

異なる強度の呼吸筋ウォームアップが呼吸筋力に及ぼす影響

竹村英和¹⁾

Effect of different intensities of inspiratory muscle warm-up on inspiratory muscle strength

Hidekazu TAKEMURA¹⁾

Abstract

In previous studies, the protocol for inspiratory muscle warm-up has been commonly used at 40% of maximal inspiratory pressure (MIP) with two sets of 30 breaths. However, it is not clear which protocol is appropriate for inspiratory muscle warm-up. The purpose of this study was to investigate the effect of different intensities of inspiratory muscle warm-up on inspiratory muscle strength. Twelve healthy male subjects aged 20-22 years performed four inspiratory muscle warm-up protocols on separate, randomly assigned days. The inspiratory muscle warm-up consisted of two sets of 30 breaths using a POWERbreathe inspiratory muscle trainer (POWERbreathe International Ltd., Warwickshire, UK) at each intensity of 40%, 50%, 60%, and 70% of MIP, with one minute of rest between sets. MIP as an index of inspiratory muscle strength was measured before and after inspiratory muscle warm-up. Rest interval of five minutes was allowed between inspiratory muscle warm-up and MIP measurements. In addition, the perception of breathlessness in subjects using the visual analog scale was measured after inspiratory muscle warm-up. There were no significant differences in MIP values before inspiratory muscle warm-up among the four protocols. The MIP value after inspiratory muscle warm-up was significantly higher than that of before inspiratory muscle warm-up in all protocols ($p < 0.01$), while the percent increase in MIP was not significantly difference among the protocols (40%MIP: $8.0 \pm 3.7\%$, 50%MIP: $8.6 \pm 4.7\%$, 60%MIP: $7.8 \pm 6.8\%$, 70%MIP: $9.7 \pm 8.0\%$). Furthermore, the perception of breathlessness in subjects after inspiratory muscle warm-up at 70%MIP tended to be higher than that in other protocols. These results suggest that inspiratory muscle strength was improved by inspiratory muscle warm-up at each intensity of 40%, 50%, 60%, and 70%MIP with two sets of 30 breaths. In this study, however, it was shown that no differences observed in the percent increase of MIP among the protocols. Therefore, it is necessary to investigate the effects of combined intensity and number of breaths for inspiratory muscle warm-up on inspiratory muscle strength in further studies.

Key words : warm-up, Powerbreathe, maximal inspiratory pressure, breathlessness

キーワード : ウォームアップ, パワーブリーズ, 最大吸気口腔内圧, 息苦しさ

1) 仙台大学

〒989-1693 宮城県柴田郡柴田町船岡南 2-2-18

1. 緒言

スポーツ現場では、練習や試合前にウォームアップとしての様々な活動が行われる。これらの活動は主運動に対する生理的・心理的な準備に位置づけられ、適切なウォームアップの実施は筋機能や呼吸・循環機能、神経機能などの身体諸機能に好影響を及ぼすことが報告されている（瀧澤, 2019）。また、実際のウォームアッププログラムは、ジョギングやストレッチなどを行う一般的ウォームアップと、主運動と同様または類似した動作様式の運動を用いる専門的ウォームアップで構成される（内丸, 2015, pp.120）。ウォームアップで実施される内容は多様であるが、その中の一つとして、呼吸筋運動（呼吸筋ウォームアップ）を取り入れる試みが行われている。

呼吸筋とは、吸息筋と呼息筋の総称である（片山, 2011, pp.1137）。呼吸には、ガスを取り込む吸息と、排出する呼息の2つの局面があり、吸息筋および呼息筋のそれぞれによって胸郭の拡大・縮小が行われ、間接的に肺を伸縮させている（片山, 2011, pp.1137）。なお、吸息筋には横隔膜や傍胸骨肋間筋、外肋間筋が該当するとともに、運動時には大胸筋や斜角筋、小胸筋、胸鎖乳突筋、鋸筋が補助吸息筋として動員される（宮田, 1998, pp.19）。一方、呼息筋については、安静時では吸息筋の弛緩に伴って受動的に胸郭の縮小（呼息）が行われるため貢献しないものの、換気量が増大する運動時では内肋間筋や腹直筋、腹斜筋、腹横筋などが胸郭の縮小を助ける役割を担っている（宮田, 1998, pp.19）。このように、呼吸には吸息筋と呼息筋の双方が関わっているものの、呼吸筋ウォームアップでは専用の機器を用いて、特に吸息筋に対して負荷刺激を与えることが多い。

