算出し，各ステージにおける$\dot{V}O_2$から，1 kmあたりのコスト（kcal/kg/km）として算出した。なお，1Jは0.239 calとした。RE_{ana}は各ステージ走行時の$\dot{V}O_2$，RERおよびbLaの結果から，Tanji et al.の方法[10,11]を用いて，1 kmあたりのコスト（kcal/kg/km）として算出した。

4. 統計分析

統計処理にはSPSS Statistic 23（IBM社，Chicago，IL）を用いた。5000 mシーズン最高記録（mm'ss"0）と$\dot{V}O_{2max}$，LT，$v\dot{V}O_{2max}$，vLT，O_{2Cost}およびRE_{ana}の関係を明らかにするためにPearsonの積率相関係数を用いて分析した。O_{2Cost}およびRE_{ana}の走速度の増大に伴う変化を明らかにするために一要因分散分析を行い，有意な主効果が認められたときBonferroniの信頼区間の調整を用い多重比較検定を行った。また，各走速度におけるO_{2Cost}とRE_{ana}の差を確認するために，コストと走速度の二要因分散分析を行い，有意な主効果が認められたときBonferroniの信頼区間の調整および対応のあるt検定を行った。実験の測定値はすべて平均値±標準偏差で示し，すべての検定において統計的有意水準は5％未満とした。

Ⅲ．結果

1. $\dot{V}O_{2max}$，$v\dot{V}O_{2max}$，vLTおよびLTと5000 m走パフォーマンスとの関係

表1は被験者の$\dot{V}O_{2max}$，$v\dot{V}O_{2max}$，vLTおよびLTを示したものである。被験者の$\dot{V}O_{2max}$が80.2±2.9 mL/kg/min，$v\dot{V}O_{2max}$が367.6±6.2 m/min，vLTが322.8±9.7 m/min，LTが87.9±3.6％であった。表2はvLT，$v\dot{V}O_{2max}$，$\dot{V}O_{2max}$およびLTと5000 m走パフォーマンスとの相関関係を示したものである。これらの生理的学的指標との間に有意な相関関係は認められなかった。

2. O_{2Cost}およびRE_{ana}と5000 m走パフォーマンスとの関係

各走速度におけるO_{2Cost}およびRE_{ana}の算出に用いた生理学的指標を表3に，LT算出に用い

表 1　被験者の身体的特性および 5000 mSB と多段階漸増負荷テストの結果

	Age (yers)	Height (cm)	Weight (kg)	5000 mSB (分　秒)	$\dot{V}O_2max$ (mL/kg/min)	$v\dot{V}O_2max$ (m/min)	vLT (m/min)	LT (%)
A	22	177.0	58.0	13'52"92	80.2	374.3	316	84.4
B	22	175.0	56.1	14'07"71	80.3	360.5	340	94.3
C	22	172.0	53.8	13'51"42	77.6	366.4	316	86.2
D	21	166.8	54.0	13'47"26	87.4	373.1	330	88.4
E	21	170.8	53.2	14'21"67	83.3	362.0	312	86.2
F	20	172.0	62.4	14'00"32	80.2	354.8	328	92.5
G	20	172.0	54.6	14'31"87	83.9	369.2	328	88.8
H	20	169.3	52.9	13'56"07	77.2	368.3	310	84.2
I	20	170.1	52.0	13'38"58	81.1	372.7	310	83.2
J	20	173.0	56.2	13'41"09	79.5	369.0	332	90.0
K	20	178.0	57.0	13'35"81	78.0	369.7	316	85.5
L	20	172.6	62.1	13'48"89	81.1	378.6	312	82.4
M	19	169.0	55.9	13'52"61	75.3	369.8	332	89.8
N	19	161.0	44.6	14'15"28	78.4	358.2	334	93.2
O	19	178.0	58.9	13'57"03	79.0	367.1	326	88.8
Mean	20.3	171.8	55.4	13'57"24	80.2	367.6	322.8	87.9
SD	±1.0	±4.3	±4.2	±15.4	±2.9	±6.2	±9.7	±3.6

