

呼吸筋ウォームアップが自転車運動におけるパフォーマンスと呼吸循環応答に及ぼす影響

安達 崇晃 竹村 英和

キーワード：呼吸筋ウォームアップ，高強度運動，運動継続時間，最大吸気口腔内圧

Effect of respiratory muscle warm-up on performance and cardiorespiratory responses in cycling

Takaaki Adachi Hidekazu Takemura

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of respiratory muscle warm-up on performance and cardiorespiratory responses in cycling. Six male collegiate triathletes participated in this study and underwent two experiments as follows using a bicycle ergometer: a cycling of 30 min at 70% of maximal oxygen up take ($\dot{V}O_{2max}$) (experiment 1), a cycling to exhaustion at 90% of $\dot{V}O_{2max}$ (experiment 2). Maximal expiratory mouth pressure (PE_{max}), maximal inspiratory mouth pressure (PI_{max}), cardiorespiratory response, blood lactate (BLa), rating of perceived exertion (RPE), visual analogue scale (VAS) were measured under two different warm-up protocols of the normal warm-up trial (NWUT) and the respiratory warm-up trial (RWUT). In addition, exercise duration was measured in RWUT. The normal warm-up consisted of self-selected static stretching of 10 min followed by a cycling of 15 min at 50% of $\dot{V}O_{2max}$. The respiratory warm-up consisted of two sets of 30 breaths at 40% of PI_{max} and was performed before the normal warm-up. All subjects performed in both warm-up trials for each experiment. In the experiment 2, there were no significant differences in PE_{max}, BLa, RPE, VAS and cardiorespiratory responses between both trials, whereas PI_{max} after exercise in RWUT was significantly higher than that in NWUT (150.0±29.6cmH₂O vs 137.8±28.1cmH₂O, p<0.05). The exercise duration in RWUT was also tendency to prolong compared with NWUT (468.8±164.0 sec vs 419.7±141.9 sec). However, there were no significant differences in all parameters in the experiment 1. These results suggest that inspiratory muscle warm-up was effective to reduce of inspiratory muscle fatigue and it may be helpful for improvement of performance with high intensity exercise.

Key words: respiratory muscle warm-up, high intensity exercise, exercise duration, maximal inspiratory mouth pressure

I. 緒言

スポーツ活動を行ううえでウォームアップ(以下 W-up)は日常的に行われており、重要な役割を担う。W-up の主な効果としては、体温の上昇、運動に対する呼吸器系の機能改善、筋組織の粘性の低下、神経伝達速度の向上、柔軟性の向上および障害の予防が挙げられている(青木, 1993)。体温の上昇は筋組織の粘性を低下させ、筋の収縮速度や出力特性を高めることから、より大きな筋パワーの発揮に貢献している。また、酸素がヘモグロビンから解離されやすくなることから、循環系の機能改善により最大運動時の酸素摂取水準を高め、運動効率が改善される。後藤・池上(1991)は、W-up を実施することで酸素摂取量の立ち上がりが増進され、より多くの有酸素性エネルギーを利用できる可能性があることを示唆している。しかし、W-up の内容は運動様式・強度・時間などに応じて様々な組み合わせがあり、被験者の体力や主運動の内容によっても効果が大きく異なるといわれている(石河, 1973)。

W-up の実施方法には、マッサージや入浴などの受動的 W-up、ストレッチングやジョギングなどの一般的 W-up、種目特異性に応じた専門的 W-up がある。しかしながら、受動的 W-up は入浴やシャワーによるマイナス効果もみられ、マッサージにおいても効果があるという報告はみられない(石河, 1973; 青木ほか, 2001)。このことから、W-up は積極的に体を動かすような能動的な内容で、専門種目と関連した運動が好ましいとされている(青木, 1993)。

W-up を実施することで運動前半の呼吸循環機能が速やかに亢進するとの報告がある一方、W-up を実施しても運動後半に換気能力の低下が起こり、パフォーマンスが低下するとの報告も見受けられる。Loke et al. (1982)は、4名の健常者を対象にマラソン実施前後の肺機能と呼吸筋力を測定したところ、マラソン実施後に最大換気量と呼吸筋力の有意な低下を観察し、長時間に及ぶ運動では呼吸筋の疲労により肺機能の低下がみられることを報告した。また、Mador and Acevedo(1991)は10名の被験者を対象として、呼吸筋疲労が生じている状態で高強度のペダリング運動を疲労困憊に至るまで実施させた結果、呼吸筋疲労が生じていない状態と比較して運動継続時間が短く、運動

後半の酸素摂取量が有意に低値であることを示した。呼吸筋が疲労すると、換気需要に見合う換気量が保てず酸素不足が起こることから、呼吸運動を持続することが困難になると考えられている(解良・古泉, 2009)。したがって、呼吸筋疲労はパフォーマンスの制限因子の一つになるといえよう。

