

# マスク着用が運動時の呼吸筋活動, 呼吸循環応答および有酸素能力に及ぼす影響

大阪教育大学 小川 剛 司

## Effect of Cloth Face Mask Wearing on Exhaustive Incremental Running Among Young Men

by

Takeshi Ogawa  
*Osaka Kyoiku University*

### ABSTRACT

This study aimed to investigate the effects of wearing a cloth face mask on physiological responses during exercise and running performance. Nine healthy men performed a graded load treadmill running test until exhaustion while wearing a cloth face mask (FM) and without a mask (CON). Minute ventilation and oxygen uptake were measured using a mass spectrometry metabolic analyzer, and mouth pressure (Pm) was measured and calculated as an integral Pm to assess respiratory muscle effort. Maximal minute ventilation was significantly lower in the FM condition than in the CON condition ( $p < 0.05$ ), while an integral Pm was significantly higher in the FM condition than in the CON condition ( $p < 0.05$ ), and Time to exhaustion tended to be lower in the FM condition ( $p = 0.07$ ). However,  $VO_{2max}$  was not significantly different between conditions. Our results suggest that in healthy young men, wearing a cloth facemask did not affect aerobic capacity even though impairing pulmonary hyperventilation.

キーワード

マスク, 有酸素能力, 呼吸筋, 呼吸

## Keyword

face mask, aerobic capacity, respiratory muscle, pulmonary ventilation

## 要 旨

本研究は、マスク着用が運動時の呼吸代謝応答および運動能力に及ぼす影響を調べることを目的とした。9名の健康男子大学生が実験に参加した。実験は、布マスクを着用 (FM) およびマスクなし (CON) の条件において、トレッドミル走による漸増負荷運動を疲労困憊まで行った。運動中、呼気ガス代謝分析器を用いて、換気量 ( $V_E$ ) および最大酸素摂取量 ( $VO_{2max}$ ) を測定した。最大  $V_E$  は FM で CON よりも有意に低値を示す一方で ( $p < 0.05$ )、口腔内圧は FM で有意に高値を示した ( $p < 0.05$ ) ことから、マスク着用による最大  $V_E$  の低下は呼吸抵抗の増加によって生じることが示唆された。運動継続時間は FM で CON よりも低値を示す傾向にあった ( $p = 0.07$ )、運動能力が低下する可能性が示唆された。一方で、 $VO_{2max}$  にはマスクありなしで有意な差は見られなかった。布製マスクは、呼吸抵抗が低いながらも換気量を低下させ、運動能力を低下させる傾向にあるものの、有酸素能力には影響しないことが示唆された。

## 緒 言

新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) は、2019年12月に中国で確認されてから、数ヶ月のうちに世界的流行となった。COVID-19の感染は主に飛沫核への曝露によって生じることから、その防止行動として、ソーシャルディスタンスの確保や、室内での密閉、密集を防ぐ、いわゆる「三密」の回避が推奨され、マスク装着が日常化するなど、人の生活行動を大きく変えた。フェイスマスクの着用は、人との距離を保てない場合や、室内に他者と長時間滞在する場合に、感染拡大地域におい

てはその着用の効果を認め、推奨されている<sup>1,2)</sup>。運動中は、激しい呼吸により飛沫核の広がりが大きくなることがシミュレーションされている<sup>3,4)</sup>。そのため、運動中であってもマスクの着用の必要性が議論されてきた。