表 2　5,000 m 走パフォーマンスと生理学的指標の関係

	$\dot{V}O_2max$ (mL/kg/min)	$v\dot{V}O_2max$ (m/min)	vLT (m/min)	LT (%)
Mean±SD	80.2±2.9	367.6±6.2	322.8±9.7	87.9±3.6
r	0.264	−0.494	0.273	0.407
p-value	0.342	0.061	0.326	0.132

たラクテートカーブを図 1 に示した。その結果，300 m/min までは LT を超えない強度（93±3 % LT 強度），320 m/min は LT 付近強度（99±3 % LT 強度），340 m/min 以上の走速度は LT を超える強度（340 m/min；105±3 % LT 強度，360 m/min；112±3 % LT 強度）であった。O_{2Cost} および RE_{ana} と 5000 m 走パフォーマンスとの関係を表 4 に，300 m/min，340 m/min および 360 m/min における O_{2Cost} および RE_{ana} と 5000 m 走パフォーマンスとの関係を図 2 および図 3 に示した。O_{2Cost} と 5000 m 走パフォーマンスとの間には 360 m/min を除く，走速度において有意な正の相関関係が認められた（表 4 および図 2）。一方，RE_{ana} と 5000 m 走パフォーマンスとの間には，360 m/min も含むすべての走速度で有意な正の相関関係が認められた（表 4 および図 2）。

3. 走速度の増大に伴う O_{2Cost} および RE_{ana} の変化

図 4 に，走速度増大に伴う O_{2Cost} および RE_{ana} の変化を示した。O_{2Cost} は走速度の増大に伴う変化は認められなかった。一方 RE_{ana} は 280 m/min と 300 m/min 間に有意な差は認められなかったが，320 m/min，340 m/min および 360 m/min において有意な増大（$p<0.01$）が認められ

表 3　各走速度における O_{2Cost} および RE_{ana} の結果

	$\dot{V}O_2$ mL/kg/min	RER	bLa (mmol/L)	% $\dot{V}O_2$max (%)	% LT (%)	O_{2Cost} (kcal/kg/km)	RE_{ana} (kcal/kg/km)
280 m/min	57.4±2.9	0.90±0.03	1.97±0.61	76.2±1	86.8±3	1.02±0.05	1.02±0.05
300 m/min	61.8±3.6	0.94±0.02	1.98±0.70	81.6±1	93.0±3	1.03±0.06	1.04±0.07
320 m/min	67.5±3.4	0.98±0.02	2.77±0.77	87.1±1	99.2±3	1.05±0.06	1.08±0.06
340 m/min	73.5±3.2	1.01±0.02	4.63±1.05	92.5±2	105.4±3	1.07±0.06	1.14±0.05
360 m/min	78.2±3.0	1.05±0.02	7.73±1.92	98.0±2	111.6±3	1.08±0.05	1.19±0.05

表 4　5,000 m 走パフォーマンスと O_{2Cost} および RE_{ana} の関係

5,000 m 走パフォーマンスと O_{2Cost} の関係

	280 m/min	300 m/min	320 m/min	340 m/min	360 m/min
Mean±SD	1.02±0.05	1.03±0.06	1.05±0.06	1.07±0.06	1.08±0.05
r	0.58*	0.77**	0.64*	0.56*	0.51

5,000 m 走パフォーマンスと RE_{ana} の関係

	280 m/min	300 m/min	320 m/min	340 m/min	360 m/min
Mean±SD	1.02±0.05	1.04±0.07	1.08±0.06	1.14±0.05	1.19±0.05
r	0.53*	0.73**	0.63*	0.64**	0.59*

