

# 姿勢の相違が健常者の運動後呼吸困難の回復過程に及ぼす影響

金城友也・柴田寛斗

## 要旨

本研究の目的は、立位、座位、側臥位での姿勢の違いが運動後呼吸困難の回復にどのように影響するのかを明らかにすることである。若年健常者 20 名を対象に、最高酸素摂取量の 80%に相当する負荷強度で一段階運動負荷試験を 5 分間実施した。運動終了後は各姿勢にて、呼吸困難、下肢疲労感、心拍数、呼気ガス分析から得られる各種指標を測定し、運動後の回復過程の比較を行った。結果、呼吸困難の回復時間は座位と比較して側臥位で有意に長かった。また、心拍数の回復は側臥位において有意に低値を示した。下肢疲労感、呼吸数の回復では 3 つの姿勢で有意差は認められなかった。以上の結果より、労作時呼吸困難の回復のための姿勢として、側臥位は不利である可能性が示唆された。

## はじめに

呼吸困難とは、換気に伴って自覚する不快な症状の総称であり、理学療法の臨床現場においては、呼吸器または循環器疾患患者を中心に、しばしば問題となる自覚症状である。特に運動時や動作時に生じる労作時呼吸困難は、患者の活動を制限するとともに、身体活動量の低下を招き、廃用性の運動機能低下を引き起こす<sup>1)</sup>。そのため、理学療法臨床において呼吸困難への対応は重要な目標となる。

理学療法には、労作時呼吸困難を軽減する手段があり、呼吸法やペーシングなどがその代表である<sup>2)</sup>。これらの方法は労作時呼吸困難の発生を予防する目的で適用される。また、呼吸困難を生じた際には徒手呼吸介助法<sup>3)</sup>やパニックコントロールという手段もあり、呼吸困難の自己管理としてもその指導が重要となる。

労作時呼吸困難を生じた際には、特定の姿勢をとることによって、その軽減に有用であることも知られている<sup>3)</sup>。代表的なものとして、上肢で体幹を支持する前傾座位や立位、壁に寄り掛かった立位などは慢性閉塞性肺疾患患者の呼吸困難を有意に軽減することが知られている。萩野ら<sup>4)</sup>は同患者を対象に、前傾座位によって呼吸困難が有意に軽減することを報告し、松下ら<sup>5)</sup>は健常者に対し車輪付き歩行器を使用して、上肢で

体幹を支持する姿勢が、胸郭の拡張に寄与することで高肺気量位の呼吸様式になることを示している。しかしながら、立位、座位あるいは臥位といった姿勢「単独」の相違が呼吸困難の軽減や回復にどのような影響を及ぼすのかは不明な点が多い。

姿勢の相違による呼吸困難への影響については、健常者を対象としたいくつかの研究報告がある。佐藤ら<sup>6)</sup>は、前傾立位と自然立位で運動後の換気量、酸素摂取量(oxygen consumption; 以下、 $\dot{V}O_2$ )および心拍数(heart rate; 以下、HR)の推移を比較しており、前傾立位で HR の回復が速かったと報告している。また、茂内ら<sup>7)</sup>は亜最大運動後に立位と座位で佐藤らと同様の指標とともに呼吸困難の推移を比較し、座位において HR の回復が早く、低値であったことを示した。しかし、これらの報告<sup>6,7)</sup>は、いくつかの課題や疑問が残されている。まず、これらは座位と立位の比較のみであり、臥位との比較を含めて検討されていない。呼吸機能は姿勢に大きく影響を受けることが知られている。臥位に着目すると、松本ら<sup>8)</sup>は臥位に比べ座位が、臥位の中では腹臥位に比べ側臥位が努力性肺活量や 1 秒量において有意に高値であることを報告している。また、側臥位は背臥位に比べて胸腔内圧が低く、呼吸中の肺気量位が高いことも示していた。さらに同姿勢

勢は腹腔内圧も低く、背臥位の際にみられる呼吸終末の顕著な上昇も見られず、肺の拡張という面において有利であるとされる<sup>8)</sup>。したがって、臥位では側臥位が呼吸機能にて有利であると考えることができ、労作時呼吸困難の回復や軽減において、同姿勢が有用である可能性が挙げられる。