先行研究によれば、吸気筋力の指標となる最大吸気口腔内圧（Maximal inspiratory pressure, 以下「MIP」と略す）の40%負荷圧（40%MIP）・30回・2セットの条件を用いた呼吸筋ウォームアップによって、スポーツ選手と一般成人のいずれにおいても呼吸筋力（吸気筋力）が増加したことを報告している（Arend et al., 2016; Johnson et al., 2014; Lin et al., 2007; Lomax et al., 2011; Ohya et al., 2015; Özdal, 2016; Tong and Fu, 2006; Volianitis et al., 2001）。一方で、競技力および競技力に関連する要因や運動能力に対しては、効果が認められたとの報告（Lin et al., 2007; Lomax et al., 2011; Tong and Fu, 2006; Volianitis et al., 2001）があるものの、否定的な報告（Arend et al., 2015; Johnson et al., 2014; Ohya et al., 2015）も見受けられており、一定の見解が得られていない。また、先行研究は同様（40%MIP・30回・2セット）の条件で行われているものが大多数であり、異なる負荷圧を用いた報告は少ないのが現状である。

呼吸筋ウォームアップに40%MIP・30回・2セットが数多く採用されている理由としては、この負荷圧が横隔膜の疲労を生じさせる上限強度であるとの先行研究結果（Roussos and Macklem, 1977）に基づき、初期の研究において Volianitis et al. (2001) がウォームアップ条件として取り入れたことが挙げら

れる。しかし、近年では、従来よりも高強度（高負荷圧）を用いることによって、さらに大きな効果が期待できるとの仮説に基づく検討（Arend et al., 2016; Merola et al., 2019）も散見されており、様々な条件を用いた研究の必要性が指摘されている（Arend et al., 2015, 2016）。

そこで本研究は、実際のスポーツ場面に応用するための基礎段階として、異なる強度の呼吸筋ウォームアップが呼吸筋力に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 対象者

対象者は、呼吸循環器系疾患の既往歴がない健康な男子大学生 12 名とした。対象者の身体特性は、年齢：21.2±0.7 歳，身長：171.6±5.1 cm，体重：72.3±7.3 kg，BMI：24.5±2.0 であった。実験に先立ち、対象者には本研究の目的や方法などを十分に説明し、書面にて本研究に参加することへの同意を得た。なお、本研究は仙台大学倫理審査会の承認を得て実施した。

2.2 実験デザイン

本研究では、対象者に対して異なる 4 種類の負荷圧を用いた呼吸筋ウォームアップを実施させ、その前後に呼吸筋力の指標となる MIP を測定した。また、呼吸筋ウォームアップ後の呼吸困難感（息苦しさ）について評価した。

各負荷圧条件における測定は別日に行うこととし、すべての測定を 2 週間以内に終了させた。なお、実施順はランダムとし、同一対象者の測定はすべて同一時間帯に行った。測定の実施にあたっては、睡眠時間や食事内容を可能な限り同一にするとともに、研究結果に影響を及ぼすことが予想されるような激しい運動を行わないよう対象者に指示した。また、アルコールやカフェイン、サプリメントの摂取について制限した。測定時の環境条件は、室温が 22.1±0.5~22.7±0.5°C，湿度は 37.5±4.0~40.4±4.5% であった。

2.3 呼吸筋ウォームアップ

呼吸筋ウォームアップは、各負荷圧(40%・50%・60%・70%MIP)に設定した POWERbreathe PLUS (POWERbreathe International 社製)を用い、椅座位にて 30 回を 2 セット実施させた。なお、セット間の休息は 1 分間とした。実施する際には、ノーズクリップを装着した状態でマウスピースをくわえ、できるだけ息を吐いてから、素早く、力強く、口から可能な限り息を吸い込ませた。また、息を吐くときは、力を入れずにゆっくりとすべての息を口から吐き出させた。