近年、サージカルマスクやN95マスク着用時の運動パフォーマンスや呼吸・循環反応に関する研究が数多く行われている<sup>5-7)</sup>。運動中のマスクの装着は不快感の増大や、運動耐容能が低下する可能性が指摘されている<sup>5,6)</sup>。また、これらのマスクの着用は呼吸抵抗を増加させ、結果として肺換気量を減少させる<sup>6,7)</sup>。マスク着用によって呼吸が制限されることで、ガス交換の低下、動脈血酸素飽和度 ( $SaO_2$ ) の低下が引き起こされ、結果として最大酸素摂取量 ( $VO_{2max}$ ) の低下が生じることが考えられる。一方で、マスクを着用しても運動耐性や呼吸循環応答には影響を及ぼさないことを報告するものもあり<sup>8)</sup>、マスクの種類や、実験参加者の特性、運動プロトコルが異なることで、一貫した結果は得られていない。さらに、先行研究において実験条件で用いられるサージカルマスクやN95マスクは運動時に着用することはあまりなく、スポーツ実践の場面では、近年、薄手の布製フェイスマスクを着用することが多い。運動時に着用することの多い布製フェイスマスクでも、呼吸抵抗による不快感や呼吸筋活動の増大により、運動パフォーマンスを低下させるかについては十分に明らかでない。

COVID-19の感染拡大とその対策が長期に続く現在、感染拡大予防対策を取りながら、社会活動の維持する行動が求められている。マスク着用が運動時の呼吸循環応答および運動能力にどのような影響を及ぼすかについて調査することで、ス

スポーツ活動や学校体育をはじめとする社会活動の維持と、感染拡大予防のバランスの取れた施策を実行してく上で重要な基礎的な知見をもたらすものと考えられる。そこで本研究では、布製フェイスマスクの装着時の呼吸筋活動、呼吸循環応答、 $VO_{2max}$  および運動パフォーマンスを調べることを目的として、健康な若年男性9名を対象に、フェイスマスク装着時と非装着時のトレッドミル走試験を疲労困憊するまで実施した。

## 1. 実験方法

### 1. 1 対象者

健康な男性9名を対象に呼吸器循環器系及び筋骨格系に既往歴の有無を問診し、参加意思を示した(年齢: $21.3 \pm 2.0$ 歳,身長: $175.3 \pm 5.9$ cm,体重: $69.5 \pm 3.8$ kg)。

実験に先立ち、実験の趣旨、実験実施上の起こり得る危険性について十分に説明し、実験参加の同意を得た。本研究はヘルシンキ宣言に則り、被験者倫理・人権・個人情報保護への配慮の上に実験が遂行された。本研究は大阪教育大学倫理委員会の承認を得て行われた。

### 1. 2 研究手順

すべての被験者はトレッドミルによる疲労困憊までの漸増負荷走行テストをマスク装着条件(FM)およびマスクを装着せずに行う条件(CON)の2条件で行った。それぞれのテストは、別日に少なくとも48時間を空けて無作為な順序で行った。また日内変動を考慮し、各被験者内における2条件のテストは同じ時間帯(時間差2時間以内)に行われた。被験者は本実験参加前一週間以内に、実験手順について説明を受け、実験機器の装着および運動様式に慣れるために、練習を行った。被験者には、実験開始24時間前からカフェインおよびアルコールの摂取と過度な運動を行わないように指示した。テスト当日は、実験室

に入室後、身長および体重測定を行い、任意のストレッチを行った。その後トレッドミルを用いて歩行による3分間のウォーミングアップを行った。ウォーミングアップ終了後、被験者は呼気ガス分析のため、蛇管を介して質量分析計のセンサーに接続された呼気マスクを着用した。心拍出量測定のための心電図電極を6箇所貼り付けた。事故防止のために、上半身ハーネスを装着した後、測定を開始した。測定開始後、3分間の安静を保ち、テストを開始した。トレッドミルにおける走運動ではハーネスの位置を被験者に合わせて調節し、実験を通して同じ長さに調節した。また、走運動において、ランニングシューズは普段履き慣れたものを2条件のテストの両方で同じものを使用することとした。すべての実験において室内の気温を25℃に設定した。

### 1. 3 フェイスマスク

本研究のFM条件では、市販されている布製のフェイスマスクを用いた(表地:ポリエステル100%,裏地:ポリエステル98%,ポリウレタン2%)。フェイスマスクを着用してから呼気採取マスクを着用し、激しい呼吸時にも呼気ガスの漏れの無いようヘッドストラップで固定した(図1A)。呼気マスクを装着した後、被験者は50cmH<sub>2</sub>Oの圧力で呼気を行い、呼気マスクに接続された蛇管の先を手で閉じた。この時験者と被験者は、漏れの音や感覚、視覚的(マスクが持ち上がっていないか、横からの気流等)に注意深く確認した(図1B)。