2点目として、各指標の測定時間が運動後3, 6, 9分と長時間であり、3分以内といった短時間でどのように回復あるいは推移したかが評価されていない。3点目として、これらはいずれもトレッドミルを使用した運動負荷であり、歩行速度は時速約5kmで5分間という負荷条件と、Bruceのプログラムを用いた多段階運動負荷試験を適用し予測最大心拍数の85%に到達するまでの負荷と、大きく異なっており、健常者に対して呼吸困難を誘発するための負荷強度が適切であったか疑問が残るところである。

そこで本研究では、呼吸器疾患のない健常者を対象として、立位、座位とともに、側臥位を加えて姿勢の違いが運動後呼吸困難の回復にどのように影響するかを明らかにすることを目的とした。これが明らかになることで、運動療法をはじめとする理学療法の臨床現場における呼吸困難発生時の対応や、対象者への指導に役立つ可能性が期待できる。

## 対象

本研究の趣旨を理解し、同意が得られた健常者20名(男性、女性それぞれ10名)を対象とした。除外基準は呼吸器疾患(気管支喘息に関しては1年以内に症状が出現した者)や循環器疾患の既往、研究参加日の前日に行った活動による倦怠感や疲労感、筋痛が残存する場合、過去1週間以内に上気道炎に罹患し、症状が残存する者、喫煙歴(過去・現喫煙)がある者とした。対象者には、本研究の目的および手順、内容、リスクについて口頭および文書で十分に説明し、書面にて同意を得た上で実施した。本研究は、長崎大学大学院医歯薬学総合研究科倫理委員会の承認を得て実施した(許可番号21070809)。

## 方法

### 1. 実施手順

本研究では、事前調査、漸増運動負荷試験(cardiopulmonary exercise test; 以下、CPX)および一段階運動負荷試験を実施した。測定の初日は事前調査とCPXを、2日目以降に一段階運動負荷試験を3回実施し、運動後の回復姿勢を立位、座位、側臥位として、呼吸困難をはじめとする項目を評価した。これらすべての測定は、24時間以上の間隔を空けて実施し、3つの姿勢の条件は封筒法によるランダムな順序とした。

### 2. 事前調査

長崎大学医学部保健学科内部障害系理学療法学研究室にて、研究説明書を用いて対象者に各測定の目的、手順、リスク等について十分なオリエンテーションを行った。その後、問診とともに、身長、体重、バイタルサインを測定した。

### 3. 漸増運動負荷試験

一段階運動負荷試験の運動強度を決定するために、自転車エルゴメーター(COMBI社製232CXL)によるCPXを実施した。負荷プロトコルには20W/分の漸増ランプ負荷を適用し、回転数は50回/分とした。試験中は、呼吸ガス分析装置(ミナト医科学社製エアロモニタ AE-300S)にて $\dot{V}O_2$ ならびに換気諸量を、心電図モニター(フクダ電子社製 FUKUDA M-E BIO-SCOPE M100)を用いてHRを連続的に測定した。また、試験開始から1分毎に修正Borgスケールにて呼吸困難と下肢疲労感を対象者より聴取した。試験終了基準は、対象者が症候限界に至った時点とし、中止基準は成書<sup>9)</sup>に従った。

### 4. 一段階運動負荷試験

#### 1) 測定方法および運動後回復過程の姿勢

自転車エルゴメーターを使用し、安静1分、強度20Wでウォーミングアップ1分間の後、定常負荷による運動を5分間、クールダウンを30秒間行った(図1)。その後、自転車エルゴメーターから降車し、3種類のうち事前に決められた姿勢を5分間保持し、後述する測定指標の推移を評

価した。なお、運動強度は CPX にて得られた最高酸素摂取量(以下  $\dot{V}O_2$  peak)の 80%に相当する負荷強度(W)を適用し、回転数は 50 回/分とした。5 分間の運動で、その継続が困難となった場合は、対象者の自己申告によって途中での終了を許可した。

運動負荷終了後の各姿勢について、立位は体幹の前傾支持なし、壁などによりかからない直立姿勢とした。足幅は肩幅と同じ間隔とし、上肢は自然に下垂した状態とした。座位では、足底が

完全に接地する椅子座位とし、背もたれには寄りかからず、体幹の前傾や上肢による支持はなく、足幅は肩幅と同じ間隔とし、上肢は自然に下垂した状態とした。側臥位は、両側の股関節および膝関節をそれぞれ 90 度屈曲位、両側の肩関節も 90 度屈曲位として体幹の前方に置くようにした。体幹はベッド面に対して垂直とし、頸部は正中位、肩甲帯と骨盤が回旋しないようにした。なお、同姿勢は対象者の好む向きとし、右または左のいずれでも可とした。

