

ノーズクリップを用いた呼吸筋トレーニングが 有酸素性の生理的応答やパフォーマンスに与える影響

山地啓司¹⁾、高山史徳²⁾、鍋倉賢治³⁾

¹⁾ 立正大学法制研究所

²⁾ 筑波大学大学院人間総合科学研究科

³⁾ 筑波大学体育系

キーワード: ノーズクリップ、呼吸筋トレーニング、換気当量、パフォーマンス

【要 約】

これまで呼吸筋トレーニングが非運動時に一定のリズムで深くゆっくりした速さで繰り返す呼吸法で行われているが、必ずしも一致したトレーニング効果が得られていない。そこで、本研究はランニング中にノーズクリップを鼻部に装着して行う呼吸筋トレーニングが生理的機能の改善やランニングのパフォーマンスの向上に有効であるか否かを追究した。被験者はランニング習慣を有する大学生及び院生 8 名(男子 3 名、女子 5 名)とし、ノーズクリップを装着する 4 名(ノーズクリップ群)と装着しない(コントロール群)4 名に区分し、4 週間後に両群が交代してさらに 4 週間トレーニングを行うクロスオーバー実験を行った。トレーニング前・4 週間後・8 週間後の 3 回にわたり、トレッドミルを用いた漸増負荷テストを実施した。その結果、ノーズクリップ群にのみ all-out に達した時の走速度が 6 m(2.4%)、持続時間が 0.6 分(4.8%)それぞれ延長し、さらに、換気性閾値の走速度が 13 m/min(7.6%)増加した($p < 0.05$)。しかし、有酸素的な生理的応答ではその増加を証明する原因を明らかにできなかった。今後は呼吸筋のトレーニング期間(1 か月以上)を長くして、パフォーマンス向上の生理的メカニズムを究明する必要がある。

スポーツパフォーマンス研究, 8, 375-387, 2016 年, 受付日: 2016 年 4 月 19 日, 受理日: 2016 年 10 月 13 日

責任著者: 山地啓司 〒360-0194 埼玉県熊谷市万吉 1700 yamaji.kk@nifty.com

Effect of respiratory muscle training using a nose clip on aerobic physiological responses and running performance

Keiji Yamaji¹⁾, Fuminori Takayama²⁾, Yoshiharu Nabekura³⁾

¹⁾ Rissho University

²⁾ Graduate School, University of Tsukuba

³⁾ University of Tsukuba

Key words: nose clip, respiratory muscle training, ventilatory equivalent, performance

【Abstract】

Until now, respiratory muscle training done when the trainee is not moving has used a method in which deep, slow respirations are repeated in a constant rhythm, but effects of this training have not been identified. The present study examined the effects of respiratory muscle training in which the participants used a nose clip on physiological functions and running performance. The participants were 8 university and graduate school students (3 men, 5 women) who ran regularly. They were divided into 2 groups: a nose-clip group (N=4) who used a nose clip, and a control group (N=4) who did not use a nose clip. Both groups were trained for 4 weeks, then switched to the other procedure for another 4 weeks of training (crossover experiment). They were tested 3 times on a treadmill test with incrementally increasing loads: before training, after the first 4 weeks of training, and after the final 4 weeks of training. The results indicated that only the nose-clip group improved their running speed on the treadmill, extending their all-out distance by 6 meters (2.4%) and their duration by 0.6 minutes (4.8%). Furthermore, their running speed at their ventilation threshold increased by 13 m/min (7.6%, $p < 0.05$). However, causes of the improvement in aerobic physiologic responses could not be identified. Future research should extend the period of respiratory muscle training beyond one month and include investigation of the physiological mechanisms underlying improved performance.

I. 緒論

15 秒間の最大自発的換気量(MVV_{15})を4倍した値は $\dot{V}O_{2max}$ が発現した時の肺換気量(\dot{V}_{Epeak})よりも約10~40%高い(Sue and Hansen, 1984). そのため、AV. Hill(Hill et al., 1924)の研究以来、呼吸機能が全身持久性の制限因子とは考えられないとされてきた。しかし、疲労困憊(all-out)に至るまでの漸増負荷運動では、肺換気量(\dot{V}_E)は軽作業から中等度の運動強度までは直線的に増加するが、換気性閾値(VT)を超える頃から運動強度の高まりに伴って指数関数的に増加、すなわち、過呼吸現象が現われるようになる。米国のウィスコンシン大学の研究グループ(Dempsey, 2012; Harms et al., 1997; Johnson et al., 1992)は、このVT後にみられる過呼吸現象によって呼吸筋へ流れる血液や酸素が多くなり、活動筋への血液や酸素の配分量が少なくなって結果的に運動を制限することを明らかにした。もしそうであるならば、あらかじめ呼吸筋の耐性能力や呼吸効率を高めることによってパフォーマンスに好影響が与えられると考えられる。これまで多くの研究者が、呼吸筋トレーニングによって最大吸気口腔内圧(PImax)や最大呼気口腔内圧(PEmax)が高まり、自転車の20 km や 40 km のタイムトライアルのパフォーマンスが有意に改善することを報告している(Romer et al., 2002; Leith and Bradley, 1976). しかし、その一方で否定的な報告も少なくない(Fairbairn et al., 1991; Sonetti et al., 2001). 呼吸筋トレーニングに関するレビューを行った McConnell and Romer (2004) はこの原因が被験者の特性や人数、実験計画(トレーニングの強度・頻度・時間・期間、トレーニング前後のテストの運動様式やプロトコル)等に相違があるためとみなした。また、トレーニングに用いられる運動様式としては自転車が最も多く、ランニングのパフォーマンスに関する研究は Hanel and Secher (1991) による12分間走テストの成績が約8%改善する報告が見当たただけである。