### 1. 4 漸増負荷運動テスト

本研究はBruce treadmill protocol<sup>9)</sup>を用いて漸増負荷運動テストを行った。運動負荷は3分毎にトレッドミルの速度と傾斜を増加させた(表1)。

3分間の歩行によるウォーミングアップ(3.0km/h, 0%傾斜)を行った後、実験器具を装



図1 布マスクの着用

A,布マスク着用時の呼気マスク: 着用の手法, B,気流の漏れが無いかは蛇管出口を塞いで呼吸努力により圧力を高めて確認した.

表1 漸増負荷走行テストの負荷設定

ステージ	走速度 (km/h)	斜度 (%)
1	3.0	10
2	4.0	12
3	5.4	14
4	6.7	16
5	8.0	18
6	8.8	20
7	9.6	22

着しテストを開始した。テスト開始後、トレッドミル上での3分間の安静を行い、その後、疲労困憊に至るまで走行した。疲労困憊の基準はトレッドミル後方にある、速度に対して維持できなかった場合に、被験者の足等が通過するとトレッドミルが非常停止するセンサーの80cm手前に設けた一定ラインより、被験者が走行位置を維持できずに後ろに下がった時点を疲労困憊とし、運動を終了した。

### 1. 5 測定項目

呼気ガスの測定は、蛇管を通して呼気採取マスクに接続された質量分析計 (ARCO-2000N, ARCO, Japan) を用いて呼気ガスを分析することで運動中連続的に測定した。Breath by breath法で酸素摂取量 ( $VO_2$ )、二酸化炭素排出量 ( $V_{CO_2}$ )、分時換気量 ( $V_E$ )、一回換気量 ( $VT$ )、呼吸数 ( $f_R$ )

を測定した。質量分析計は校正ガス (大気相当:  $O_2$ , 20.90%,  $CO_2$ , 0.05%,  $N_2$ , Balance) 及び呼気相当:  $O_2$ , 13.0%,  $CO_2$ , 5.01%,  $N_2$ , Balance) を用いて校正した。各パラメーターは60秒毎に平均して、運動中のその最大値を解析に用いた。最大酸素摂取量 ( $VO_{2max}$ ) は、漸増負荷運動テストにおける  $VO_2$  を1分毎に平均し、その最大値を用いた。 $VO_{2max}$  の判定条件として呼吸交換比が1.10以上、最大心拍数が予想最大心拍数 ( $220 - \text{年齢}$ ) の90%を超える、走速度の増加にも関わらず  $VO_2$  が定常に達する、のいずれか2つ以上の条件を満たされていることとし、すべてのテストにおいて確認した。心拍数 (HR)、一回拍出量 (SV) 及び心拍出量 (CO) は、インピーダンス式心拍出量計 (Physio Flow Q-Link, Manatec Biomedical, France) を用いて1拍ごとに測定し、60秒毎に平均して解析に用いた。口腔内圧を圧力トランスデューサーカテーテル (MicroSensor Basic Kit, Codman & Shurtleff, Inc., MA) を呼気マスク内に固定し、フェイスマスクや呼気マスクを装着した場合にもカテーテルの先端が皮膚及びマスクに当たらないことを確認した上で測定を行った。口腔内圧はAD変換器 (PowerLab 8a/d, AD instruments, Australia) を介してサンプリング周波数200Hzでノートパソコン