2.4 MIP の測定

MIP の測定は、電子式診断用スパイロメータ (Autospiro AS-507; ミナト医科学社製) および呼吸筋力計 ASS (ミナト医科学社製) を用い、米国胸部学会 (American Thoracic Society: ATS)・欧州呼吸器学会 (European Respiratory Society: ERS) のガイドライン (American Thoracic Society/European Respiratory Society, 2002, pp.528-547) に準じて実施した。測定肢位は椅座位とし、対象者はノーズクリップを装着した状態でマウスピースをくわえ、最大呼気位 (残気量位) から最大吸気を行った。なお、ノーズクリップについて、ATS と ERS のガイドラインでは装着不要とされているが、本研究では日本の呼吸リハビリテーションマニュアル (日本呼吸ケア・リハビリテーション学会呼吸リハビリテーション委員会ワーキンググループほか編, 2012, pp.138) をふまえ使用することとした。

呼吸筋ウォームアップ前における MIP の測定は、10 分間の安静後に実施した。また、呼吸筋ウォームアップ後の測定は、ウォームアップ終了 5 分後に開始した。測定は各 3 回実施し、MIP の差が 20% 未満であることを確認したうえで、最大値を測定値とした (American Thoracic Society/European Respiratory Society, 2002, pp.528-547)。なお、3 回の測定において MIP の差が 20% 以上であった場合には、最大 5 回までの追加測定を実施した。また、測定の実施にあたっては、対象者全員が測定未経験であったため、事前に練習および予備測定を実施し、測定結果の再現性について確認した。

2.5 呼吸困難感 (息苦しさ) の評価

呼吸筋ウォームアップ後の呼吸困難感 (息苦しさ) は、主観的な指標である Visual Analog Scale (以下「VAS」と略す) を用いて評価した。対象者には、100 mm の直線上において「息苦しさを全く感じない感覚」を 0 mm、「耐えられないほど息苦しい感覚」を 100 mm として、息苦しきの程度を直線上に記入させた。なお、VAS の記入は呼吸筋ウォームアップの終了直後に行わせた。

2.6 統計処理

すべてのデータは、平均値±標準偏差で表した。各項目の比較には、対応のある t 検定または一元配置分散分析を用いた。なお、一元配置分散分析において有意差が認められた場合には、多重比較検定 (Scheffé 法) を実施した。有意水準は 5% 未満とし、 $p < 0.05$ または $p < 0.01$ として表した。

3. 結果

3.1 最大吸気口腔内圧 (MIP)

図 1 に呼吸筋ウォームアップの前後における MIP を示した。また、図 2 に呼吸筋ウォームアップ後

呼吸筋ウォームアップが呼吸筋力に及ぼす影響

における MIP の増加率を示した。呼吸筋ウォームアップ前の MIP は、各条件間において有意差が認められなかった。一方、呼吸筋ウォームアップ前後の比較では、40%MIP の条件において、ウォームアップ前が 142.2 ± 22.0 cmH₂O、ウォームアップ後は 153.3 ± 22.5 cmH₂O を示し、有意な増加が認められた ($p < 0.01$)。同様に、50%MIP の条件では 140.3 ± 20.3 cmH₂O から 152.1 ± 21.3 cmH₂O ($p < 0.01$) に、60%MIP の条件では 139.3 ± 22.1 cmH₂O から 149.4 ± 21.4 cmH₂O ($p < 0.01$) に、70%MIP の条件では 140.3 ± 21.7 cmH₂O から 153.5 ± 23.1 cmH₂O ($p < 0.01$) といずれも呼吸筋ウォームアップ後において有意な増加が認められた。一方、MIP の増加率は、 $8.0 \pm 3.7\%$ (40%MIP)、 $8.6 \pm 4.7\%$ (50%MIP)、 $7.8 \pm 6.8\%$ (60%MIP)、 $9.7 \pm 8.0\%$ (70%MIP) を示し、各条件間において有意差は認められなかった。