わが国では約20年前から呼吸筋トレーニングのための各種のトレーニング器具(デバイス)が市販され、多くの競技者がそれらを利用してきたが余り長続きしていない。恐らくそれは、トレーニング効果が実感できなかったことに大きな理由があると考えられる。効果が感じられなかったのは、今日市販されている呼吸筋トレーニング器具が非運動時にリブリージング(再呼吸)を5-30分間行うもので、呼吸筋の呼出力や吸引力の最大値が高まっても呼吸効率(換気当量: $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$)にまで好影響が現れなかったことが原因かもしれない。これまでの呼吸筋トレーニングは自転車駆動実験を除くと非運動時に行われたものである。また、自転車を駆動しながら呼吸抵抗を与えたトレーニング研究は数多くあるが(Romer et al., 2002; Spengler et al., 1999)、普段のランニングトレーニング中に呼吸筋のトレーニングを組み合わせた報告は見当たらない。

欧米では $\dot{V}O_{2max}$ の測定は口にマウスピースをくわえ鼻にノーズクリップをする方法を用いているが、わが国では口と鼻呼吸が可能なフェイスマスクが一般に用いられている。フェイスマスクを用いて測定された $\dot{V}O_{2max}$ を100%とすると、マウスピースを用いた $\dot{V}O_{2max}$ は95.3%、さらに、医療用マスクを着用して測定すると89.2%であった(山地・北島, 1989)。医療用マスクを着用して試験的に走ると不快感を訴える者が多く出た。そこで、フェイスマスクとマウスピースでの $\dot{V}O_{2max}$ の差分がおおよそ呼吸筋への負荷と考えられるノーズクリップを用いた呼吸筋トレーニングを実施することにした。

従って、本研究は日常的なランニングトレーニング中に鼻部にノーズクリップを装着して、すなわち、口呼吸だけの呼吸法が呼吸筋力や呼吸効率を向上するか否か、さらには、パフォーマンスへ好影響を与えるか否かを究明することを目的とした。

II. 研究方法

1. 実験デザイン

日常的なランニング習慣を有する大学・大学院生ランナー10名(男子4名と女子6名)を対象とし、各5名ずつノーズクリップ群(グループ1)とコントロール群(グループ2)に無作為に分け、各群の被験者に対し、週3回のランニングを4週間(1-4週)実施した。トレーニングは、1日20分(週あたり約60分)間をVTの走速度以上の強度で、ノーズクリップ群のみ鼻部にノーズクリップを装着して実施した。4週間後に群を入れ替えた上で、同様のトレーニングをさらに4週間(5-8週)実施するクロスオーバー実験を行った(図1)。トレーニング前、4週間後および8週間後にトレッドミルにおける漸増負荷テストを行い、有酸素性の生理的応答およびパフォーマンスを測定した。また、漸増負荷テスト前・後には呼吸筋力の測定を行い、ノーズクリップ・トレーニングが安静時の呼吸筋力および高強度運動後の呼吸筋疲労に与える影響について検討した。

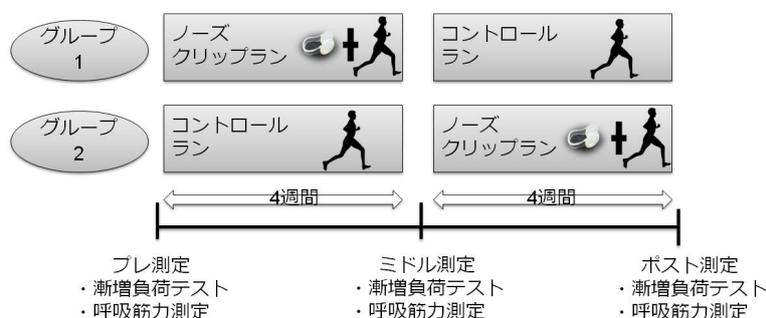


図1. クロスオーバー実験デザイン

2. 被験者

被験者の選択にあたっては次の4項目を除外基準項目とし、1項目でも該当した場合には被験者対象から除外した。① 週3回以上のランニング習慣を有していない、② 医師により運動の実施が制限されている、③ 過去に心疾患の既往歴がある、④ 糖尿病や高血圧等を有している。実験を始めた後に、2名が不慮の体調不良によりドロップアウトしたため、グループ1は4名(男子1名、女子3名)、グループ2は4名(男子2名、女子2名)の計8名(年齢:25 ± 4歳、身長:165.0 ± 8.3 cm、体重:56.9 ± 6.6 kg)が本研究の対象となった。なお、8名全員にフルマラソンの完走経験があった(4時間31分28秒 ± 48分09秒)。実験に先立って実験の概略、危険性等を口頭と文章で説明し、被験者の同意を得た。なお、本研究は平成27年度の立正大学倫理委員会承認を得て遂行された。