に記録し、波形分析ソフト (Lab Chart ver.7, AD instruments, Australia) を用いて解析した。口腔内圧の変化は、吸気筋群 (吸気圧) および呼気筋群 (呼気圧) の活動によって発生することから、得られた口腔内圧は、吸気圧および呼気圧の双方の絶対値を60秒毎に積分し解析に用いた。動脈血酸素飽和度 (Sao<sub>2</sub>) は、被験者の全額部から Pulse Oximeter (N-560, Covidien Med, Ireland) を用いて測定し、60秒毎に記録した。主観的運動強度 (RPE) はBorgスケールを用いて測定し、呼吸困難感 Modified Borgスケール<sup>10)</sup> を用いて測定した。RPE及び呼吸困難感は1分毎に被験者に尋ね、記録した。

### 1. 6 統計解析

実験によって得られたデータは全て平均値±標準偏差で示した。全ての統計解析はデータ解析ソフト SPSS 28 (IBM, NY) を用いた。布マスク装着条件間の比較には paired t-test を用いた。効果量はCohen's d (d) を算出し、それぞれ効果量が0.8, 0.5, および0.2となった時を効果大, 中, 小とした。RPEおよび呼吸困難感、繰り返しのある2元配置分散分析 (マスク条件×走行ステージ) を用いた。効果量は偏イータ2乗 ( $\eta p^2$ ) を算出し、それぞれ効果量が0.01, 0.06, および0.14となった時を効果大, 中, 小とした。有意水準 (P) は5%未満とした。

## 2. 研究結果

### 2. 1 呼吸代謝応答

漸増負荷運動テストの結果を表2に示す。また、図2に最大酸素摂取量 (VO<sub>2max</sub>) および漸増負荷運動走行テストにおける疲労困憊までの運動継続時間の結果を示した。VO<sub>2max</sub> はFMとCONで有意な差は見られず (P=0.76, d=0.58), 運動継続時間はFMにおいてCONよりも有意ではないものの低値を示す傾向にあり (P=0.02, d=0.68), その低下率は2.6 ± 3.4%であった。V<sub>E</sub>max はFMにおいてCONと比較して有意に低値を示し (P<0.001, d=1.42), その低下率は13.4 ± 10.7%であった。VTはFMでCONよりも有意に低かった (P=0.03, d=0.85), f<sub>R</sub>はMaskでCONよりも有意ではないものの低い傾向にあった (P=0.04, d=1.66)。∫ PmはMaskでCONよりも20.7 ± 22.6%有意に高値を示した (P=0.02, d=0.78)。

CO, SV, HR, は、MaskとCONで有意な差は見られなかった (表2)。Sao<sub>2</sub>についても両条件間で有意な差は見られなかった。

### 2. 2 呼吸困難感

RPEおよび呼吸困難感の漸増負荷走行中の結果を図3に示す。RPEおよび呼吸困難感ともに交互作用 (マスク条件×走行ステージ) は有意でなかった (P=0.09およびP=0.12)。また、マスク着

表2 漸増負荷走行テストにおける呼吸循環応答の最大値

	マスクあり	マスクなし	P値	効果量 (d)
V <sub>E</sub> max (L/min)	98.9 ± 11.6	117.6 ± 11.6	<0.001	1.42
VT (L)	2.2 ± 0.3	2.4 ± 0.3	0.03	0.85
f <sub>R</sub> (breath/min)	51.2 ± 5.4	54.2 ± 5.2	0.04	0.78
V <sub>CO<sub>2</sub>peak</sub> (ml/min)	3780 ± 390	4179 ± 526	0.05	0.76
CO <sub>max</sub> (L/min)	24.5 ± 6.0	25.4 ± 5.2	0.71	0.13
SV (ml)	135.1 ± 31.8	142.6 ± 33.5	0.59	0.18
HR (beat/min)	189.2 ± 7.9	190.1 ± 7.7	0.55	0.12
Sao <sub>2</sub> (%)	93.8 ± 2.5	93.0 ± 1.7	0.33	0.35
∫ Pm (cmH <sub>2</sub> O.min)	166.3 ± 29.1	138.5 ± 15.3	0.02	0.95