*：$p<0.05$　**：$p<0.01$

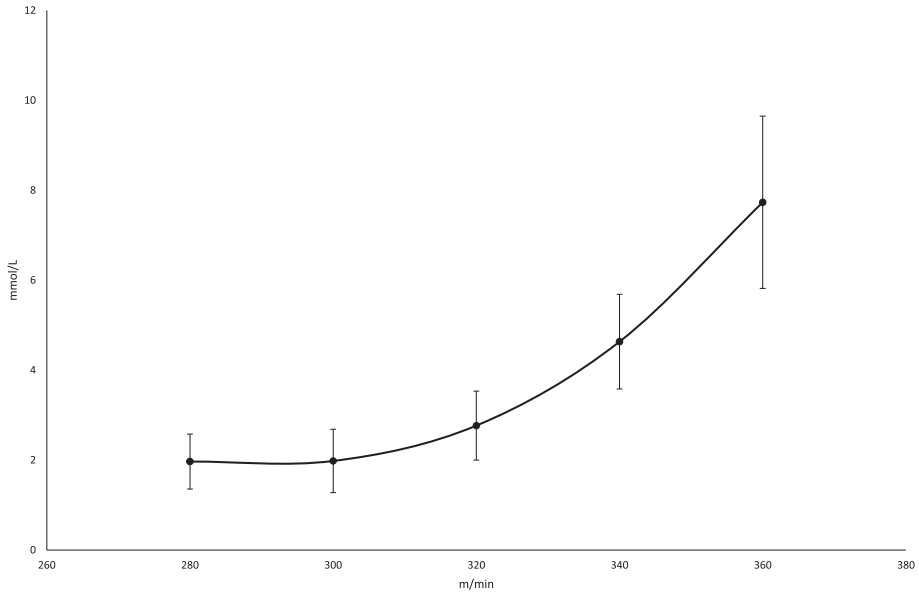


図 1　間欠的漸増負荷テスト走行時の bLa 動態