従来、呼吸筋力の向上と運動耐容能との関係を含めた呼吸筋トレーニングに関する研究は呼吸リハビリテーション分野で数多く行われてきた(解良, 2002)。一方で、Loke et al. (1982)の研究が示すように、健常者においても持久系運動を実施することで呼吸筋疲労が生じると考えられることから、近年ではスポーツ分野に呼吸筋トレーニングや呼吸筋 W-up を導入し、競技力向上を図る試みが行われている。しかしながら、スポーツ選手を対象とした呼吸筋トレーニングや呼吸筋 W-up の有用性を検討した報告は少なく、特に呼吸筋 W-up に関しては十分な検討がなされていない。

呼吸筋 W-up に関する数少ない研究の中で、Volianitis et al. (2001)はボート選手を対象として、ローイング W-up に加え呼吸筋 W-up を実施させたところ、ローイング W-up のみの実施と比較して6分間全力ローイング運動終了後の呼吸筋疲労と呼吸困難感が抑制され、パフォーマンスが向上したと報告している。また、Lin et al. (2007)はバドミントンの専門的 W-up に加え呼吸筋 W-up を実施させたところ、専門的 W-up のみを実施させた場合と比較して高強度フットワークのパフォーマンスが向上したと報告している。このように、高強度運動における呼吸筋 W-up の有用性を検討した報告は散見されているものの、明確な知見は得られていない。また、中強度運動における呼吸筋 W-up の有用性を検討した報告は見当たらない。

そこで本研究は、中強度および高強度の自転車ペダリング運動を用いて、呼吸筋 W-up がパフォーマンスや呼吸循環応答に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

II. 方法

本研究では、最大酸素摂取量(Maximal oxygen uptake: $\dot{V}O_{2max}$)の70%(実験1)および90%(実験2)に相当する異なる2条件の運動負荷を用いて実

験を行った。

1. 被験者

被験者は大学トライアスロン部に所属する男子選手であり、実験1・実験2ともに6名を対象とした。なお、実験2の被験者6名のうち、5名は実験1と同一の被験者であった。各実験における被験者の身体特性を表1に示した。実験に先立ち、被験者には本研究の目的や方法、個人情報保護について十分に説明し、研究に参加することへの同意を得た。

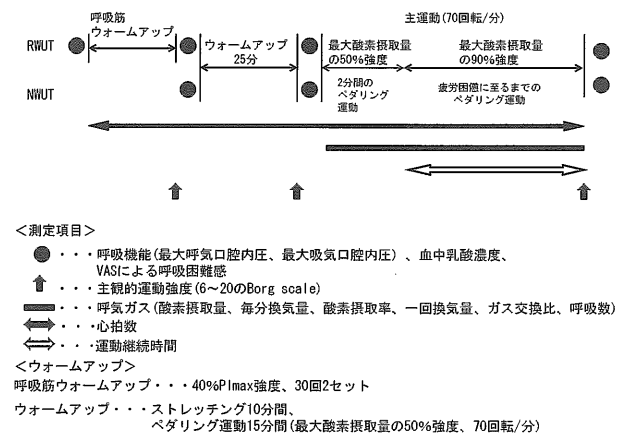
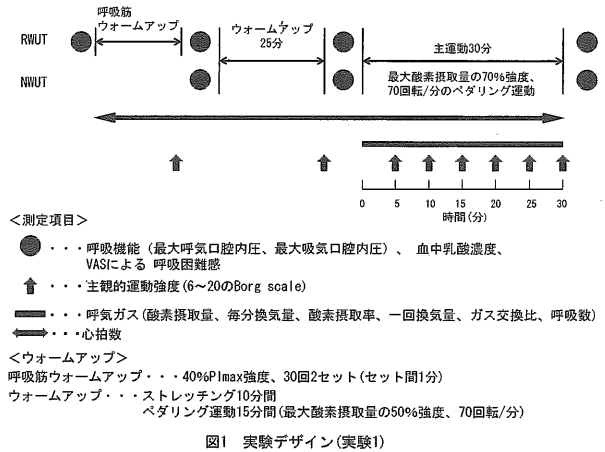
表1 被験者の身体特性

実験1(中強度運動)					実験2(高強度運動)						
被験者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)	競技歴(年)	被験者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	体脂肪率(%)	競技歴(年)
A	19	165.3	58.3	12.1	1.2	A	19	165.3	56.4	13.6	1.4
B	19	168.4	62.6	14.3	1.2	B	19	168.4	61.0	13.4	1.4
C	22	167.8	57.7	11.1	3.2	C	22	167.8	56.8	11.9	3.4
D	21	177.1	72.4	13.0	1.7	D	21	177.1	71.7	14.6	2.0
E	20	169.2	58.4	15.2	2.2	E	21	169.2	58.6	14.9	2.4
F	20	172.3	62.1	13.1	2.2	G	19	171.4	63.7	12.9	0.5
平均	20.2	170.0	62.1	13.1	2.0	平均	20.2	169.9	61.4	13.6	1.9
標準偏差	1.2	4.1	5.4	1.5	0.8	標準偏差	1.3	4.1	5.8	1.1	1.0

