喘息体質を有する若年男性の短距離全力泳後における頸部位浸水休息が肺機能に及ぼす影響

高木 祐介¹, 小野寺 昇²

The impact of water immersion recovery to the neck after short distance swimming on pulmonary functions in individuals with the past history of bronchial asthma

Yusuke Takagi¹ and Sho Onodera²

¹奈良教育大学, 〒630-8528 奈良県奈良市高畑町 (Nara University of Education, Takabatake-cho, Nara-shi, Nara 630-8528, Japan)

²川崎医療福祉大学, 〒701-0193 岡山県倉敷市松島288 (Kawasaki University of Medical Welfare, 288 Matsushima, Kurashiki-shi, Okayama 701-0193, Japan)

Received: December 19, 2016 / Accepted: April 27, 2017

Abstract The purpose of this study was to assess an impact of water immersion recovery after short distance swimming on the recovery process in pulmonary functions in individuals with the past history of bronchial asthma (PHA). Eleven Japanese healthy males with PHA (23 years) volunteered to perform two bouts of a 25-m maximal front crawl session in an indoor pool. The two bouts were separated by either 10-min of recovery on the land (L-session) or the same condition with water immersion to the neck (W-session), using a counterbalanced cross-over design. Water temperature was 30 °C. Forced vital capacity (FVC) and forced expiratory volume in one second (FEV_{1.0}) (%predicted) were measured according to the following time course; at baseline (REST), water immersion to the neck (WIN) before the swimming session, after 5-min (REC-5) and 10-min (REC-10) recovery with the assessment of dyspnea sensation (ADS) at the same time point. %FVC and %FEV_{1.0} at WIN, REC-5 and REC-10 in the W-session were significantly lower than those REST. A similar reduction was observed at WIN in the L-session, and %FEV_{1.0} at REC-5 was significantly different from those REST. The subjects had higher ADS at REC-5 in both sessions compared with those REST. %FVC and %FEV_{1.0} at REC-5 and REC-10 in W-session were significantly lower than those at REC-5 and REC-10 in L-session. These results indicate a negative impact of not only water immersion recovery but also recovery on the land after short distance swimming on pulmonary function in individuals with PHA.

Jpn J Phys Fitness Sports Med, 66(4): 245-253 (2017)

Keywords: swimming, past history, asthma, %FEV_{1.0}, water immersion recovery

緒 言

気管支喘息（以後、喘息と記す）は、呼吸困難感を伴う可逆性の気道閉塞性疾患である。文部科学省が発表した2007年の調査報告によると、喘息の有病率は、小学生・中学生・高校生を対象にした調査において5.7%であったことが明らかになっている¹⁾。学校現場において一学級を40人と考えた場合、平均2～3人在籍することを前提としなければならないとの認識が示されている²⁾。喘息を誘発する主要因として、ハウスダスト、動物の毛やフケ、季節の変わり目、煙、化学物質、ストレス、運動等が挙げられる。その中でも、運動によって惹

き起こされる運動誘発性喘息（EIA: exercise induced asthma）は、学校現場における体育授業時や課外活動時において顕在化しており、致命的な事態を惹き起こす場合がある。学校関係者は、体育実技担当時には、EIAの病態の理解や未然に防ぐ対策の考案に対して、積極的に取り組まなければならない^{3,4)}。本邦における学校現場を対象としたEIAに関する研究は、主に有病率を明らかにすることを目的とした研究である^{5,6)}。一方、実際の学校現場の運動時や学校現場をシミュレーションした運動時において、EIA予防に寄与する知見を実験的手法によって示した研究報告は少ない。これまでに報告されている研究では、水泳による運動負荷が肺機能に及ぼす影響を

検討した研究は多数みられ⁷⁻⁹⁾, 他に低山登山時^{10,11)}, サッカー¹²⁾ 及び長距離走⁴⁾ 実施時における肺機能指標の変化が検証されている。

EIA は, 対象者が行う運動の種類や負荷強度, 運動の実施時間の影響を受けるが¹³⁾, 運動時の気象・環境条件による肺機能への影響も考慮すべきである。気温低下や乾燥した空気の吸入, 低気圧の通過前後, 大気中の化学物質等が, 喘息発作を起こす環境要因としてよく知られている¹⁴⁾。このような気象・環境条件とEIAの関連性が懸念されることから, 安定した温暖環境・多湿環境でEIA発症頻度の少ない運動種目の実施が望まれる。その中でも水泳は, 気道を湿潤できること, ホコリが少ないこと, 規則的な呼吸ができること等, 喘息体質を有する者の肺機能低下の抑制や運動耐性の強化に対して有利に作用することから, 喘息体質を有する者の望ましい運動として推奨されている^{7,15)}。しかしながら, 喘息体質を有する者にとってストレスが大きい全力泳時の肺機能の実態は, 明らかになっていない。競い合って泳ぐ場合や自己ベストを更新するため懸命に泳ぐ際, 生理学的なストレスは著しく増大する。安全管理のための提言をするためには, 喘息体質を有する者の全力泳実施時における肺機能の変化を検証しなければならない。