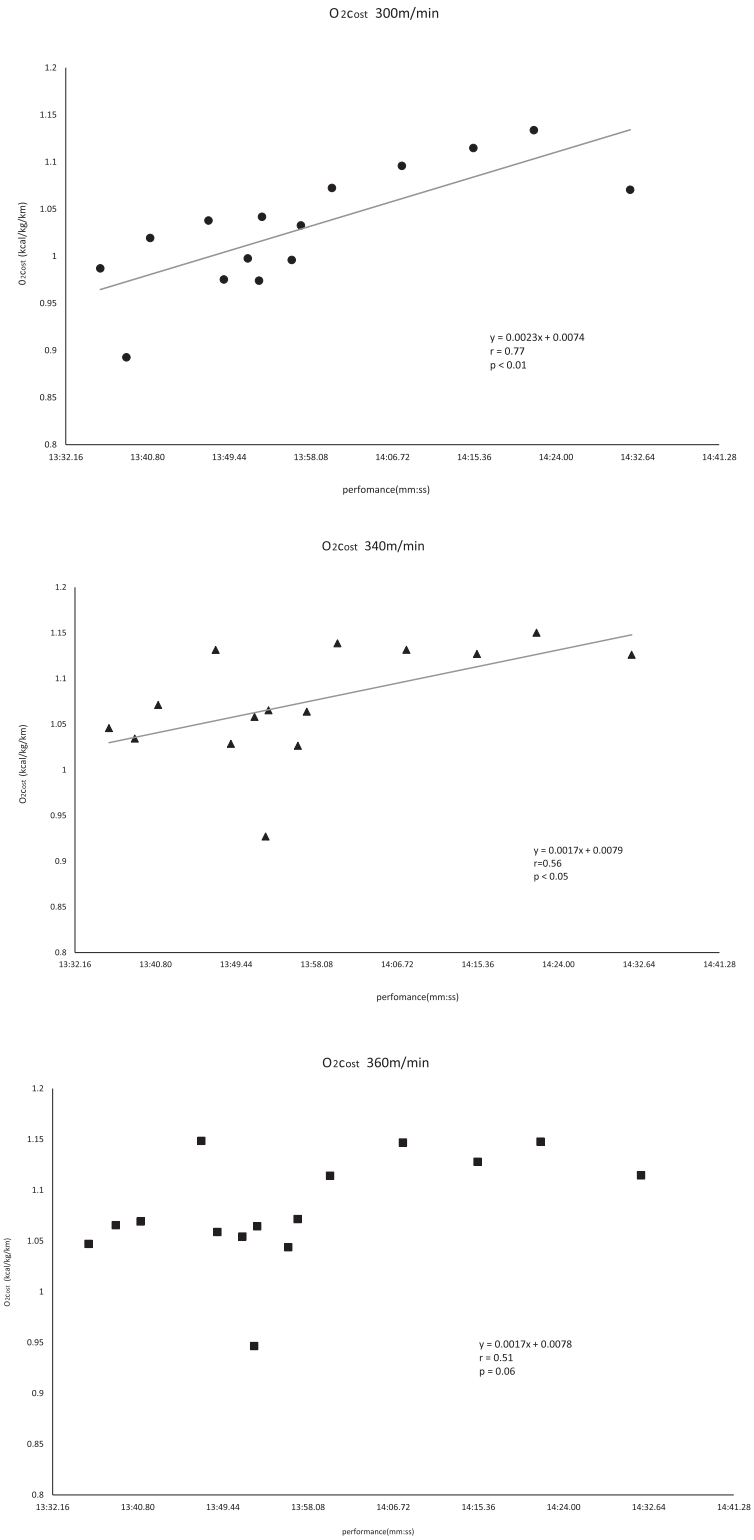
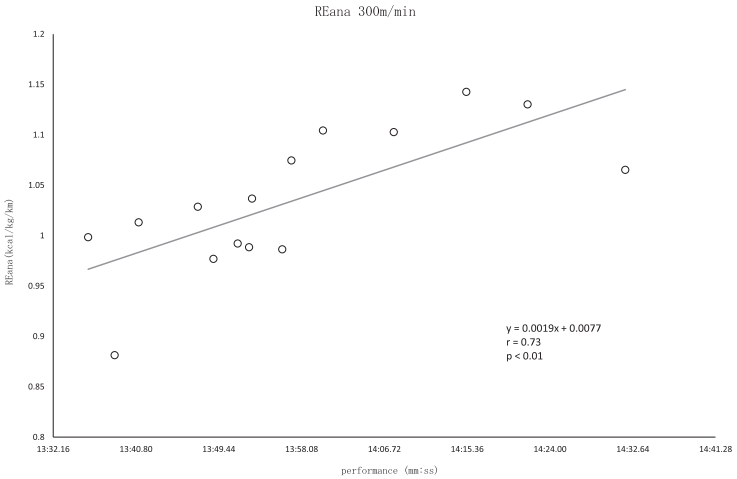
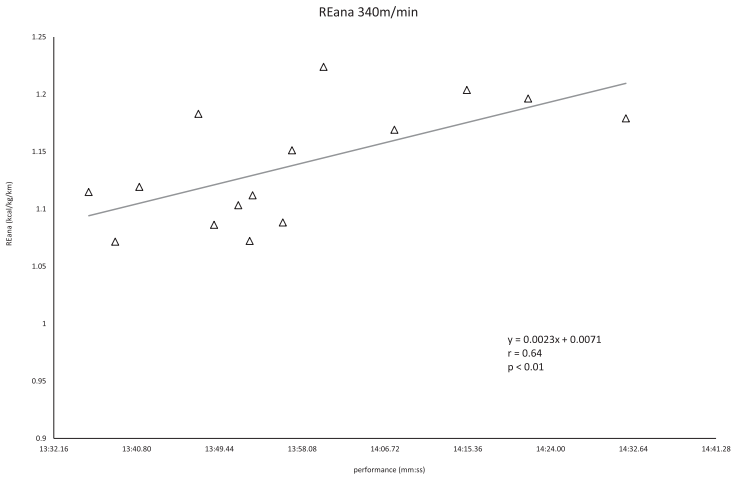