2. 実験デザイン

本研究の実験デザインを図1(実験1)および図2(実験2)に示した。なお、実験1と実験2は3か月の間隔をあけて実施した。実験1および実験2は、いずれもストレッチングおよび自転車運動からなる通常W-upを行う試行(Normal warm-up trial:以下NWUT)と、通常W-upに加え呼吸筋W-upを行う試行(Respiratory warm-up trial:以下RWUT)で構成された。W-up後の主運動は自転車エルゴメーター(POWERMAX-V II:COMBI社製)を用いたペダリング運動とし、実験1と実験2で異なる運動強度・時間を用いた。

各実験は、いずれも被験者をNWUTとRWUTに3名ずつランダムに振り分け、少なくとも3日以上の間隔を空けるクロスオーバーデザインとし、同一被験者の各試行はすべて同一時間帯に行った。なお、測定前日から当日にかけて、被験者には激しい運動、消炎鎮痛剤の使用、アルコールやカフェインおよびサプリメントの摂取を禁止させた。また、睡眠時間や食事の摂取時間・内容については、各試行ともに可能な限り同一にさせた。



3. ウォームアップの内容

実験1・実験2ともにNWUTでは、通常W-upとして被験者に10分間のストレッチングと15分間のペダリング運動を実施させた。ストレッチングは任意の静的ストレッチングとし、ペダリング運動は自転車エルゴメーターを用い、50% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する強度で行った。なお、回転数は70回転/分とした。一方、RWUTではNWUTと同様のW-upに加え、呼吸筋W-upを実施させた。呼吸筋W-upの実施タイミングは通常W-upの前とした。

呼吸筋W-upは、吸気筋力の指標となる最大吸気口腔内圧の40%負荷に設定したPOWERbreathe®(Hab International Ltd.社製)を用い、ノーズグリップを装着した状態で、唇でマウスピースの外周部を覆い、安静吸気位から最大呼気位まで息を吐かせた後、素早く力強く最大吸気位まで息を吸いこませた。息を吐くときはゆっくりと力を入れずに、最大呼気位まで息を吐き出させた。この動作を座位で行わせ、30回を1セットとし、2セットを実施させた。なお、セット間は1分とし

た。

4. 運動負荷

実験1における主運動は、70% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する強度を用いた30分間のペダリング運動とした。一方、実験2では50% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する強度を用いたペダリング運動を2分間行わせ、その後続けて90%強度の運動を疲労困憊に至るまで行わせた。なお、いずれの実験においても、ペダリングの回転数は70回転/分とした。疲労困憊の判定基準は、65回転/分を5秒以上下回った時点とした。なお、W-upを終了してから主運動を開始するまでの時間は実験1・実験2ともに同一にし、ペダリングの回転数はメトロノームを用いて一定になるよう配慮した。

5. 測定項目

(1) 最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)

被験者は、W-upと主運動の強度を決定するために、漸増負荷法による $\dot{V}O_{2max}$ の測定を行った。測定は自転車エルゴメーター(Powermax-V II: COMBI社製)を用い、70回転/分で2.0kpより開始し、3分間経過した後、毎分0.3kpずつ負荷を漸増させ、被験者が疲労困憊に至るまで運動を行わせた。疲労困憊の判定基準は、65回転/分を5秒以上下回った時点とした。運動中は、被験者の呼気を熱線流量計(呼吸代謝測定システムAE-300S, ミナト医科学社製)により連続的に計量し、30秒毎に定量した。 $\dot{V}O_{2max}$ については以下に示す5項目を評価基準とし、2項目以上を満たしているかに基づき規定した(山地, 2001)。

- ① 酸素摂取量のプラトー現象の発現
- ② 年齢から推定される最高心拍数((220-年齢)拍/分)にほぼ達している(± 10 拍/分)
- ③ ガス交換比 $> 1.0 \sim 1.5$
- ④ 血中乳酸濃度が10mmol/l以上に達すること
- ⑤ 主観的運動強度が19あるいは20

(2) 呼吸筋力

呼吸筋力は、最大呼気努力あるいは最大吸気努力時の口腔内圧を指標として、最大呼気口腔内圧(Maximal expiratory mouth pressure: PEmax)及び最大吸気口腔内圧(Maximal inspiratory mouth pressure: PImax)として表される。本研究では、実験1・実験2ともに安静時、通常W-up終了後および主運動終了後にPEmaxとPImaxを測定した。

なお、RWUTでは呼吸筋W-up後にも測定を行った。測定はマルチファンクショナルスパイロメーターHI-801(チェスト社製)を用いて各3回実施し、得られた測定値の最大値を採用した。測定時には、被験者に座位姿勢にてノーズグリップを装着させた。また、PEmax測定時には被験者に自身の頬部を保持させ、息が漏れないよう配慮した。なお、呼吸筋力測定については、被験者全員が測定未経験であったため、安定した測定が行えるよう事前に予備測定を実施し、測定結果の再現性について確認した。