数値は平均±標準偏差。V<sub>E</sub>max, 最大換気量; VT, 一回換気量; f<sub>R</sub>, 呼吸数; V<sub>CO<sub>2</sub>peak</sub>, 最高二酸化炭素排出量; CO<sub>max</sub>, 最大心拍出量; SV, 一回拍出量; HR, 心拍数; Sao<sub>2</sub>, 動脈血酸素飽和度; ∫ Pm, 口腔内圧積分値。

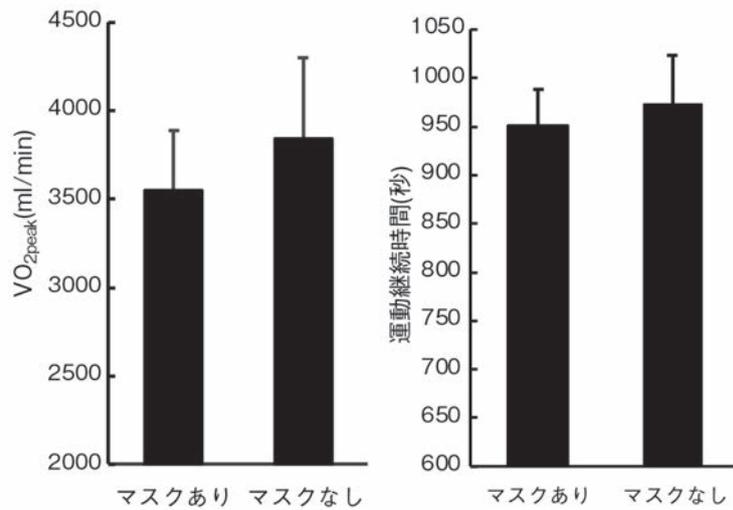


図2  $VO_{2max}$ および運動継続時間

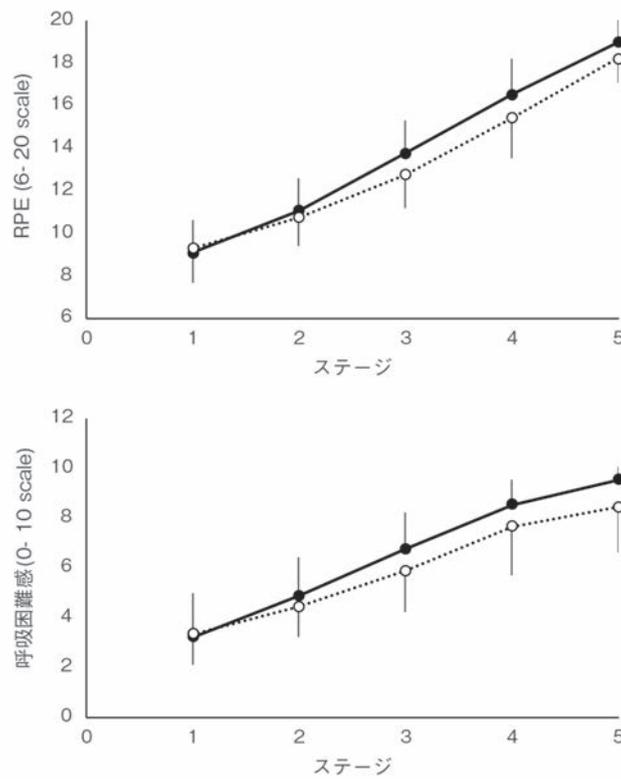


図3 最大下走行各ステージにおけるRPEおよび呼吸困難感

図は走行運動における第5ステージまでの各ステージにおける結果を示す。上がRPE, 下が呼吸困難感を示す。●はマスクあり条件, ○はマスクなし条件を示す。RPE, 呼吸困難感双方において交互作用 (マスク条件×走行ステージ) は有意でなかった ( $P=0.09$ および $P=0.12$ )。

用条件の主効果も有意ではなかった ( $P=0.25$ および $P=0.05$ )。しかしながら, 呼吸困難感のマスク条件の  $\eta^2$  は0.32と高かった。