図 2　O_{2Cost} と 5,000 m 走パフォーマンスとの関係





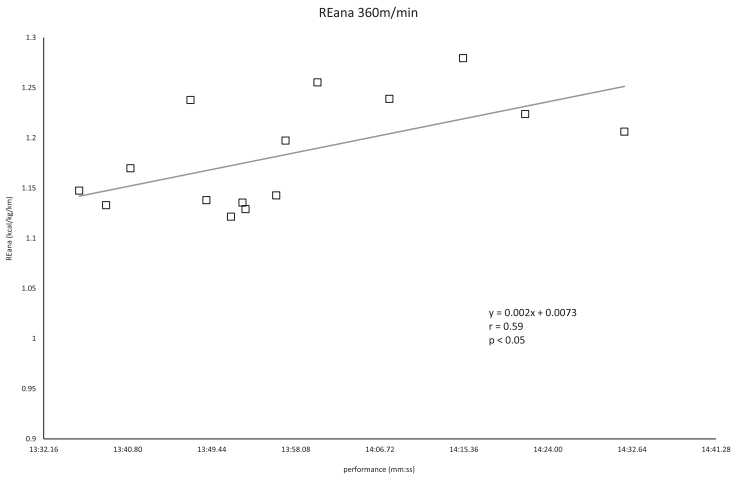


図 3　RE と 5,000 m 走パフォーマンスとの関係

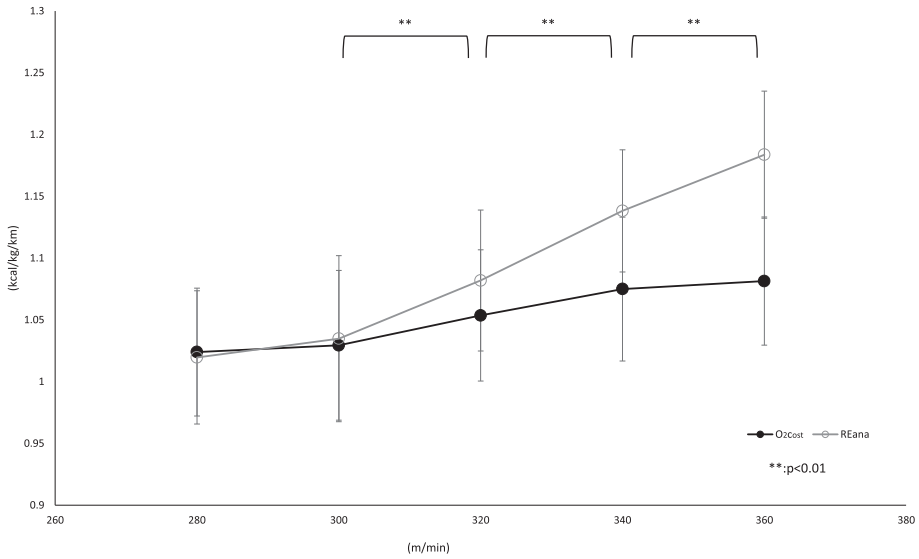


図 4　走速度の増大に伴う O_{2Cost} および RE_{ana} の変化

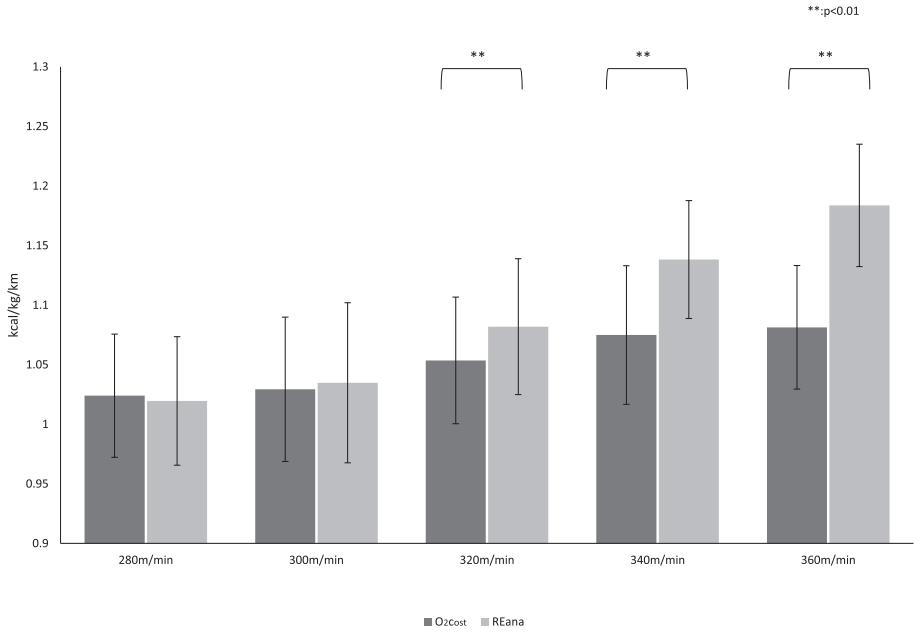


図 5　間欠的漸増負荷テスト中の O_{2Cost} と RE_{ana} の比較

た。図 5 に，各走速度における O_{2Cost} と RE_{ana} の差を示した。両者の間に，280 m/min および 300 m/min では有意な差が認められなかったが，LT 付近強度となる 320 m/min および LT 強度を超える 340 m/min，360 m/min では有意な差が認められ，RE_{ana} が O_{2Cost} より高値を示した（$p < 0.01$）。

Ⅳ．考察

1．走パフォーマンスと生理学的変数の関係

本研究は，競技パフォーマンスに優れた学生中長距離ランナーを対象に，O_{2Cost} および RE_{ana} を含む生理学的変数と5000 m走パフォーマンスとの関係を明らかにすることを目的とした。

本研究の被験者は，5000 mSB が 13’57”24±15”4，IAAF Score が1009.6±51.0であり，エリート水準とされるIAAF Score 1000ポイントの能力を有している被験者であったと言える。

本研究の結果，5000 m走パフォーマンスと $\dot{V}O_{2max}$ との間に有意な相関関係が認められなかった。競技パフォーマンスが高い選手ほど $\dot{V}O_{2max}$ も高い傾向にあることを報告した文献が数多く存在しているが，オリンピック選手の5000 m走および3000 m障害のタイムと $\dot{V}O_{2max}$ との間に関連を認めなかった報告[15]や一流長距離選手を対象としたCostill et al.[16]の研究においても $\dot{V}O_{2max}$ との関連は認められなかった。本研究においても競技レベルの高い中長距離ランナーにおいて5000 m走パフォーマンスと $\dot{V}O_{2max}$ との間に有意な相関関係が認められなかった（$p=0.34$；表2）。