3. トレーニング内容と実施状況

各被験者のトレーニング期間は、4週間×2回(クロスオーバー実験)とし、そのうち1回をノーズクリップ群、1回をコントロール群とした。被験者は、各トレーニング前の漸増負荷テストで得られたVTの走速度以上の強度で、少なくとも週あたり60分以上(1日20分、週3回を目安とする)のランニングを行うように指示された(VTトレーニング)。この際、ノーズクリップ群は、ノーズクリップを装着した状態で実施した。トレーニング以外の被験者の任意のトレーニングについては一切の制限を設けなかった。なお、

任意のトレーニングは両群ともにノーズクリップを装着しないで実施した。各被験者はトレーニング時には、GPS 付腕時計型脈拍計 (SF-810、セイコーエプソン社製) を装着するとともに、トレーニング日誌にトレーニングの内容、時間および主観的運動強度 (Category scale) を記録し、おおよそ毎週の頻度で検者に報告した。Category scale は、0: rest (何も感じない) — 10: Maximal (最大限) に表記されたものであり、日本ストレングス&コンディショニング協会 (Lee et al., 2011) により日本語表示化されている。報告された主観的運動強度に運動時間 (分) を乗じ、各トレーニングの Load を求めた (Foster 1998)。なお、ノーズクリップはイギリスの Antimicrobial 社製を用いた。

4. トレッドミルを用いたスピードの漸増負荷テストと呼吸筋力テスト

1) 漸増負荷テスト

漸増負荷テストでは、フェイスマスクを用いて最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$)、VT 等の有酸素性の生理的応答およびパフォーマンスの指標である all-out 時のランニングスピード (V_{\max}) と持続時間 (T_{\lim}) を求めた。漸増負荷テストは、傾斜 1% に設定された大型トレッドミル (ORK-7000、大武ルート工業) を用いて行った。漸増負荷テストは、ウォーミングアップ (140 m/min の速度で 3 分間) 実施後 3 分間の休息を経て、120 m/min の走速度から開始し、1 分毎に 10 m/min ずつ漸増させ、走行が不可能になった時点 (all-out) まで行った (図 2)。all-out の判断は被験者がするものとしたが、危険を感じた場合には検者が行った。運動中の呼気量と呼気ガス濃度を自動呼気ガス分析装置 (エアロモニタ AE310-s、ミナト医科学社製) を用いて 15 秒ごと連続して測定した。心拍数は、ハートレートモニター (S610i、Polar 社製) を用いて測定した。また、漸増負荷テストの 1 分後から血液を薬指の指尖から微量採取し、血中乳酸分析装置 (ラクテートプロ 2 LT-1730、アークレイ社製) によって血中乳酸濃度を測定した。この測定は、血中乳酸濃度の数値が下がるまで約 1 分毎に実施した。

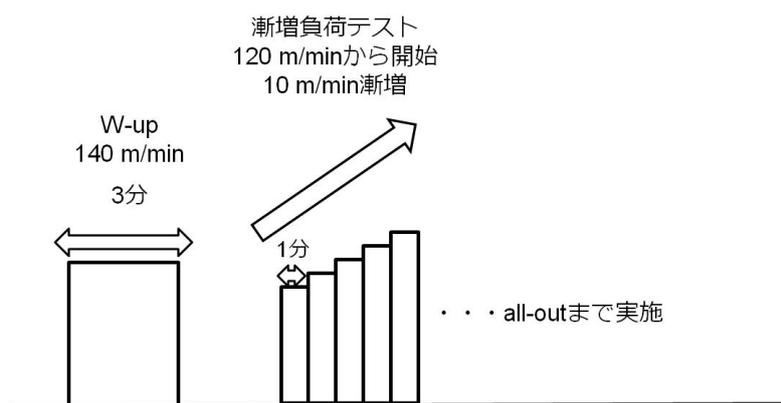


図 2. 漸増負荷テストの測定プロトコール

分析項目は VT の走速度 (v_{VT}) と酸素摂取水準 ($\% \dot{V}O_2\max$)、 $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}O_2\max$ 、 \dot{V}_{Epeak} 、ピーク血中乳酸濃度 (BL_{peak})、 V_{\max} および T_{\lim} とした。VT および $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ の分析に関しては、各走速度の後半 30 秒間の $\dot{V}O_2$ 、 $\dot{V}CO_2$ および \dot{V}_E をその走速度の分析値とした (山地ほか, 2000)。VT は、① $\dot{V}O_2$ の増加に対する \dot{V}_E の急激な上昇開始点 ② $\dot{V}O_2$ の増加に対する $\dot{V}CO_2$ の急激な上昇開始点、の 2 つ