### 3. 考察

先行研究において不織布マスクやN95マスクを

着用しての運動は、運動中の不快感を増大させ、運動耐性を低下させる可能性があることが報告されている<sup>1)</sup>。また、マスクを着用しての運動は熱放散を妨げ、熱中症の危険性を高めることも指摘されている<sup>1)</sup>。マスク着用運動中の生理的反応として、最大下運動時の呼吸困難の増加、HRや血圧の上昇などが確認されているものの、ガス交換効率の低下によるSao<sub>2</sub>の低下、VO<sub>2max</sub>の減少があるかどうかについては、結果が一致していない<sup>5-8, 11, 12)</sup>。これら先行研究の多くは不織布マスクでの検討であり、COVID-19感染拡大以降にスポーツ実践において、よく着用されるようになった布マスクでの検討は少ない。本研究はスポーツの実践で使用されるような低抵抗の布製マスク装着時の最大走運動時の呼吸循環応答を調べることを目的とした。その結果、布製フェイスマスクの装着によって口腔内圧の増加とV<sub>E</sub>の大きな低下が観察され、呼吸抵抗と呼吸筋活動が増加することで換気増大が制限されることが示唆された。一方で、循環応答はマスク条件間で有意な差は見られなかった。さらに、布製フェイスマスクの装着はVO<sub>2max</sub>に対して影響は少ないこと、運動パフォーマンスの低下が誘発される可能性が示唆された。

多くの非鍛錬者では激しい運動中でもSao<sub>2</sub>は維持されており、肺換気量そのものは正常肺のガス交換に影響を与えないと考えられている。一方で、持久的鍛錬者では運動誘発性動脈性低酸素血症 (EIAH) が見られることがある。持久的鍛錬者では運動中の高すぎる心拍出量による肺胞における拡散時間の短縮や、ガス交換に関与しない血流 (死腔) の増加の他、不十分な換気量によるガス交換制限が、換気/血流比の不均衡をもたらし、動静脈酸素格差の拡大を生じさせることがその原因として考えられている<sup>13, 14)</sup>。特に換気応答の制限に注目すると、高強度運動時には胸郭の物理的な制限や気道抵抗の増大はV<sub>E</sub>を制限し、

Sao<sub>2</sub>レベルに影響することが報告されている<sup>15)</sup>。本研究の被験者においては、CON条件においてすでにSao<sub>2</sub>は安静時 (99%) と比較して5%程度低下しており、若干であるがSao<sub>2</sub>の低下が観察された。そこで、マスク装着によってV<sub>E</sub>が制限されるのであれば、Sao<sub>2</sub>の大きな低下が見られ、VO<sub>2max</sub>も低下する可能性があったが、結果としては、FM条件でCON条件よりもV<sub>E</sub>は大きく低下したものの、フェイスマスクを装着してもSao<sub>2</sub>に差が見られず、布製マスクの装着はV<sub>E</sub>の高さ自体には影響するものの、ガス交換を悪化させないことが示唆された。

先行研究では、サージカルマスクやN95マスクを着用しての運動は、呼吸困難感や不快感を増大させることが報告され、これが運動パフォーマンスに影響することが示唆されている<sup>5, 11)</sup>。しかしながら、呼吸困難感はFM条件で高く推移する傾向にあるものの、有意ではなかった。本研究で用いた、布製のフェイスマスクは医療用マスクよりも呼吸の抵抗が低かったことが予想され<sup>16)</sup>、運動時の呼吸困難感はそれほど高まらないことが示唆された。

運動時の換気増大に対して、呼吸筋活動は指数関数的に増大し、呼吸筋での酸素消費量は増大する<sup>17)</sup>。そのため、高強度運動時には活動筋と呼吸筋の間で、血流競合が生じることが知られており、呼吸筋活動の増大は活動筋への血流量を制限することが報告されている<sup>18, 19)</sup>。したがって、呼吸筋活動の増大は運動パフォーマンスの制限要因になりうることを示唆されている<sup>20)</sup>。本研究で算出した口腔内圧積分値は、正確な呼吸筋仕事量ではないものの、FM条件においてCON条件よりも高値を示しており、フェイスマスクの着用によって呼吸抵抗が高まり、呼吸筋活動が増大したことが考えられる。フェイスマスク着用によって、呼吸筋努力が増加し、活動筋との血流競合が生じることで、活動筋への血流が制限された可能