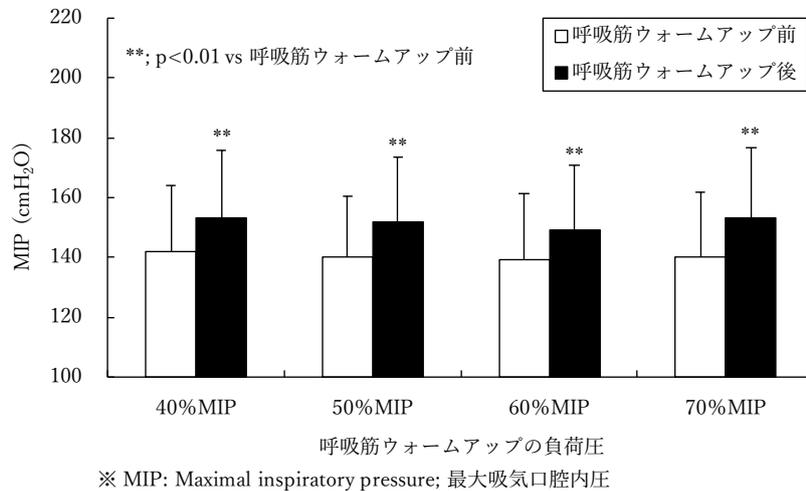


図1 呼吸筋ウォームアップの前後における MIP の比較

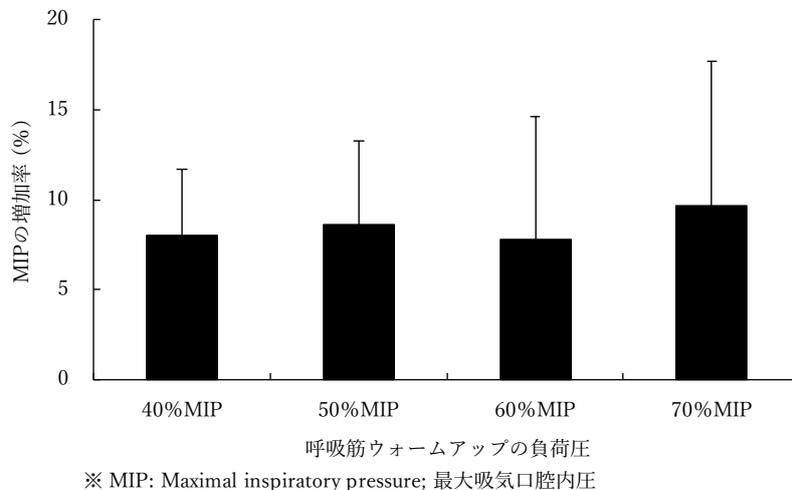


図2 呼吸筋ウォームアップ後における MIP の増加率の比較

3.2 呼吸困難感（息苦しきさ）

図 3 に VAS による呼吸筋ウォームアップ後の呼吸困難感（息苦しきさ）を示した。呼吸筋ウォームアップ後の VAS は、 37.7 ± 15.4 mm (40%MIP), 49.3 ± 15.7 mm (50%MIP), 48.9 ± 16.8 mm (60%MIP), 67.3 ± 14.0 mm (70%MIP) と呼吸筋ウォームアップの負荷圧が高まると高値を示す傾向にあり、70%MIP と他の条件間において有意差または有意傾向が認められた (40%MIP: $p < 0.01$, 50%MIP: $p = 0.06$, 60%MIP: $p = 0.05$)。