水中環境下において, 生体は水圧, 浮力, 水温, 抵抗等の水の物理的特性の影響を受け, 陸上とは異なる生理的反応を示す¹⁶⁾。浸水時における肺機能は, 水位依存の水圧の影響を受け, 特に頸部位浸水時では, 努力性肺活量や一秒量が約10%低下し, 呼吸器系への負荷は増大する¹⁷⁾。一方, 水泳後の肺機能応答について, 稲葉⁸⁾は喘息児の100 mと500 m全力泳後の一秒量, ピークフロー, 肺活量を評価し, どちらの距離泳においても水泳直後に測定指標の低下率が僅か増加したものの, 水泳後5分経過以降は回復していくことを示した。しかしながら, 距離設定や運動強度, 運動量, また, 水泳後の休息(測定)環境を考慮すると, 学校現場を想定した場合, 十分ではない要素がある。即ち, 学校のプールは25 m区切りで行われることが多く, 水泳鍛錬者ではない限り全力でコースを2往復泳ぐ100 m泳では運動量が多いものと考えられる。そのことから, 喘息児が水泳を行う現場を想定すると, さらに短距離での全力泳時における肺機能の変化に関する知見が希求される。また, 水泳後の休息環境は水中あるいは陸上(プールサイド)であり, その環境の違いによる呼吸器系への機能的・形態的負荷量は異なることが考えられる¹⁶⁾。喘息体質を有する者の水泳時における肺機能を評価した先行研究⁷⁻⁹⁾では, 肺機能測定を行った場所が明記されていないため, 水の物理的特性による影響について考察が及んでいない。陸上での8分間のトレッドミル走行前後に咽頭位での浸水を行い, その浸水時にEIA罹患歴を有する者の一秒量を評価した研

究¹⁸⁾では, 走行後の浸水時の一秒量が走行前の陸上安静時及び浸水時に比して有意に低下することを明らかにしている。しかしながら, 水泳のような水中における運動ではないため, 水中環境下の運動時に呼吸器系が受けるストレスまで議論されていない。これらの見解^{7-9,16,18)}と健常人の浸水時の肺機能変化を検証した先行研究¹⁷⁾を加味すると, 短距離泳といえども, 喘息体質を有する者の全力泳後では, 水中あるいは陸上による回復過程の違いによって肺機能の回復の程度が異なり, 頸部位にて浸水休息を行った場合, 運動だけでなく水圧によるストレスも加わり, 喘息体質を有する者の呼吸困難度を増強させる可能性がある。

以上から本研究の目的は, 未だ知られていない喘息体質を有する者の短距離の全力泳実施時における肺機能指標の変化を検証し, 全力泳後の浸水休息が喘息体質を有する者の肺機能の回復過程に及ぼす影響を明らかにすることとした。

方 法

対象者 本研究の対象者の公募にボランティアとして応募した喘息既往歴を有する健康な若年男性11名(年齢: 23 ± 3 歳, 身長: 174.1 ± 8.7 cm, 体重: 68.1 ± 9.1 kg)を対象者とした。対象者は全員, 水泳部所属やスイミングスクールに通っていた経験が無く, 水泳は小学校, 中学校及び高等学校の体育実技授業時で行う程度であった。対象者は臨床所見によって小児気管支喘息と診断されていた者で, 中学1年生から中学3年生頃まで発作がみられ, 通院経験を有していた。通院時は, 気管支拡張薬として β_2 刺激薬を処方され, 発作時に服用していた。対象者は全員共通して, ハウスダスト且つ/あるいは運動によって誘発される喘息の既往歴を有していた。現在は発作が起こらず, 治療薬の服用はなく, 寛解している状態であった。高等学校以降の学校生活において, 特別に喘息発作で悩まされることはなく, 体育実技授業は喘息体質が無い学生と同様に問題なく参加していた。本研究では, 喘息既往歴を有する者を「喘息体質を有する者」として操作的に定義した。本来ならば, 喘息発作が日常で起こる児童生徒を対象者にすることが本研究の趣旨に合致する。しかしながら, 仮説段階で呼吸器系に対して大きな負荷になり得ることが懸念された。また, 喘息既往歴を有する者は, 通常の運動は問題なく行えるものの決して完治しているわけでない寛解の状態であり, そのような喘息既往歴を有する若年男性を対象とした諸研究^{10,11)}において, 環境条件の変化の影響を受ける状況下の運動後の一秒量は喘息既往歴が無い健常な若年男性に比して有意な低値を示し, 一秒量の低下率は喘息の陽性基準に近似する値が示されている。これらから, 本研究の喘息既往歴を有する対象者で観察された肺機能指標の変化は,