性があり、運動パフォーマンス低下傾向の一因となった可能性がある。

フェイスマスクを装着して運動した場合の循環応答については、N95マスクの場合、最大下運動強度では血圧が上昇すること<sup>6)</sup>や、心拍数が高くなる傾向がある<sup>7)</sup>一方で、最大心拍出量は影響を受けないことが報告されている<sup>5)</sup>。本研究では、若い男性では布製フェイスマスクを装着しても最大心拍出量に影響がないことを示唆する結果となった。

本研究の限界について、本研究の被験者は、健康な若い男性であった。本研究の結果はすべての人において、布製マスクを着用しても有酸素能力には影響しないと結論づけることはできない。子供や高齢者、慢性呼吸器疾患患者など、体力特性や年齢、呼吸器疾患の有無により、異なる結果が得られることが予想される<sup>21)</sup>。一方で、本研究では、呼気ガス採取マスクと布製マスクを重ねた状態で運動テストを実施した。そのため、ガス採取用マスクは呼吸抵抗が小さいとはいえ、実際の運動状況よりも高い呼吸負荷がかかっていたことが考えられる。したがって、本研究で得られた結果は、布製フェイスマスクの効果を過大評価する可能性がある。

#### 4. まとめ

本研究では、布製フェイスマスクを着用した最大運動時の呼吸循環応答および有酸素能力を検討した。その結果、布製フェイスマスクを装着しての最大走行時には、呼吸筋活動が高まり、 $V_E$ が低下するものの、 $VO_{2max}$ は非装着時と有意な差がなかった。本研究の結果から、健康な若年男性において布製マスクを装着すると、ガス交換や有酸素能力に影響を与えることなく運動が可能であるが、運動能力が低下する可能性があることが明らかとなったこれらの結果から、COVID-19流行地では、大きな飛沫の飛散を防ぐことができる布

製マスクを着用して運動することは、COVID-19流行地において人との距離を保てない屋内などでは認められるかもしれない。

#### 謝 辞

本研究に対して助成を賜った財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、実験にご協力いただきました対象者の皆様ならびに、実験遂行に協力いただきました平野由夏様に深く感謝いたします。

#### 文 献

- 1) WHO. COVID-19 infection prevention and control living guideline: mask use in community settings. <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1403813/retrieve> (2021)
- 2) Esposito, S., Principi, N., Leung, C.C. & Migliori, G. B. Universal use of face masks for success Against COVID-19: evidence and implications for prevention policies. *Eur. Respir. J.* 55, 1-5 (2020)
- 3) Chandrasekaran, B., Fernandes, S. "Exercise with facemask; Are we handling a devil's sword?" - A physiological hypothesis. *Med. Hypo.* 144, 110002 (2020)
- 4) Jones, N.R., Qureshi, Z.U., Temple, R.J., Larwood, J.P., Greenhalgh, T., & Bourouiba, L. Two meters or one: what is the evidence for physical distancing in covid-19? *BMJ* 370, m3223 (2020)
- 5) Fikenzer, S., Uhe, T., Lavall, D., Rudolph, U., Falz, R., Busse, M., ... & Laufs, U. Effects of surgical and FFP2/N95 face masks on cardiopulmonary exercise capacity. *Clin. Res. Cardiol.* 109, 1522-1530 (2020)
- 6) Lässig, J., Falz, R., Pökel, C., Fikenzer, S., Laufs, U., Schulze, A., ... & Busse, M. Effects of surgical face masks on cardiopulmonary parameters during steady state exercise. *Sci. Rep.* 10, 22363 (2020)
- 7) Umutlu, G., Acar, N.E., Sinar, D.S., Akarsu, G., Güven, E., Yildirim, I. COVID-19 and physical activity in sedentary individuals: differences in metabolic, cardiovascular, and respiratory responses during aerobic exercise performed with and without a surgical face masks. *J. Sports Med. Phys. Fit.* (2021)
- 8) Shaw, K., Butcher, S., Ko, J., Zello, G.A., &