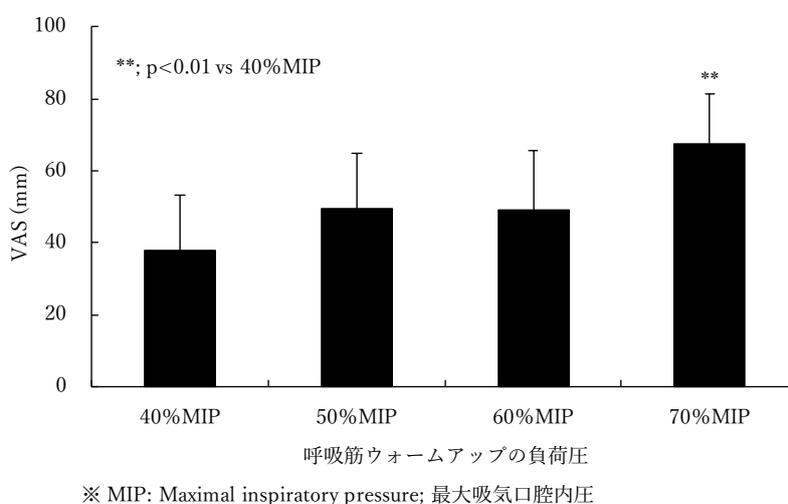


図 3 VAS による呼吸筋ウォームアップ後の呼吸困難感（息苦しきさ）の比較

4. 考 察

本研究では、異なる強度（負荷圧）を用いた呼吸筋ウォームアップが呼吸筋力に及ぼす影響について検討した。なお、呼吸筋ウォームアップの強度は 40%・50%・60%・70%MIP とし、いずれも 30 回・2 セットの条件を用いた。本研究で得られた主要な知見としては、「40%・50%・60%・70%MIP のいずれのウォームアップ強度においても呼吸筋力が増加する」、「強度の違いによる呼吸筋力の増加率に差は認められない」ことが挙げられる。また、「70%MIP の条件ではウォームアップ後の呼吸困難感（息苦しきさ）が高まる傾向にある」ことも本研究の主要な知見のひとつとなる。

先行研究によれば、40%MIP・30 回・2 セットの呼吸筋ウォームアップを実施した結果、呼吸筋力（MIP）は 5.1% (Arend et al., 2016)・7.0% (Özidal, 2016; Volianitis et al., 2001)・7.8% (Lin et al., 2007)・8.0% (Johnson et al., 2014)・9.1% (Tong and Fu, 2006) の増加率を示したことを報告している。本研究において、同条件を用いた際の呼吸筋力はウォームアップ後に有意な増加を示し、増加率は平均値で 8.0% と先行研究とほぼ同等であった。したがって、40%MIP の条件による本研究結果は、先

呼吸筋ウォームアップが呼吸筋力に及ぼす影響

行研究を支持するものといえる。また、呼吸筋ウォームアップに関する大多数の先行研究では、40%MIPを用いて検討を行っているが、この理由としては、40%MIPが横隔膜の疲労を生じさせる上限強度であるとの先行研究結果 (Roussos and Macklem, 1977) に基づいている。しかし、本研究では50%・60%・70%MIPの条件においても、呼吸筋力の有意な増加が認められた。したがって、従来よりも高強度を用いた呼吸筋ウォームアップは、呼吸筋力の増加に有用であることが示唆された。

一方、本研究では、すべての条件 (40%・50%・60%・70%MIP) において呼吸筋力が増加したものの、その増加率に差は認められなかった。また、70%MIPの条件ではウォームアップ後の呼吸困難感 (息苦しさ) が高まる傾向が認められた。

呼吸筋ウォームアップに関する先行研究では、実施回数として「30回」が数多く用いられている。また、呼吸筋に負荷刺激を与えるトレーニング (呼吸筋トレーニング) においても、50%MIPの強度を用いて「30回」の実施回数で行われることが多い (Fernández-Lázaro et al., 2021; Lorca-Santiago et al., 2020)。これらのことをふまえ、本研究ではすべての条件において「30回」の実施回数を用いたが、異なる強度で同一の実施回数を設定したことから、各ウォームアップ条件における運動量が異なり、このことが呼吸筋力の増加率や呼吸困難感 (息苦しさ) に影響を及ぼした可能性が考えられる。

呼吸筋ウォームアップが呼吸筋力や運動パフォーマンスに及ぼす影響については、強度を含めた様々な条件を用いて検討する必要性が指摘されている (Arend et al., 2015, 2016)。したがって、今後は強度と実施回数の組み合わせを考慮し、運動量を同一にした異なる強度の呼吸筋ウォームアップが呼吸筋力に及ぼす影響についても検討する必要があるといえる。

5. 結 論

本研究は、異なる強度の呼吸筋ウォームアップが呼吸筋力に及ぼす影響について検討した。

その結果、同一回数 (30回・2セット) による異なる強度 (40%・50%・60%・70%MIP) の呼吸筋ウォームアップは、いずれも呼吸筋力を増加させることが明らかとなった。しかし、強度の違いによる呼吸筋力の増加率には差が認められなかった。また、70%MIPの条件では呼吸困難感 (息苦しさ) が高まる傾向にあることが示された。

文 献

American Thoracic Society/European Respiratory Society (2002) ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 166: 518-624.