(3) 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は、ラクテート・プロ LT-1710(アークレイ社製)を用いて測定した。測定は、実験1・実験2ともに安静時、通常W-up終了後、主運動開始直前および終了後に行った。また、RWUTでは呼吸筋W-up後にも測定を行った。なお、血中乳酸濃度の分析は指先血(5 μ l)を用いて実施した。

(4) 心拍数

心拍数は、実験1・実験2ともにスポーツ心拍計(S610i POLAR社製)を用いて、安静時から主運動終了までを5秒間隔で連続的に測定した。

(5) 呼気ガスパラメータ

呼気ガスパラメータは、実験1・実験2ともに熱線流量計(呼吸代謝測定システムAE-300: ミナト医科学社製)を用いて、主運動中における被験者の呼気を連続的に計量し、30秒ごとに定量した。分析項目は、酸素摂取量、毎分換気量、酸素摂取率、一回換気量、ガス交換比および呼吸数とした。

(6) 主観的運動強度

主観的運動強度(Rating of perceived exertion: RPE) (Borg, 1973; 小野寺・宮下, 1976)は、6~20のBorgスケールを用いて被験者に申告させた。RPEの申告は、実験1・実験2ともに通常W-up後および主運動終了直後とした。また、RWUTでは呼吸筋W-up後にも申告させた。なお、実験1ではRPEの申告を主運動中の5分毎にも行わせた。

(7)呼吸困難感

呼吸困難感の評価には、Visual analogue scale (VAS)を用いた。VASは0~100mmの直線上の左端を「息苦しさがない状態」、右端を「息苦しさ最大の状態」とし、被験者に記入させた。VASの記入は、実験1・実験2ともに安静時、通常W-up後および主運動終了直後とした。また、RWUTでは呼吸筋W-up後にも記入させた。

(8)運動継続時間

運動継続時間は、実験2において運動強度を90%VO₂maxに増加させてから疲労困憊に至るまでの時間とし、ストップウォッチを用いて計測した。

6. 統計処理

すべてのデータは平均±標準偏差で示した。各測定項目の平均値の差の検定には対応のあるt検定を用いた。有意水準は5%未満とし、p<0.05として表した。

III. 結果

1. 実験1(中強度運動)

(1)呼吸筋力

安静時のPE_{max}は、NWUTが176.5±27.8cmH₂O、RWUTは177.9±43.1cmH₂Oとほぼ等しい値を示し、有意差は認められなかった。同様に、通常W-up後および主運動終了直後についても両試行間で差が認められなかった。また、RWUTの呼吸筋W-up後では、177.2±40.8cmH₂Oと安静時とほぼ同様の値を示した。

図3にP_Imaxの変動を示した。安静時のP_Imaxは、RWUTが137.0±24.3cmH₂OとNWUTの128.7±26.6cmH₂Oに比べ高値を示す傾向であったが有意差は認められなかった。通常W-up後については、NWUTが125.0±22.3cmH₂Oと安静時とほぼ等しい値であったのに対して、RWUTは149.0±24.5cmH₂Oと安静時に比べ高値を示す傾向にあった。また、RWUTにおける呼吸筋W-up後には142.3±22.0cmH₂Oを示し、安静時に比べ高値を示す傾向にあった。主運動終了直後では、RWUTが137.7±28.1cmH₂O、NWUTは124.4±19.1cmH₂Oを示し、両試行ともに安静時とほぼ同様の値であった。通常W-up後および主運動終了直後のいずれにおいても、両試行間のP_Imaxに有意差は認められなかつ

た。

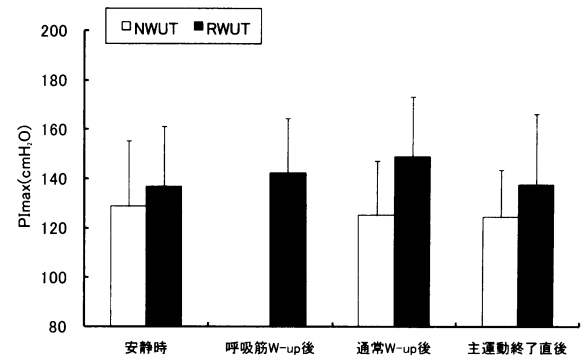


図3 最大吸気口腔内圧(P_Imax)の変動(実験1)

(2)血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は、安静時、通常W-up後、主運動直前のいずれにおいても両試行間で有意差は認められなかった。また、主運動終了直後についても、NWUTが5.5±1.6mmol/l、RWUTは5.9±2.6mmol/lを示し、有意差は認められなかった。なお、呼吸筋W-up後における血中乳酸濃度は1.4±0.2mmol/lを示し、安静時とほぼ等しい値であった。