の基準により判定した(Bemben et al., 1995). $\dot{V}O_2\text{max}$ は、① $\dot{V}O_2$ のレベリングオフ、② 測定された心拍数の最高値が年齢から予測された最高心拍数(220-年齢)の90%以上、③ RERが1.1以上、④ 血中乳酸濃度が8 mmol/L以上、⑤ RPEが19以上、の5つの指標のうち、3つ以上を満たしている連続した1分間の値とした。 $\dot{V}_E\text{ peak}$ は、連続した1分間の最高値とした。 V_{max} は、漸増負荷テストにおける最終到達走速度としたが、最後の走速度を60秒間走行できなかった場合、その前の走速度に最後の走速度を維持できた時間の割合を加えたものとした(Schabert et al., 2000)。

2) 呼吸筋力テスト

漸増負荷テストの実施前(安静時)および終了後にスパイロメーター(AS-507、ミナト医科学社製)を用いて呼吸筋力の測定を立位姿勢で行った。P_Imaxの測定は、息を吐き切った状態(残気量位)から、また、P_Emaxは息を吸い切った状態(全肺気量位)から測定した。P_ImaxおよびP_Emaxの測定は、30秒以上の間隔をおいて各3回行うことを原則とし、そのうち高い2つの数値の差が5 cmH₂O以上の場合、4回目の測定を実施した。分析値は、各測定の最高値を採用した。漸増負荷テスト終了時の測定は、all-outの2分後にP_ImaxおよびP_Emaxの順にそれぞれ1回実施した。

5. 統計的処理

結果は、平均値±標準偏差で表わした。群間のトレーニングの実施状況の比較には対応のないt検定を用いた。各群のトレーニング前・後の漸増負荷テストおよび呼吸筋力テストの結果については、群ごとに対応のあるt検定を行った。統計学的有意差は5%とした。

III. 結果

本研究は、トレーニング中にノーズクリップを鼻部に装着して口呼吸だけでランニングをすることが持久性の生理的機能やパフォーマンスに好影響を与えるか否かを検証した。ノーズクリップを装着したノーズクリップ群(4名)とノーズクリップを着用しなかったコントロール群(4名)のランニングトレーニングを4週間実施、その後群を交代してさらに4週間実施するクロスオーバー実験を実施した。従って、最終的にはノーズクリップ群が8名、コントロールが8名となった。

1. トレーニングの実施状況

ノーズクリップ群は1名が4週間11回のトレーニングしかできなかったが(ただし、総トレーニング時間の240分は確保された)、それ以外の被験者は12回実施した。コントロール群では8名全員が4週間で12回のトレーニングを実施し、両グループとも全員がトレーニング条件を満たしていた(表1)。4週間合計の走行距離(km)および走速度(km/h)は両群で有意な差が認められたが、規定を100%とした相対値で見ると有意差が認められなかった。なお、規定されたトレーニング以外のトレーニングの実施状況には両群に有意な差が認められなかった。

表 1 規定 (VTトレーニング) の実施状況

		ノーズクリップ群	コントロール群	p value
時間	hour	5.10 ± 1.34	5.35 ± 1.43	N.S.
時間	%	128 ± 34	134 ± 36	N.S.
距離	km	54.8 ± 14.5	58.6 ± 16.0	0.035
距離	%	137 ± 45	144 ± 42	N.S.
走速度	km/h	10.8 ± 1.8	11.0 ± 1.8	0.042
走速度	%	106 ± 7	107 ± 7	N.S.
頻度	times/4weeks	11.9 ± 0.4	12.0 ± 0.0	N.S.
頻度	%	99 ± 3	100 ± 0	N.S.
Load	A.U.	1703 ± 624	1787 ± 782	N.S.

ただし、時間、距離、走速度、頻度は相対値（規定を 100%とした）での結果も示した。A.U.は任意の単位。

表 2 任意トレーニングの実施状況

		ノーズクリップ群	コントロール群
時間	hour	3.47 ± 3.92	2.49 ± 3.10
距離	km	37.8 ± 45.8	27.0 ± 34.4
走速度	km/h	10.3 ± 1.0	10.5 ± 1.2
Load	A.U.	774 ± 738	586 ± 580
頻度	times/4weeks	4.6 ± 3.9	4.8 ± 4.4