これらのことから，競技レベルの高いランナーにおいて $\dot{V}O_{2max}$ は走パフォーマンスを推定する生理学的変数でないことを指摘したConley and Krahenbuhlの報告[3]を支持するものであった。同様にLTも幅広い競技レベルやマラソン，ハーフマラソンのような長距離走にとっては走パフォーマンスを決定する生理学的指標であるとされているが[17,18]，競技レベルに優れた男性ランナーにおける中長距離走パフォーマンスとの関連を認めた報告はない。本研究においても5000 m走パフォーマンスとLTとの間に有意な相関関係が認められなかった（$p=0.13$；表2）。以上の結果から専門的にトレーニングを行っている中長距離ランナーは，優れた $\dot{V}O_{2max}$ とLTの能力をすでに有しており，$\dot{V}O_{2max}$ とLTだけではパフォーマンスを推定できない。

本研究では，5000 m走パフォーマンスと関連性のあった生理学的変数は O_{2Cost} および RE_{ana} であった（表4）。5000 m走パフォーマンスと各走速度における O_{2Cost} および RE_{ana} の関係性は，LTを超えない強度である300 m/minにおける O_{2Cost} が最も5000 m走パフォーマンスと強い関係性が認められ（$r=0.77$；$p<0.01$），LT付近強度である320 m/minまでは RE_{ana} より O_{2Cost} との関係性が高く，LTを超える強度である340 m/minでは O_{2Cost} より RE_{ana} との関係性が高く，本研究の被験者15名の5000 mSBの平均タイムである13分57秒（358 m/min）と同速度程度である360 m/min走行時においては，RE_{ana} のみ関係性が認められた（$r=0.59$；$p<0.05$）。Tanji et al.[10]は，走全体に対する有酸素性エネルギー代謝の貢献割合が80％程度である[19]1500 m走パフォーマンスと RE_{ana} との関係性を検討し，1500 m走パフォーマンスとLTを超える強度での RE_{ana} との間に強い関連性があることを報告している。Tanji et al.[10]の報告と本研究結果との相違は，5000 m走は有酸素性エネルギー代謝の貢献割合が90％以上占める最大下運動であり[20]，有酸素性エネルギー代謝の貢献割合が1500 m走よりも高いことが要因だと考えられる。