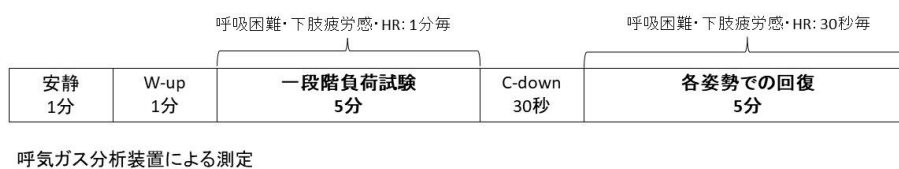


図 1 一段階運動負荷試験のプロトコル

## 2) 測定項目

### ①呼吸困難・下肢疲労感

修正 Borg スケールを用いて、安静時および負荷試験開始から終了時までには 1 分毎、クールダウン終了直後から回復の 5 分間は 30 秒毎に対象者から聴取した。

### ②心拍数

前述の心電図モニターにて連続的に測定、呼吸困難・下肢疲労感と同様に測定、記録した。

### ③呼吸数、酸素摂取量および換気諸量

呼吸ガス分析装置を用いて、呼吸数 (respiratory rate; 以下, RR),  $\dot{V}O_2$ , 分時換気量 (minute ventilation; 以下,  $\dot{V}_E$ ), 1 回換気量 (tidal volume; 以下,  $V_T$ ), 二酸化炭素換気当量 ( $\dot{V}_E$ /carbon dioxide output; 以下,  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$ ), 死腔換気率 (ratio of dead space to tidal volume; 以下,  $V_D/V_T$ ) を HR と同様に連続的に測定した。

## 5. 統計学的解析方法

運動後回復過程の姿勢の相違による呼吸困難の解析は、安静時の修正 Borg スケールと同値となるまでの回復時間を同定し、Bonferroni 法で補正した Wilcoxon 符号付順位検定にて比較した。なお、時間内に呼吸困難が安静時と同値まで回復しなかった対象者では、回復時間を 5 分

(300 秒)とした。下肢疲労感も同様に解析した。

また、呼吸困難の回復との関連性を確認する目的で、HR と RR の回復推移についても解析した。この比較には、姿勢の相違と時間を因子とした反復測定の二元配置分散分析を実施した。測定項目はすべて平均値±標準偏差にて示し、統計学的有意差は 5%とした。上記の解析には統計解析ソフトウェア IBM SPSS ver. 27 を使用した。

## 結果

### 1. 対象者の背景

事前調査ならびに CPX の結果を 20 名の全対象者と性別ごとに表 1 に示す。なお、CPX では 2 名が実施直後に気分不良を訴えたが、その他は有害事象を認めずに完遂できた。

### 2. 一段階運動負荷試験の実施状況

運動後の回復過程を各姿勢で評価する際に実施した一段階運動負荷試験の結果を表 2 に示す。運動持続時間、試験終了時の  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}_E$ ,  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$  ならびに  $V_D/V_T$  には 3 回の実施ですべて有意差を認めなかった。つまり、運動負荷を同様に適用することができたと言える。また、一段階運動負荷試験を 5 分間完遂できた対象者は、

全姿勢が6名、立位が7名、座位が10名、側臥位が11名であった。

### 3. 各姿勢による呼吸困難の回復過程の比較

図2のaに示すように、立位、座位においては運動終了後60秒以降から修正Borgスケールの値が比較的速やかに低下していくのに対し、側臥位では呼吸困難の回復推移が立位、座位に比べて高値を示していた。また、図2のbに示す回復時間の比較では、座位236±57.8秒と比較して、側臥位264±59.7秒と有意に長かった(p=0.015)。立位では242±47秒であり、立位と座位、立位と側臥位では有意差を認めなかった。

### 4. 各姿勢による下肢疲労感の回復過程の比較

図3のaの通り、運動終了後30秒の時点では立位と側臥位が高値を示していたが、その後

は3姿勢すべてが同様の回復推移を示した。また図3のbに示す回復時間の比較では、側臥位(251±60.9秒)で回復が速い傾向にあったが(立位264±52.5秒、座位260±54.7秒)、3群間でいずれも有意な相違を認めなかった。