(3)呼吸循環応答

主運動中の平均酸素摂取量はNWUTが47.7±2.9ml/kg/分、RWUTは47.9±2.5ml/kg/分とほぼ等しい値を示し、有意差は認められなかった。同様に、毎分換気量(NWUT:87.8±9.6 l/分、RWUT:88.2±10.3 l/分)、酸素摂取率(NWUT:34.3±3.1ml/l、RWUT:34.3±3.0ml/l)、一回換気量(NWUT:1817±364ml、RWUT:1874±323ml)、呼吸数(NWUT:50.1±11.9回/分、RWUT:48.3±10.8回/分)、ガス交換比(NWUT:0.95±0.05、RWUT:0.95±0.04)、心拍数(NWUT:168.2±11.8拍/分、RWUT:170.6±10.8拍/分)についても有意差は認められなかった。

表2に主運動開始1分目と終了1分前の酸素摂取量、毎分換気量、酸素摂取率、一回換気量、呼吸数、ガス交換比および心拍数を示した。主運動開始1分目および運動終了1分前の各種パラメータには、両試行間で有意差が認められなかった。しかしながら、運動終了1分前の毎分換気量はNWUTが101.6±12.8 l/分、RWUTが103.0±13.7 l/分とほぼ等しい値を示したのに対して、一回換気量はRWUTが1834±281mlと

NWUT の 1740±338ml に比べ高い傾向を示した。また、呼吸数はNWUT が 59.7±10.9 回/分、RWUT は 57.1±11.1 回/分を示し、RWUT がわずかではあるものの低い傾向であった。

表2 主運動開始1分目と終了1分前における呼吸循環応答の比較(実験1)

項目	主運動開始1分目		主運動終了1分前	
	NWUT	RWUT	NWUT	RWUT
酸素摂取量(ml/kg/分)	25.3±3.1	25.3±2.3	50.6±3.6	50.9±2.3
毎分換気量(l/分)	36.4±5.2	36.7±4.5	101.6±12.8	103.0±13.7
酸素摂取率(ml/l)	43.3±2.6	42.9±2.4	31.2±2.8	31.1±3.5
一回換気量(ml)	1236±188	1247±193	1740±338	1834±281
呼吸数(回/分)	29.2±3.7	29.7±4.8	59.7±10.9	57.1±11.1
ガス交換比	0.81±0.07	0.82±0.04	0.95±0.03	0.96±0.04
心拍数(拍/分)	115.8±9.8	118.8±11.3	182.3±13.4	185.2±11.7

(4) 主観的運動強度 (RPE), 呼吸困難感 (VAS)

主観的運動強度は、NWUT の主運動終了直後が 16.5±1.9、RWUT では 17.3±1.2 を示し、有意差は認められなかった。同様に、通常 W-up 終了後および主運動中の 5 分毎における RPE についても両試行間で差がみられなかった。

VAS は、NWUT の主運動終了直後が 76.8±10.2mm、RWUT では 78.5±8.3mm を示し、呼吸困難感は両試行においてほぼ同様であった。なお、通常 W-up 後の VAS についても有意差はみられなかった。

2. 実験 2(高強度運動)

(1) 運動継続時間

90%VO_{2max} 強度での運動継続時間は、NWUT が 419.7±141.9 秒、RWUT は 468.8±164.0 秒を示し、有意差は認められないものの、RWUT の運動継続時間が長い傾向にあった。

(2) 呼吸筋力

安静時の PEmax は、NWUT が 192.4±37.0cmH₂O、RWUT は 189.0±30.9cmH₂O とほぼ等しい値を示し、有意差は認められなかった。同様に、通常 W-up 後および主運動終了直後についても両試行間で差はみられなかった。また、RWUT の呼吸筋 W-up 後の PEmax は、192.3±33.4cmH₂O と安静時とほぼ同様の値を示した。

図 4 に PImax の変動を示した。PImax については、安静時および通常 W-up 後において両試行間に差は認められなかった。しかし、主運動終了直後では RWUT が 150.0±29.6cmH₂O と NWUT の 137.8

±28.1cmH₂O に比べ有意に高値を示した (p<0.05)。なお、呼吸筋 W-up 後の PImax は 143.6±24.9cmH₂O を示し、安静時に比べ高値を示す傾向であった。

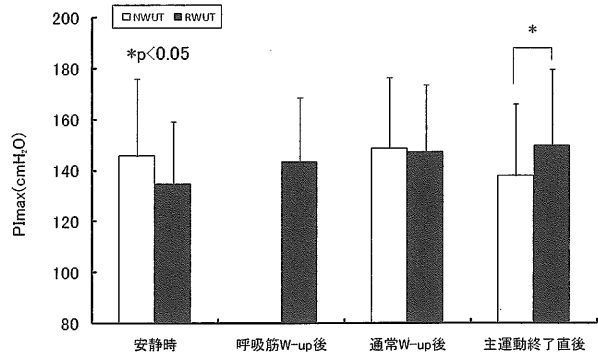


図4 最大吸気口腔内圧(PImax)の変動(実験2)