- Arend, M., Kivastik, J., and Mäestu, J. (2016) Maximal inspiratory pressure is influenced by intensity of the warm-up protocol. *Respir. Physiol. Neurobiol.*, 230: 11–15.
- Arend, M., Mäestu, J., Kivastik, J., Rämson, R., and Jürimäe, J. (2015) Effect of inspiratory muscle warm-up on submaximal rowing performance. *J. Strength Cond. Res.*, 29(1): 213-218.
- Fernández-Lázaro, D., Gallego-Gallego, D., Corchete, L.A., Zoppino, D.F., González-Bernal, J.J., Gómez, B.G., and Mielgo-Ayuso, J. (2021) Inspiratory muscle training program using the PowerBreath®: Does it have ergogenic potential for respiratory and/or athletic performance? A systematic review with meta-analysis. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 18: 6703.
- Johnson, M.A., Gregson, I.R., Mills, D.E., Gonzalez, J.T., and Sharpe, G.R. (2014) Inspiratory muscle warm-up does not improve cycling time-trial performance. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 114: 1821-1830.
- 片山敬章 (2011) 呼吸筋の適応と運動強度. *臨床スポーツ医学*, 28(10): 1137-1142.
- 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.
- Lomax, M., Grant, I., and Corbett, J. (2011) Inspiratory muscle warm-up and inspiratory muscle training: Separate and combined effects on intermittent running to exhaustion. *J. Sports Sci.*, 29(6): 563-569.
- Lorca-Santiago, J., Jiménez, S.L., Pareja-Galeano, H., and Lorenzo, A. (2020) Inspiratory muscle training in intermittent sports modalities: A systematic review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17: 4448.
- Merola, P.K., Zaccani, W.A., Faria, C.C., Berton, D.C., Verges, S., and Franchini, E. (2019) High load inspiratory muscle warm-up has no impact on Special Judo Fitness Test performance. *Ido Movement for Culture. Journal of Martial Arts Anthropology*, 19(1): 66-74.
- 宮田浩文 (1998) 呼吸筋. 宮村実晴ほか編, 呼吸—運動に対する応答とトレーニング効果—. ナップ, pp.19-29.
- 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会呼吸リハビリテーション委員会ワーキンググループほか編 (2012) 呼吸リハビリテーションマニュアル—運動療法—第 2 版. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会/日本呼吸器学会/日本リハビリテーション医学会/日本理学療法士協会, pp.138-139.
- Ohya, T., Hagiwara, M., and Suzuki, Y. (2015) Inspiratory muscle warm-up has no impact on performance or locomotor muscle oxygenation during high-intensity intermittent sprint cycling exercise.

SpringerPlus, 4: 556.

Özdal, M. (2016) Acute effects of inspiratory muscle warm-up on pulmonary function in healthy subjects.

Respir. Physiol. Neurobiol., 227: 23–26.

Roussos, C.S. and Macklem, P.T. (1977) Diaphragmatic fatigue in man. J. Appl. Physiol., 43(2): 189-197.

瀧澤一騎 (2019) ウォーミングアップの生理学. 臨床スポーツ医学, 36(6): 598-602.

Tong, T.K. and Fu, F.H. (2006) Effect of specific inspiratory muscle warm-up on intense intermittent run to exhaustion. Eur. J. Appl. Physiol., 97: 673-680.

内丸仁 (2015) スポーツとウォームアップおよびクールダウン. 村岡功編, 新・スポーツ生理学. 市村出版, pp.116-124.

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.

(2024年1月8日受付 / 2024年1月22日受理)