ただし、規定以外のトレーニングを行っていたノーズクリップ群 4 名、コントロール群 5 名を対象として示した。A.U.は任意の単位。

2. 呼吸筋トレーニングの前・後にみられる生理的機能とパフォーマンス

ノーズクリップ群とコントロール群の実験前・後の生理的機能とパフォーマンスの結果は表 3 及び表 4 のごとくであった。各群のトレーニング前後の比較で有意な差が認められたのは、ノーズクリップ群における vVT、Vmax および Tlim の 3 項目のみであった。パフォーマンスを示す Vmax は 6 m/min (2.4%)、Tlim は 0.6 分 (4.8%)、vVT は 13 m/min (7.6 %) の有意な高まりを示した ($p < 0.05$)。すなわち、VT の右傾現象とパフォーマンスの改善が認められた。しかし、両群とも呼吸筋の機能を示す $\dot{V}_E \text{ peak}$ 、 PI_{max} 及び PE_{max} に有意な差が認められなかった。図 3 および図 4 は、各群の最大下のランニング時の $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ の変化を示したものである。なお、8 名の被験者の中 7 名が走行することができた 230 m/min の走速度までを示した。最大下のランニング時の $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ はノーズクリップ群では低下傾向を示したものの有意な改善が認められなかった。すなわち、一定の酸素を摂取する時肺換気量が少なくともよいこと、換言すれば、呼吸効率の高まり傾向を示したものの有意な改善が認められるまでに至らなかった。一方、コントロール群では $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ は逆に高くなる傾向を示し、呼吸効率の低下傾向を示したがいずれも有意な変化ではなかった。

表 3 ノーズクリップ群のトレーニング前・後の生理機能の変化

		前	後	<i>p</i> value
$\dot{V}O_{2max}$	L/min	2.68 ± 0.71	2.84 ± 0.69	N.S.
$\dot{V}O_{2max}$	ml/kg/min	46.7 ± 7.8	48.8 ± 7.0	N.S.
<i>V</i> _{max}	m/min	246 ± 37	252 ± 35	0.010
<i>T</i> _{lim}	min	13.6 ± 3.7	14.2 ± 3.5	0.010
\dot{V}_{Epeak}	L/min	105.9 ± 20.1	111.3 ± 18.9	N.S.
<i>BL</i> _{apeak}	mmol/L	13.7 ± 4.1	15.3 ± 4.2	N.S.
<i>v</i> _{VT}	m/min	171 ± 30	184 ± 30	0.049
<i>VT</i>	% $\dot{V}O_{2max}$	76.1 ± 5.4	78.5 ± 6.0	N.S.
<i>PI</i> _{max}	cmH ₂ O	77 ± 31	75 ± 33	N.S.
<i>PE</i> _{max}	cmH ₂ O	94 ± 43	95 ± 38	N.S.
Change of <i>PI</i> _{max}	%	-14.8 ± 17.8	-6.5 ± 16.1	N.S.
Change of <i>PE</i> _{max}	%	-3.8 ± 0.1	0.1 ± 15.4	N.S.

ただし、Change of *PI*_{max} と Change of *PE*_{max} は安静時と 2 分後との変化率で示した。

表 4 コントロール群のトレーニング前・後の生理機能の変化

		前	後	<i>p</i> value
$\dot{V}O_{2max}$	L/min	2.84 ± 0.60	2.76 ± 0.79	N.S.
$\dot{V}O_{2max}$	ml/kg/min	49.6 ± 6.3	47.6 ± 8.1	N.S.
<i>V</i> _{max}	m/min	246 ± 35	249 ± 31	N.S.
<i>T</i> _{lim}	min	13.6 ± 3.5	13.9 ± 3.1	N.S.
\dot{V}_{Epeak}	L/min	110.4 ± 18.7	112.6 ± 20.7	N.S.
<i>BL</i> _{apeak}	mmol/L	14.1 ± 4.6	11.9 ± 3.0	N.S.
<i>v</i> _{VT}	m/min	173 ± 33	175 ± 24	N.S.
<i>VT</i>	% $\dot{V}O_{2max}$	74.7 ± 6.1	76.3 ± 4.9	N.S.
<i>PI</i> _{max}	cmH ₂ O	78 ± 31	78 ± 32	N.S.
<i>PE</i> _{max}	cmH ₂ O	99 ± 44	102 ± 43	N.S.
Change of <i>PI</i> _{max}	%	-13.4 ± 11.8	-13.9 ± 15.9	N.S.
Change of <i>PE</i> _{max}	%	-5.9 ± 11.1	-7.6 ± 14.9	N.S.

ただし、Change of *PI*_{max} と Change of *PE*_{max} は安静時と 2 分後との変化率で示した。

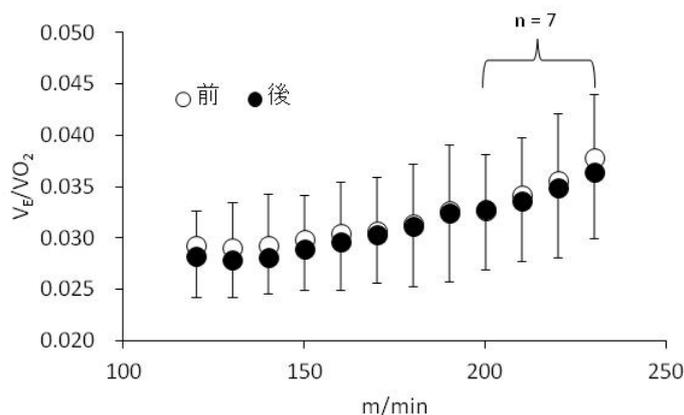


図3 ノーズクリップ群のトレーニング前・後の走速度に対する換気当量 ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$) の変化