(3) 呼吸循環応答

90%VO_{2max} 強度の運動中における平均酸素摂取量は、NWUT が 59.0±4.2ml/kg/分、RWUT は 59.1±2.9ml/kg/分とほぼ等しい値を示し、有意差は認められなかった。同様に、毎分換気量 (NWUT:133.5±17.5 l/分、RWUT:130.9±17.7 l/分)、酸素摂取率 (NWUT:28.4±2.5ml/l、RWUT:28.7±3.0ml/l)、一回換気量 (NWUT:2251±363ml、RWUT:2279±3340ml)、呼吸数 (NWUT:59.6±8.9 回/分、RWUT:58.1±10.1 回/分)、ガス交換比 (NWUT:1.09±0.09、RWUT:1.09±0.08)、心拍数 (NWUT:170.6±7.6 拍/分、RWUT:173.5±8.5 拍/分) についても有意差は認められなかった。

表 3 に 90%VO_{2max} 強度での運動開始 1 分目と終了 1 分前の酸素摂取量、毎分換気量、酸素摂取率、一回換気量、呼吸数、ガス交換比および心拍数を示した。運動開始 1 分目および終了 1 分前の各種パラメータには、両試行間で有意差が認められなかった。しかし、運動終了 1 分前では、RWUT における毎分換気量が 151.7±18.5 l/分と NWUT の 157.6±21.5 l/分に比べ低値を示す傾向にあった。また、RWUT の酸素摂取率は 25.7±2.3 ml/l を示し、NWUT の 25.0±2.0 ml/l に比べわずかではあるものの高値を示す傾向にあった。呼吸数は RWUT において 66.4±10.3 回/分を示し、NWUT の 69.9±7.9 回/分に比べ低い傾向にあった。

表3 90% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の運動開始1分目と終了1分前における呼吸循環応答の比較(実験2)

項目	(平均±標準偏差)			
	主運動開始1分目		主運動終了1分前	
	NWUT	RWUT	NWUT	RWUT
酸素摂取量(ml/kg/分)	46.3±1.5	45.2±2.3	63.4±4.7	63.2±2.3
毎分換気量(l/分)	75.9±8.0	74.3±10.9	157.6±21.5	151.7±18.5
酸素摂取率(ml/l)	38.1±3.7	38.1±5.2	25.0±2.0	25.7±2.3
一回換気量(ml)	1902±373	1900±350	2263±293	2319±398
呼吸数(回/分)	41.3±10.8	40.6±11.4	69.9±7.9	66.4±10.3
ガス交換比	0.95±0.05	0.98±0.05	1.08±0.06	1.08±0.06
心拍数(拍/分)	147.5±10.6	149.3±12.3	181.2±7.7	184.3±7.8

(4) 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は、安静時、通常 W-up 後、主運動直前のいずれにおいても両試行間で有意差は認められなかった。また、主運動終了直後についても、NWUT が $11.4 \pm 0.9 \text{ mmol/l}$ 、RWUT は $11.8 \pm 0.5 \text{ mmol/l}$ を示し、有意差は認められなかった。なお、呼吸筋 W-up 後における血中乳酸濃度は $1.6 \pm 0.4 \text{ mmol/l}$ を示し、安静時とほぼ等しい値であった。

(5) 主観的運動強度 (RPE)、呼吸困難感 (VAS)

主運動終了直後の RPE は NWUT が 19.0 ± 0.6 、RWUT は 19.5 ± 0.5 を示し、有意差は認められなかった。同様に、通常 W-up 後についても差はみられなかった。VAS は、NWUT の主運動終了直後が $84.8 \pm 18.8 \text{ mm}$ 、RWUT では $92.4 \pm 10.5 \text{ mm}$ を示し、呼吸困難感は両試行においてほぼ同様であった。なお、通常 W-up 後の VAS についても有意差はみられなかった。

IV. 考察

1. 実験 1 (中強度運動)

先行研究 (Loke et al., 1982) によれば、マラソン実施後の呼吸筋力と最大換気量が実施前に比べ有意な低下を示し、呼吸筋疲労が生じたことを報告している。このように呼吸筋疲労が生じたとされるマラソンの運動強度は、約 $70 \sim 80\% \dot{V}O_{2max}$ である (石河・竹宮, 1994)。しかし、同等の運動強度 ($70\% \dot{V}O_{2max}$) を用いた本研究では、NWUT・RWUT とともに主運動終了直後の呼吸筋力が安静時と同様の値を示したことから、マラソンとペダリング運動の運動様式の違いはあるものの、30 分間の中強度運動では運動時間が短く、呼吸筋疲労は生じないことが示唆された。しかし一方で、Hue et al. (1999) は 9 名のトライアスロン選手を対象