### 5. 各姿勢による心拍数と呼吸数の回復推移

同様に両者の回復推移を図4に示す。HR(図4-a)では、有意な主効果を認めた(p=0.031)。主効果は姿勢の相違という単独の因子の効果を示す。HRは、側臥位での回復が速やかで、回復後30秒以降、一貫して低値であった。また、この3姿勢による回復の経時的変化では、有意な交互作用を認めず、同様の経時的な変化であった。RR(図4-b)については、運動後60秒以降、立位で多い傾向にあったが、有意な主効果と交互作用を認めず、3姿勢で同様の推移を示した。

表1 対象者背景

	全体 (n=20)	男性 (n=10)	女性 (n=10)
年齢, 歳	21 ± 0.9	21 ± 0.8	21 ± 0.9
身長, cm	163 ± 5.3	166 ± 3.5	159 ± 4.5
体重, kg	57 ± 7.0	63 ± 3.2	51 ± 4.0
BMI, kg/m <sup>2</sup>	21.5 ± 1.9	22.8 ± 1.0	20.2 ± 1.6
$\dot{V}O_2$ peak, ml/kg/min	38 ± 10.7	42 ± 11.8	33 ± 6.0
W peak, W	165 ± 45.9	199 ± 34.3	130 ± 21.2

平均値±標準偏差, BMI: body mass index,  $\dot{V}O_2$  peak (oxygen consumption): 最高酸素摂取量, W peak: 最高仕事量

表2 一段階運動負荷試験の実施結果

	立位	座位	側臥位
運動持続時間, 秒	233 ± 56.6	254 ± 51.9	246 ± 66.4
$\dot{V}O_2$ , ml/kg/min	39.0 ± 11.5	38.0 ± 11.7	41.4 ± 12.3
$\dot{V}_E$ , L/min	53.2 ± 15.0	54.6 ± 14.2	55.6 ± 14.0
$\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$	24.6 ± 4.7	25.9 ± 5.8	25.2 ± 7.0
$V_D/V_T$	0.25 ± 0.04	0.26 ± 0.02	0.26 ± 0.03

平均値±標準偏差,  $\dot{V}O_2$  (oxygen consumption): 酸素摂取量,  $\dot{V}_E$  (minute ventilation): 分時換気量,  $\dot{V}_E/\dot{V}CO_2$  ( $\dot{V}_E$ /carbon dioxide output): 二酸化炭素換気当量,  $V_D/V_T$  (ratio of dead space to tidal volume): 死腔換気率

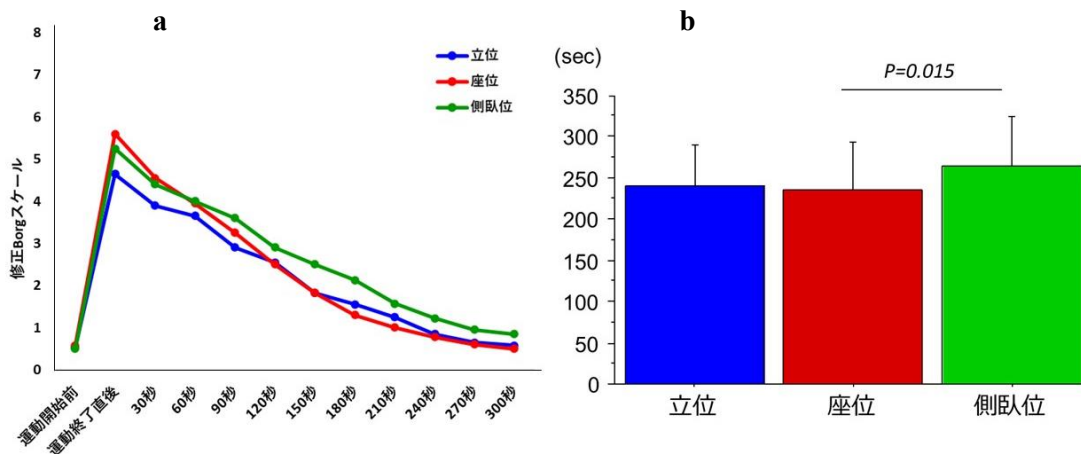


図2 呼吸困難の回復推移(a)と回復時間(b)