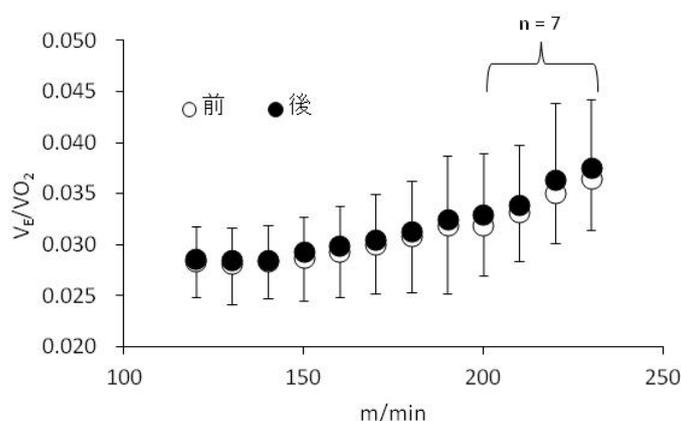


図4 コントロール群のトレーニング前・後の走速度に対する換気当量 ($\dot{V}_E/\dot{V}O_2$) の変化

IV. 考察

これまで多くの研究者が呼吸筋トレーニングによるパフォーマンスの向上やその要因を報告している。例えば、Romer et al. (2002) や Spengler et al. (1999) は呼吸筋トレーニングによって、 PI_{max} の向上に伴いサイクリングの 20 km と 40 km のタイムトライアルのタイムが短縮すること、また、Johnson et al. (2007) は 25 km の自転車のタイムトライアルの記録の改善が PI_{max} の増加やアネロビクスの能力の向上に伴うものであること、さらには、Spengler et al. (1999) は自転車の持続時間の延長が血中乳酸濃度の低下によること、などを報告している。ランニングのパフォーマンスに関する報告 (Hanel and Secher, 1991) では、体育学部生を対象に約 4 週間の呼吸筋のトレーニングを実施することによって、12 分間走テストの成績が約 8% 向上したことを明らかにしている。Illi et al. (2012) が行ったこれまで呼吸筋トレーニングの持久性のパフォーマンスへの影響に関する 236 篇の報告から 49 編を厳選したメタ解析によるレビューでは、呼吸筋のトレーニングによって呼吸筋の筋力や持久性能力を高める可能性が高いと結論付けている。

確かに、呼吸筋トレーニング実験では肯定的報告が多いが、わが国ではこれまでも多くの選手が呼吸筋のトレーニング器具を使用したにもかかわらず、必ずしも継続的にトレーニングがなされていない。我が国で競技者がトレーニング用として用いている器具には、①スパイロタイガー、②パワーブリーズ、

③ウルトラブレス、④マスク(医療用マスク、エレベーションマスクなど)がある。その中、①～③は非運動状態で呼吸抵抗を調整して、深く大きい呼吸を5～30分繰り返すものである。一方、④のマスクは早朝のジョギングや短い距離のスタートダッシュ時に使用されているものの、主運動をしながら同時に呼吸筋を鍛える方法としては呼吸抵抗の調整が難しく、また、暑い環境下での長時間の運動で汗をかくことによる違和感を訴える者も少なくない。そのため高強度や長時間の運動には不向きであることなどが、永く呼吸筋のトレーニングを妨げてきた要因ではないかと考えられる。

そこで本研究は、①通常のランニングトレーニングをしながら、なおかつ呼吸筋のトレーニングが行えること、②その時の運動条件としてはHolm et al. (2004) が指摘する70～85% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で長時間運動できること、③持ち運びや付け外しが容易であること、④トレーニング中に不衛生感や不快感がなく、運動の障害にならないこと、⑤発汗などの不快感などが少ないこと、などの条件を満たす呼吸抵抗用の器具が何であるかをまず検討した。特に問題となった点は、②の条件を満たすためにはどれだけの呼吸抵抗が望ましいか、であった。欧米では $\dot{V}O_{2max}$ の測定は口にマウスピースをくわえ鼻にノーズクリップをする方法、すなわち、口呼吸のみの換気で行われるのが一般的である。一方、わが国では口と鼻呼吸が可能なフェイスマスクが用いられる。フェイスマスクを用いて測定された $\dot{V}O_{2max}$ を100%とすると、マウスピースを用いた $\dot{V}O_{2max}$ は95.3%、さらに、我が国で市販されている医療用マスクを着用して測定すると89.2%であった(山地・北島, 1989)。そこで、医療用マスクを着用して試験的に走ると強度が高まるにつれ、呼吸抵抗が強すぎて取り外す者が多いことや、長時間の運動では不快感を訴える者が多く出た。そこで、医療用マスクよりも呼吸抵抗が少なく、しかも前記に挙げた5項目の条件もほぼ満たす、ノーズクリップを用いた呼吸筋トレーニングを実施することにした。すなわち、 $\dot{V}O_{2max}$ が4.7%低下する呼吸抵抗に相当する口呼吸だけの呼吸筋のランニングトレーニングを実施した。