一方で，エリートランナーの5000 m走レースは，レース前半から高い走速度でレースを進め，最後の1000 mで大きくペースアップするレースが多く[21]，さらに5000 m走レース中の $\dot{V}O_2$ は最大の90％に達するといわれ[22]，有酸素性エネルギー代謝だけではなく，無酸素性エネルギー代謝の動員が要求され，無酸素性能力の相違が走パフォーマンスに大きく影響されていると考えられる。本研究においてもLTを超える強度である340 m/minやレースと同等の速度である360 m/minにおいて，5000 m走パフォーマンスと RE_{ana} との関係性が O_{2Cost} よりも高まったのは無酸素性代謝能力を考慮したことが要因であると考えられる。

2．走速度の増大に伴う O_{2Cost} および RE_{ana} の変化

走速度の増大に伴う O_{2Cost} および RE_{ana} の変化は，O_{2Cost} は全区間において有意な増大が認められず，RE_{ana} はLT付近強度である320 m/min以降，有意に高い値を示した（図4）。また，各

走速度における O_{2Cost} と RE_{ana} を比較すると，両者の間に 280 m/min および 300 m/min では有意な差が認められなかったが，LT 付近強度となる 320 m/min および LT 強度を超える 340 m/min および 360 m/min では有意な差が認められ，RE_{ana} が O_{2Cost} より高値を示した（図 5）。運動強度の増大に伴って RE_{ana} が増大したことは，LT を超える高強度の走行は無酸素性エネルギー代謝の貢献の増大や内的な仕事量の増大[23]によって経済性が低下することを示唆している。一方，LT を超える強度における O_{2Cost} が示す値は，RE を過大評価している可能性があることが示された。本研究の結果，RE_{ana} は高強度走行における関係性が認められ，今後，レースペース強度の走行における経済性の評価が重要な知見をもたらす可能性があると考える。

Ⅴ．まとめ

本研究では大学生中長距離エリートランナー 15 名を対象に多段階漸増負荷テストを実施し，O_{2Cost} および RE_{ana} を含む生理学的変数と 5000 m 走パフォーマンスとの関係を明らかにした。

得られた結果は以下の通りである。

1. $\dot{V}O_{2max}$，v$\dot{V}O_{2max}$，vLT，LT と 5000 m 走パフォーマンスとの間には有意な相関関係が認められなかった。
2. O_{2Cost} および RE_{ana} と 5000 m 走パフォーマンスとの間には，LT を超えない強度では 300 m/min で強い正の相関関係が認められた。LT を超える強度である 340 m/min においても有意な正の相関関係が認められた。ただし，競技中の速度に近い 360 m/min では RE_{ana} のみ有意な正の相関関係が認められた。
3. O_{2Cost} と RE_{ana} は LT を超えない強度である 300 m/min までは有意な差が認められなかったが，LT 付近強度となった 320 m/min からは有意差が認められ，O_{2Cost} は 320 m/min 以降，RE を過大評価している可能性が示された。

参考文献

1）Midgley AW, McNaughton LR and Jones AW (2007) Training to enhance the physiological determinants of long distance running performance：Can valid recommendations be given to runner and coaches based on current scientific knowloge?　Sports Med 37, pp.857-880.

2）Daniels, J., Daniels, N.（1992）Running economy of elite male and elite female runners. Med Sci Sports Exerc. 24, pp483-489.

3）Conley, D.L., Krahenbuhl, G.S（1980）Running economy and distance running performance of highly trained athletes. Med Sci Sports Exerc. 12, pp.357-360.