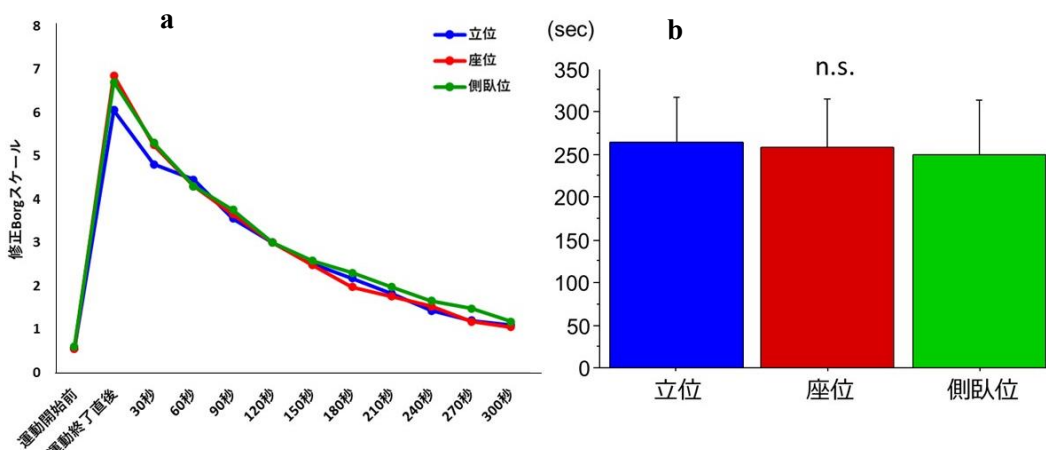


図3 下肢疲労感の回復推移(a)と回復時間(b)

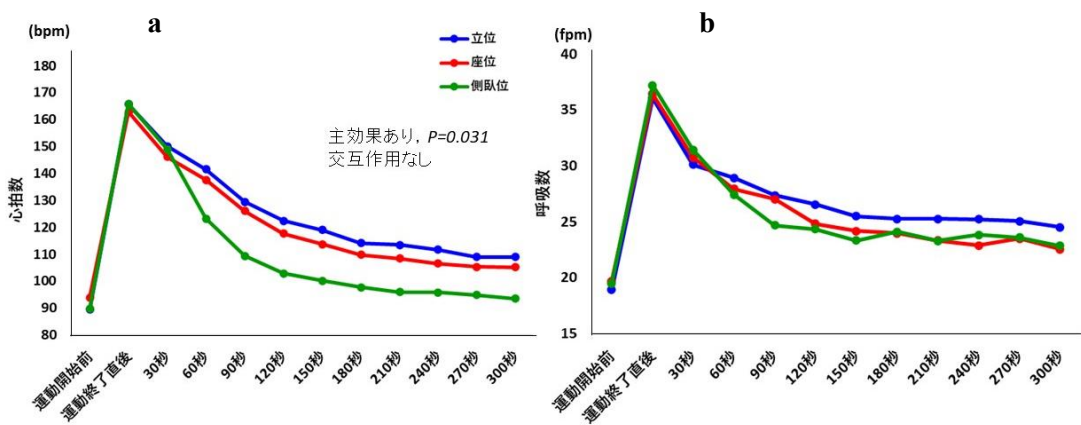


図4 心拍数(a)と呼吸数(b)の回復推移

## 考察

本研究では若年健常者を対象に、立位、座位側臥位による姿勢の違いが、運動後の呼吸困難の回復にどのように影響するのかを検討した。その結果、呼吸困難の回復時間は座位と比較して側臥位が有意に長い結果であった。また、心拍数の回復推移においては、側臥位が有意に低値を示した。

まず、呼吸困難に関して、運動後に呼吸困難を自覚する場合は、努力呼吸パターンとなる。この呼吸パターンでは頸部や肩甲帯といった胸郭に付着部を有する呼吸補助筋群が動員されて、胸郭をより挙上、拡張させる呼吸運動となる。その際、座位では胸郭の運動は制限されない。しかし、側臥位では、腹部臓器による横隔膜への圧排や、下側になった胸郭が圧迫されるため、努力呼吸に必要な胸郭の拡張運動が制限される。さらに、下側になった肺は縦郭の重みが増えることもこの結果に影響すると考えた。このことが側臥位での呼吸困難の回復に影響を及ぼした可能性があると推察した。私たちは、側臥位での呼吸機能の優位性が、運動後の呼吸困難回復にも有用である可能性を考えたが、その努力呼吸パターンの際には不利益であり、その優位性は安静時に限定されるのではないかと考えた。