- Chilibeck, P.D. Wearing of Cloth or Disposable Surgical Face Masks has no effect on Vigorous Exercise Performance in Healthy Individuals. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, 8110 (2020)
- 9) Bruce, R., Kusumi, F., Hosmer, D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am. Heart J.*, 85, 546-562 (1973)
  - 10) Kendrick, K.R., Baxi, S.C., Smith, R.M. Usefulness of the modified 0-10 Borg scale in assessing the degree of dyspnea in patients with COPD and asthma. *J. Emerg. Nurs.* 26, 216-222 (2000)
  - 11) Driver, S., Reynolds, M., Brown, K., Vingren, J. L., Hill, D. W., Bennett, M., ... & Jones, A. Effects of wearing a cloth face mask on performance, physiological and perceptual responses during a graded treadmill running exercise test. *Br. J. Sports Med.* 56, 107-113 (2022)
  - 12) Shaw, K.A., Zello, G.A., Butcher, S.J., Ko, J.B., Bertrand, L., Chilibeck, P.D. The impact of face masks on performance and physiological outcomes during exercise: a systematic review and meta-analysis. *Appl. Physiol. Nutr. Metabo.* 46, 693-703 (2021)
  - 13) Harms, C.A., Stager, J.M. Low chemoresponsiveness and inadequate hyperventilation contribute to exercise-induced hypoxemia. *J. Appl. Physiol.* 79, 575-80 (1995)
  - 14) Dempsey, J.A., Wagner, P.D. Exercise-induced arterial hypoxemia. *J. Appl. Physiol.* 87, 1997-2006 (1999)
  - 15) Powers, S.K., Jacques, M., Richard, R., & Beadle, R.E. Effects of breathing a normoxic He-O<sub>2</sub> gas mixture on exercise tolerance and VO<sub>2</sub> max. *Int. J. Sports med.* 7, 217-221 (1986)
  - 16) Hopkins, S.R., Dominelli, P.B., Davis, C.K., Guenette, J.A., Luks, A.M., Molgat-Seon, Y., Sá, R.C., Sheel, A.W., Swenson, E.R., Stickland, M.K. Face Masks and the Cardiorespiratory Response to Physical Activity in Health and Disease. *Ann. Am. Thorac. Soc.* 18, 399-407 (2021)
  - 17) Aaron, E.A., Seow, K.C., Johnson, B.D., Dempsey, J.A. Oxygen cost of exercise hyperpnea: implications for performance. *J. Appl. Physiol.* 72, 1818-1825 (1992)
  - 18) Harms, C., Wetter, T., McClaran, S., Pegelow, D., Nিকে, G., Nelson, W., Hanson, P., Dempsey, J. Effects of respiratory muscle work on cardiac output and its distribution during maximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 85, 609-618 (1998)
  - 19) Harms, C.A., Babcock, M.A., McClaran, S.R., Pegelow, D.F., Nিকে, G.A., Nelson, W.B., Dempsey, J.A. Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *J. Appl. Physiol.* 82, 1573-1583 (1997)
  - 20) Harms, C.A., Wetter, T.J., St. Croix, C.M., Pegelow, D.F., Dempsey, J.A. Effects of respiratory muscle work on exercise performance. *J. Appl. Physiol.* 89, 131-138 (2000)
  - 21) Alkan, B., Ozalevli, S., Akkoyun, Sert O. Maximal exercise outcomes with a face mask: the effects of gender and age differences on cardiorespiratory responses. *Ir. J. Med. Sci.* 26, 1-7 (2021)