4）Morgan, DW., Baldini, FD., Martin, PE.,（1989）Ten kilometer performance and predicted velocity at $\dot{V}O_{2max}$ amaong welltrained male runners. Med Sci Sports Exerc. 21, pp.78-83.

5）勝田　茂，宮田浩文，麻場一徳，原田　健，永井　純（1986）中長距離選手におけるランニング効率とパフォーマンスの関係について．筑波大学体育学紀要，8．pp.45-52.

6）榎本靖士，岡崎和伸，岡田英孝，渋谷俊浩，杉田正明，高橋英幸，高松潤二，前川剛輝，森丘保典，横澤俊治（2008）ケニア人長距離選手の生理学的・バイオメカニクス的特徴の研究～日本人長距離選手の強化方策を探る～．上月財団スポーツ助成事業報告書.

7）Fletcher, J.R., Esau, S.P., MacIntosh B.R（2009）Economy of Running beyond measurement of oxygen uptake. J Appl Physiol 107, pp.1918-1922.

8）榎本靖士（2013）長距離選手のランニングエコノミーに影響を及ぼす体力および技術的要因の検討．筑波大学体育学紀要，36．pp.137-140.

9）Kaneko, M（1990）Mechanics and energetics in running with special reference to efficiency. J. Biomech. 23 Suppl 1, pp.57-63.

10）Tanji, F., Shirai, Y., Tsuji, T., Shimazu, W., Nabekura, Y.,（2017）Relation between 1,500-m running performance and running economy during high-intensity running in well-trained distance runners. J Phys Fitness Sports Med. 6 (1), pp.41-48.

11）Tanji, F., Shirai, Y., Tsuji, T., Shimazu, W.,

Nabekura, N.,（2017）Relationship between 800-m running performance and running economy during high-intensity running in well-trained middle-distance runners. J Phys Fitness Sports Med. 6(5), pp. 355-358.

12）Spiriev B.（2017）IAAF scoring tables of athletics：2017 revised edition. IAAF

13）Newll, J., Higgins, D., Madden, N., Cruickshank, J., Einbeck, J., Mcmillan, K., McDonald, R.（2007）Software for calculating blood lactate endurance markers. J Sports Sci. 25, pp.1403-1409.

14）di Prampero RE, Capelli C, Pagliaro P, Antonutto G, Girardis M, Zamparo P & Soule RG.（1993）Energetics of best performances in middle-distance running. J Appl Physiol 74, pp.2318-2324.

15）Kenney, W.L., & Hodgson, J. L.（1985）. Variables predictive of performance in elite middle-distance runners. Br J Sports Med. 19(4), pp.207-209.

16）Costill D L, Thonason H, Robert E（1973）Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. Med Sci Sports Exerc. 5, pp.248-252.

17）Kumagai, S., Tanaka, K., Matsuura, Y., Matsuza, A., Hiraoka, K., & Asano, K.（1982）. Relationships of the ananerobic threshold with the 5km, 10km, and 10miles races. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 136(1). pp.161-170.

18）Takeshima, N., & Tanaka, K.（1995）. Prediction of endurance running performance for middle-aged and older runners. Br J Sports Med. 29(1), pp.20-23.

19）Hill DW（2014）Energy system contributions in middle-distance running events. J Sports Sci, 17. pp.477-483

20）Peronnet, F., and Thibault, G.（1989）Mathematical analysis of running performance and world running records. J Appl Physiol. 67. pp.453-465.

21）吉岡利貢，山本 章，高嶋 渉，鍋倉賢治（2005）．5000 m 走パフォーマンスに及ぼすペース配分の影響．陸上競技研究（60），pp.24-32.

22）Weyand, P., Cureton, K., Conley, F. D., and Sloniger, M.（1993）Percentage anaerobic energy utilized during track running events. Med Sci Sports Exerc. 25, p.105.

23）Ardigo, L. P., Lafortuna, C., Minetti, A. E., Mognoni, P., Saibene, F.（1995）Metabolic and mechanical aspects of foot landing type, forefoot and rearfoot strike, in human running. Acta Physiol Scand, 155. pp.17-22.