に、30 分間のペダリング運動 + 5km のランニング (C-R) と、30 分間のランニング + 5km のランニング (R-R) を実施させた結果、30 分間のペダリング運動とランニングでは呼吸循環応答に差がみられなかったものの、5km のランニングでは C-R において毎分換気量や呼吸数、酸素換気当量が R-R と比較し有意に高値を示したことから、ペダリング運動における体をかがめるポジションでは横隔膜の働きが促進され、呼吸筋疲労を誘発することを示唆している。この知見の相違は、実験で使用した自転車の違いによるものと考えられる。本研究では、ペダリング運動に自転車エルゴメーターを用いたが、Hue et al. (1999) の研究では競技用の自転車を用いたことから、乗車姿勢の相違により呼吸筋疲労が誘導された可能性が考えられる。自転車の乗車姿勢はハンドルを持つ位置や形状によって左右されることから、今後は競技用の自転車を用いて呼吸筋 W-up の有用性を検討する必要があるだろう。なお、本研究ではペダリング運動の回転数を 70 回転/分と設定したが、最も経済的なペダリング頻度は $40 \sim 70$ 回転/分であることが明らかにされており (青木, 2001)、回転数を変化させても活動筋に対する酸素供給が特異的に増大しないことが示唆されている (岩川ほか, 2001)。したがって、本研究に対して回転数の影響はないものと考えられる。

主運動中の呼吸循環応答については両試行間で同様の値を示し、有意差は認められなかった。一方、通常 W-up 終了後の P_Imax は RWUT が NWUT と比べ高値を示す傾向 ($p=0.08$) にあった。このことから、呼吸筋 W-up を実施することにより吸気筋への刺激が強くなり、通常 W-up のみの実施と比べ呼吸筋力が向上する傾向にあると考えられる。しかしながら、主運動終了後の P_Imax には差が示されなかったことから、呼吸筋 W-up から主運動までの時間について検討していく必要があるだろう。

呼吸筋 W-up の実施により酸素摂取量の立ち上がりが増進されることが期待されたが、本研究では主運動開始 1 分目の呼吸循環応答に差はみられなかった。しかし、主運動終了 1 分前の呼吸循環応答について、酸素摂取量、毎分換気量、酸素摂取率、ガス交換比、心拍数が両試行間で同様の値を示したものの、一回換気量は NWUT が $1740 \pm 338 \text{ ml}$ 、RWUT は $1834 \pm 281 \text{ ml}$ を示し、RWUT が高い傾向にあった。また、呼吸数については NWUT が

59.7±10.9回/分, RWUTは57.1±11.1回/分を示し, RWUTがわずかではあるものの低い傾向にあった。このことは, 運動時間が長くなるにしたがい呼吸循環応答に差がみられる傾向を示しており, より長時間におよぶ運動を実施することで呼吸循環応答の差が大きくなる可能性が考えられる。

これらのことから, 70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度による30分間の中強度運動では呼吸筋疲労が生じず, 血中乳酸濃度, 主観的運動強度, 呼吸困難感および主運動中における酸素摂取量や毎分換気量などの呼吸循環応答にも差がみられないことが示唆された。しかしながら, 主運動終了1分前の呼吸循環応答における一回換気量と呼吸数は, わずかではあるものの差がみられたことから, 今後はより長時間の運動における呼吸筋 W-up の有用性を検討する必要性があると考えられる。

2. 実験2(高強度運動)

高強度運動では, 呼吸筋疲労によりパフォーマンスが制限されることが報告されている(Mador and Acevedo, 1991)。また, P_Imaxの減少は吸気筋の疲労を示し, 換気能力の低下が誘発されることで酸素摂取量の低下や運動中の息苦しさが増加すると考えられている。Lin et al. (2007)は, 漸増負荷によるバドミントンのフットワークテストを実施し, その移動距離をパフォーマンスとして評価したところ, 呼吸筋 W-up の実施により P_Imax の低下を抑制することができ, 移動距離が有意に延長できたことを報告している。このことは, 本研究結果と同様である。主運動の負荷を90% $\dot{V}O_{2max}$ 強度に増加させてから疲労困憊に至るまでの運動継続時間は, RWUTが468.8±164.0秒とNWUTの419.7±141.9秒と比べ長い傾向にあった。本研究において, 安静時の P_Imax はNWUT・RWUTともに差はみられなかったものの, 主運動終了直後ではRWUTがNWUTと比較して有意に高値を示した。高強度運動では, 事前に行う W-up の強度によってパフォーマンスが変動することが明らかにされている(瀧澤・石井, 2005; Hajoglou et al, 2005)。本研究ではNWUT・RWUTともに通常 W-up の内容を同一にしたことから, RWUTの運動継続時間が延長できる傾向にあったのは, 呼吸筋 W-up の実施により運動終盤の呼吸筋疲労が抑制されたためであると考えられる。

運動負荷を90% $\dot{V}O_{2max}$ に増加させた直後の1分間における酸素摂取量や毎分換気量などの各パラ

メータは, NWUT・RWUTともに同様の値を示した。また, 疲労困憊に至るまでの平均酸素摂取量や平均毎分換気量などについても有意差は認められなかった。一方, 主運動終了1分前の呼吸循環応答は, RWUTの毎分換気量がNWUTに比べ低値を示す傾向にあり, 酸素摂取率がわずかではあるものの高値を示した。そのため, RWUTでは運動終盤における換気能力の低下を抑制し, 運動継続時間が延長できる傾向にあったと考えられる。