次に、HR が側臥位にて他の 2 つの姿勢と比較して低値で推移した要因について、Frank-Starling 機序<sup>10</sup>から考察した。これは、心臓への流入血液量が増加すると心筋収縮力が増大すること、言い換えると静脈還流量が低下すると心拍出量が低下することである。これは、1 回拍出量が低下することを意味しており、心拍出量を維持するために HR の上昇によって代償される。立位、座位では重力の影響により、心臓に流入する血液量も減少する。そのため心筋収縮力が低下し、1 回拍出量の減少、HR の増加が生じやすくなる。一方で、側臥位はこのような重力の影響がほぼ取り除かれるため、静脈還流量の減少は生じにくく、1 回拍出量が維持された結果、HR の速やかな減少をもたらしたのではないかと考察した。

本研究の限界として、まず今回の研究は健常者を対象としており、高齢者や呼吸器疾患患者にその結果を適用できるかは不明であるという点

がある。次に、一段階運動負荷試験で、運動を 5 分間実施することができなかった対象者が少なかつたため、負荷強度あるいは時間の設定が高かつた可能性があつた。また、対象者の主観的な評価、すなわち各姿勢の終了後にどの姿勢で呼吸が楽であつたかといった順位付けの調査を行うことで、修正 Borg スケールによる評価とは異なる視点で各姿勢の評価が可能であつたと考えた。加えて、対象者数が 20 名であり、3 つの姿勢の回復過程を解析する上では、対象者数が十分ではなかつたのではないかと考えた。

## まとめ

本研究では健常者を対象として、立位、座位、側臥位による姿勢の違いが運動後呼吸困難の回復にどのように影響するのかを検討した結果、座位と比較して側臥位が有意に時間を要した結果であつた。今後、臨床にて労作時呼吸困難を生じた際に、回復姿勢として側臥位は呼吸困難の回復において不利である可能性が示唆された。また、今後の研究の展開として、呼吸器疾患患者を有さない高齢者を対象としたり、上肢で体幹を支持する前傾姿勢や壁に寄り掛かつた姿勢の影響に関する検討を行う必要があると考えた。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、研究の実施にご協力いただいた研究対象者の皆様、ご指導をいただきました本学大学院医歯薬学総合研究科内部障害理学療法学研究室の方々には厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Ramon MA, Ter Riet G, et al. The dyspnoea-inactivity vicious circle in COPD: development and external validation of a conceptual model. *Eur Respir J*. 2018; 52: 1800079.
- 2) Bott J, Blumenthal S, et; British Thoracic Society Physiotherapy Guideline Development Group. Guidelines for the physiotherapy management of the adult, medical,

- spontaneously breathing patient. Thorax. 2009; 64 Suppl 1: i1-51.
- 3) 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(編):呼吸リハビリテーションマニュアルー運動療法ー第2版. 照林社, 東京, 2012, pp.35-41.
  - 4) 荻野智之, 間瀬教史, 他: 上肢支持前傾姿勢は動的肺過膨張の軽減に有効か: 慢性閉塞性肺疾患患者 2 例による検討. 臨床理学療法研究. 2016; 33: 19-22.
  - 5) 松下和弘, 野添匡史, 他: 歩行車歩行姿勢による肺気量位と呼吸運動の変化. 日本私立医科大学理学療法学会誌. 2008; 25: 41-44.
  - 6) 佐藤 悠, 飯田佳世, 他: 運動後回復過程における呼吸循環反応の前傾立位姿勢による影響. 日本呼吸管理学会誌. 2003; 12: 326-329.
  - 7) 茂内 卓, 佐々木誠, 他: 亜最大運動後回復過程における生体反応・息切れ感の立位と座位の姿勢での相違. 理学療法科学. 2020; 35: 431-434.
  - 8) 松本匠平, 玉木 彰, 他: 体位の違いが咳嗽・呼吸機能に与える影響. 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌. 2019; 28: 85-90.
  - 9) 吉尾雅春, 高橋哲也, 他: 内部障害理学療法学. 医学書院, 東京, 2013, pp.52-59.
  - 10) 吉尾雅春, 高橋哲也, 他: 内部障害理学療法学. 医学書院, 東京, 2013, pp.27-28.

(指導教員 神津 玲)