これまでの呼吸筋トレーニング実験では、運動強度として70～100% $\dot{V}O_{2max}$ が多く用いられている(山地, 2015)。呼吸筋トレーニングが持久性のパフォーマンスを高める強度は持続時間によっても異なるが、本研究では、VTを超える70～80% $\dot{V}O_{2max}$ の強度で、1回のトレーニングで20分以上、1週間3回の合計が60分、4週間のトレーニング期間で合計240分を満たすことを条件にトレーニング実験を行った。その結果、被験者8名全員が前記の条件をほぼ満たした。その結果、ランニングのall-outに達した時の最高走速度に2.4%、持続時間に4.8%、さらに、換気性閾値が出現するランニングスピードに7.6%それぞれ有意な改善が認められた($p < 0.05$)。すなわち、実験室で行われた呼吸筋トレーニング実験の結果と同様に、呼吸筋トレーニングによって持久性のパフォーマンスに改善が認められた。しかし、吸気や呼気の呼吸筋の強さを示す PI_{max} や PE_{max} にはトレーニング前後に有意な差を認めるまでに至らなかった。

本研究では、持久性パフォーマンスの改善や換気性閾値における走速度に有意な改善が認められたものの、それを裏付ける生理的改善を明らかにすることができなかった。その理由の1つに、呼吸筋のトレーニングがわずか4週間であったことが考えられる。今後はさらに長期間の呼吸筋トレーニングやランニングのトレーニング条件(強度、頻度、時間等)を高めながら、持久性パフォーマンスの改善の生理的ターニングポイントを究明していかなければならない。

V. 現場への提言

これまで多くの研究者が呼吸筋のトレーニングの重要性を指摘してきた (Illi et al., 2012; McConnell and Romer, 2004). 我が国では約 20 年前から、各種呼吸筋トレーニング器具 (デバイス) が市販され、各種スポーツ選手が使用してきたが、必ずしもその成果が実感として認識されなかったことから計画的に永く継続して使用されるまでに至らなかった. 特に、これまでの呼吸筋トレーニングが主運動のトレーニングとは別に、非運動時に一定リズムで 5~30 分間深く大きな呼吸を繰り返し (リブリージング) 行われなければならない不便さや非合理性、マウスピースを使わなければならないことへの抵抗感等が災いしたことが考えられる.

そこで本研究は、持ち運びが容易で付け外しも簡単な、しかも、比較的不快感が少ないノーズクリップを使用して、主運動のトレーニング実施中に相対的な呼吸抵抗を増すことによる呼吸筋トレーニングを試みた. その結果、スピードの漸増負荷テストの all-out に達した時の最高走速度に 2.4%、テストの運動開始から all-out に達するまでの持続時間に 4.8%、さらに、VT 出現時のランニングスピードに 7.6%、それぞれ有意な改善が認められた ($p < 0.05$). その生理的背景には呼吸効率の改善の可能性が考えられるが、有意な改善までに至らなかった. なお、ノーズクリップを用いた呼吸筋トレーニングを実施した被験者の内省は、①呼吸がきつくなる、②特に高強度のランニングスピードではきつい、③のどに負担がかかる、④鼻にフィットするノーズクリップがほしい、などであった. 検者の経験では、つばを飲み込むとき強く飲み込もうとすると鼓膜に強い刺激を受けるので、ゆっくり飲み込むか、あるいは吐き出すようにするのが望ましいと思われる. 本実験ではこの点についてあらかじめ被験者に注意を促した.

本実験では、被験者が男女混合や人数が少ない点、あるいは、競技水準が低い問題、その他、実験期間が 4 週間、1 日のトレーニング時間 (20 分間) が短いなどの問題もあるが、パフォーマンスの向上が十分可能と考えられることから実践の場でテスト的に実施してみる価値がある、と言える. しかし、本研究のトレーニング条件ではパフォーマンスは改善されるものの、生理的にその根拠を明らかにするまでに至らなかった. 本研究の被験者の競技水準が低いことやトレーニング期間が 4 週間と短かったことなどを考慮すると、競技水準の高い選手では本研究のトレーニング条件よりももう少し高い条件、例えば、Holm et al (2004) が指摘する $\dot{V}O_{2max}$ の 70%~85% の強度で、また運動時間はこれまでの報告をレビューした山地 (2015) の報告から週 3 回、1 日約 30 分を目安にトレーニングすることが望ましいであろう.