Volianitis et al. (2001)は, 専門的 W-up に加え呼吸筋 W-up を実施することで6分間の全力ローイング運動の呼吸困難感が抑制されたことから, 最大下運動におけるパフォーマンスの制限因子として, 筋疲労よりも呼吸困難感が重要であることを示唆している。しかしながら, 本研究ではVASに差がみられなかった。このことは, 本研究における最大運動が一定時間ではなく, 疲労困憊に至るまでとしたためと考えられる。したがって, 運動時間を同一にすることでVASに差が出る可能性があると考えられる。

これらのことから, 高強度運動では通常 W-up に加え呼吸筋 W-up を実施することで, 運動終了後の呼吸筋疲労が抑制されることが明らかとなった。また, 運動終盤における換気能力の低下が抑制されるとともに運動継続時間が延長する傾向にあったことから, 呼吸筋 W-up は高強度運動において有用であることが示唆された。

V. まとめ

本研究は, 呼吸筋 W-up が中強度および高強度自転車運動のパフォーマンスや呼吸循環応答に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

その結果, 70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度による30分間の中強度運動では呼吸筋疲労が生じないとともに, 呼吸筋 W-up の有無によって血中乳酸濃度や主観的運動強度, 呼吸困難感および呼吸循環応答に差がみられないことが示唆された。しかしながら, 主運動終了1分前の一回換気量と呼吸数はわずかではあるものの差がみられる傾向にあったことから, 今後はより長時間の中強度運動における呼吸筋 W-up の有用性を検討する必要性があると考えられる。

一方, 高強度運動では, 呼吸筋 W-up の実施により主運動終了直後における呼吸筋力の低下を有

意に抑制することができた。また、主運動終了 1 分前の毎分換気量は、RWUT が NWUT と比べ高値を示す傾向にあったことから、RWUT の酸素摂取率がわずかではあるものの改善される傾向にあった。さらに、運動継続時間が延長する傾向にあったことから、呼吸筋 W-up は高強度運動において有用であることが示唆された。

参考文献

青木純一郎(1993) ウォームアップ、クールダウンの意義. 日本体育学会大会号 44A, pp. 79.

青木純一郎・佐藤佑・村岡功編(2001) スポーツ生理学. 市村出版: 東京, pp. 41-45.

秋吉史博・高橋仁美・菅原慶勇・佐竹将宏・塩谷隆信(2001) 呼吸筋強化が呼吸筋力に及ぼす影響. 理学療法学, 28(2): 47-52.

Borg, G. A. (1973) Perceived exertion: a note on "history" and "methods". Med. Sci. Sports., 5(2): 90-93.

後藤真二・池上晴夫(1991) ウォーミングアップがパフォーマンスと有酸素および無酸素性エネルギー代謝に及ぼす影響. デサントスポーツ科学, 12: 285-294.

Hajoglou, A., Foster, C., De Koning, J. J., Lucia, A., Kernozek, T. W., Porcari, J. P. (2005) Effect of warm-up on cycle time trial performance. Med. Sci. Sports. Exerc., 37(9): 1608-1614.

Hue, O., Le Gallais, D., Boussana, A., Chollet, D. and Prefaut, C. (1999) Ventilatory responses during experimental cycle-run transition in triathletes. Med. Sci. Sports. Exerc., 31(10): 1422-1428.

石河利寛(1973) ウォーミングアップの生理学. 体育学研究, 18(1): 1-8.

石河利寛・竹宮隆編(1994) 持久力の科学. 杏林書院: 東京, pp. 234-252.

岩川孝志・中村好男・村岡功(2001) サイクリストと非サイクリストにおけるペダリング運動中の大腿部の筋酸素化動態の比較. 体力科学, 50: 491-500.

解良武士(2002) 呼吸筋力の測定. 理学療法科学, 17(4): 265-271.

解良武士・古泉一久(2009) 呼吸筋トレーニングによる持久性能力の向上の可能性. 理学療法科学, 24(5): 767-775.

Lin, H., Tong, T. K., Huang, C., Nie, J., Lu, K. and Quach, B. (2007) Specific inspiratory muscle warm-up enhances badminton footwork performance. Appl. Physiol. Nutr. Metab., 32: 1082- 1088.

Loke, J., Mahler, D. A. and Virgulto, J. A. (1982) Respiratory muscle fatigue after marathon running. J. Appl. Physiol., 52(4): 821-824.

Mador, M. J. and Acevedo, F. A. (1991) Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. J. Appl. Physiol., 70(5): 2059-2065.

小野寺孝一・宮下充正(1976) 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性. 体育学研究, 21(4): 191-203.

滝澤一騎・石井好二郎(2005) ウォーミングアップ強度が高強度運動のパフォーマンスと酸素摂取動態、筋活動へ及ぼす影響. 日本運動生理学雑誌, 12(2): 41-49.

Volianitis, S., McConnell, A. K., Koutedakis, Y. and Jones, D. A. (2001) Specific respiratory warm-up improves rowing performance and exertional dyspnea. Med. Sci. Sports. Exerc., 33(7) 1189-1193.

山地啓司(2001) 最大酸素摂取量の科学(改訂版). 杏林書院: 東京, pp. 15-27.