VI. 結論

本研究はランニング習慣のある大学生・院生 8 名 (男子 3 名、女子 5 名) を対象に呼吸筋トレーニングを、ノーズクリップ群 (4 名) とコントロール群 (4 名) が 4 週間で交代するクロスオーバー実験で実施した. 呼吸筋のトレーニングは鼻呼吸をしないようにノーズクリップを鼻部に装着し、口呼吸だけのランニングトレーニングを 4 週間、1 週間 3 回、1 回 20 分を目安に計 240 分間以上、換気性閾値 (VT) を超える走速度で行った. その結果、ランニングの all-out に達した時の最高走速度に 2.4%、持続時間に 4.8%、さらに、換気性閾値が出現するランニングスピードに 7.6% それぞれ有意な改善が認められた ($p < 0.05$). その改善のメカニズムには低強度 (120-160 m/min) にみられる換気当量の改善傾向が関与していると考えられるが、有意な改善が認められるまでに至らなかった. 本研究では、ノーズクリップを装着する

ことで $\dot{V}O_2\max$ を約 5%低下させる程度の呼吸抵抗を加えたトレーニングを、運動強度が vLT 以上のランニング速度で 4 週間(1 週間で 60 分以上)と定めて実施したが、パフォーマンスに改善が認められるものの、その生理的根拠を明らかにすることができなかった。今後はトレーニング強度・時間・頻度・期間の条件を高めて、さらに検証していかなければならない。また、本研究の被験者は日常的なランニング習慣を有するものであったが、今後は十分競技的トレーニングを実施している者にも効果があるか否かが検討されなければならないであろう。

覚書：本研究は JSPS 科研費(25350787)の助成を受けたものです。

Ⅶ. 引用文献

- Bembien DA. Salm PC. Salm AJ. (1995) Ventilatory and blood lactate responses to maximal treadmill exercise during the menstrual cycle. *J Sports Med Phys Fitness*. 35: 257-262.
- Dempsey JA. (2012) New perspectives concerning feedback influences on cardiorespiratory control during rhythmic exercise and on exercise performance. *J Physiol*. 590:4129-4144.
- Foster C. (1998) Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc*. 30: 1164-1168.
- Hanel B. and Secher NH. (1991) Maximal oxygen uptake and work capacity after inspiratory muscle training: a controlled study. *J Sports Sci*. 9:43-52.
- Harms CA. Babcock MA. McClaran SR. Pegelow DF. Nickele GA. Nelson WB. Dempsey JA. (1997) Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *J Appl Physiol*. 82:1573-1583.
- Hill AV. Long CHN. Lupton H. (1924) Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen: parts I - III. *Proc Royal Soc Bri*. 97: 438-475. Cited by Noakes (2000)
- Holm P. Sattler A. Fregosi RF. (2004) Endurance training of respiratory muscles improves cycling performance in fit young cyclists. *BMC Physiol*. 4:9.
- Illi SK. Held U. Frank I. Spengler CM. (2012) Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals. A systematic review and meta-analysis. *Sports Med*. 42:707-724.
- Johnson BD. Saupe KW. Dempsey JA. (1992) Mechanical constraints on exercise hyperpnea in endurance athletes. *J Appl Physiol*. 73:874-886.
- Johnson MA. Sharpe GR. Brown PL. (2007) Inspiratory muscle training improves cycling time-trial performance and anaerobic work capacity but not critical power. *Eur J Appl Physiol*. 101:761-770.
- Lee W. Aaron C. Jon B. Narelle S. Katie S. : 日本ストレング&コンディショニング協会訳 (2011) セッション RPE 法を用いた水泳選手のトレーニング負荷のモニター. *Strength & Conditioning Journal*. 18: 43-47.
- Leith DE. and Bradley M. (1976) Ventilatory muscle strength and endurance training. *J Appl Physiol*. 41:508-516.
- Fairbairn MS, Coutts KC, Pardy RL, et al. (1991) Improved respiratory muscle endurance of highly

- trained cyclists and effects on maximal exercise performance. *Int J Sports Med.* 12:66-70.
- Sonetti DA, Wetter TJ, Pegelow DF, et al. (2001) Effects of respiratory muscle training versus placebo on endurance exercise performance. *Respi Physiol.* 127:165-199.
 - McConnell AK. and Romer LM. (2004) Respiratory muscle training in healthy humans: resolving the controversy. *Int J Sports Med.* 25:284-293.
 - ～Rating of perceived exertion～. *体育学研究.* 21:191-203.
 - Romer LM. McConnell AK. Jones DA. (2002) Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists effects of inspiratory muscle training. *Med Sci Sports Exerc.* 34:785-792.
 - Schabert EJ. Killian SC. St Clair Gibson A. Hawley JA. Noakes TD. (2000) Prediction of triathlon race time from laboratory testing in national triathletes. *Med Sci Sports Exerc.* 32: 844-849.
 - Spengler CM. Roos M. Laube SM. Boutellier U. (1999) Decreased exercise blood lactate concentrations after respiratory endurance training in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 79:299-305.
 - Sue DY. and Hanse JE. (1984) Normal values in adults during exercise testing. *Clin Chest Med.* 5:89-98.
 - 山地啓司 (2015) 呼吸筋の疲労とトレーニングが生理的機能と持久性運動のパフォーマンスへ与える影響. *日本運動生理学雑誌.* 22:25-40.
 - 山地啓司、橋本一隆、橋爪和夫 (2000) トレッドミル走における持続時間と生理学的応答の変動. *体育学研究.* 45: 15-23.
 - 山地啓司、北島一郎 (1989) 最大および最大下作業における測定方法(口+鼻、口、鼻、医療用マスク、マウスピース)の相違による $\dot{V}O_2$ 及びHRの比較. *北陸体育学会紀要.* No.25:67-72.