喘息疾患者である児童生徒でも同様な生理学的応答がみられるものと解釈し得る。以上から、本研究の対象者を「喘息体質を有する若年男性」とした。

対象者には予め実験の目的、方法及び実験に伴う苦痛、危険性について十分な説明を行い、実験参加に対する同意を書面にて得た。更に対象者の安全性に配慮して、実験当日は自記式質問紙の喘息コントロールテスト（グラクソ・スミスクライン株式会社製）を実施し、25点満点中20点未満（“良好な状態ではない”）の者には調査中止の方針としたが、本研究では該当者はみられなかった。また、対象者には前日に飲酒や激しい運動は避けていたが、実験当日は疲労感や呼吸困難感がない状態を確認した上で実験に参加していただいた。本研究は、川崎医療福祉大学に帰属する倫理委員会の承認を得て行った（承認番号297）。

実験内容 実験は、K大学屋内プール（25 m）にて行った。実験内容は25 mのクロール泳とした。実験前、対象者は更衣室で水着に着替えた後、水着のままプールサイドにて座位安静を行った。十分な安静状態を保った後、安静状態における測定を行った。測定に要した時間は1分程度であった。安静状態の測定後、対象者をプールサイドに座らせ、飛び込ませず、静かに入水させ立位姿勢を保持させた。安静状態の測定後から水中での立位姿勢までは1分以内であった。立位姿勢にて安定した後、浸水時の測定を立位姿勢のまま行った。測定後、ゴーグルを装着させ、全力泳とゴール後の休息に関する確認の説明を行った後（1分程度）、対象者は全力で25 mを泳いだ。水泳後、対象者はプールサイドに自力で上がり、バスタオルで全身の水分を拭き、プールサイドにて座位安静休息を10分間行う条件（以後、L条件と記す）、水泳後は頸部での立位浸水にて、そのまま水中で立位安静休息を10分間行う条件（以後、W条件と記す）の2つの条件を設定した。対象者は、両条件の実験に1回ずつ参加した。両実験は別日に実施し、実験の順序はランダムに行った。プールの水温は30℃に管理されていた。残留塩素濃度は0.4 mg/Lだった。実験時の室内の温度は $28.7 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度は $79.9 \pm 5.0\%$ であった。

測定項目 努力性肺活量（FVC: Forced volume capacity）、一秒量（FEV_{1.0}: Forced expiratory volume in one second）、経皮的動脈血酸素飽和度（SpO₂: Percutaneous arterial oxygen saturation）、主観的呼吸困難感（ADS: Assessment of dyspnea sensation）、脈拍数（PR: Pulse rate）、主観的運動強度（RPE: Rating of perceived exertion）、対象者の25 m泳のタイム及び息つぎの回数を測定した。FVC及びFEV_{1.0}は、防水性を整えた小型のスパイロメーター（micro: Vitarograph）を用いて測定した。

対象者は、マウスピースを銜え、ノーズグリップを装着した状態で安静呼吸を2～3回行った後、最大吸気を行い、その後最大呼気をした。その際、できるだけ姿勢変化を起こさせないように、両条件ともに直立姿勢を保った状態で実施させた。測定は2回行い、最高値を測定値として採用した。得られた測定値を使用し、喘息発作の診断指標として採用されている一秒量の低下率（以後FEV_{1.0}.% fallと記す）を評価した。本研究の対象者は、「ハウスダスト」且つ/あるいは「運動」の影響によって喘息発作が起きていたため、運動要因だけに特化した評価では十分ではないものの、臨床や生理学に関連する研究では、通常、運動実施時においてFEV_{1.0}.% fallが評価される。FEV_{1.0}.% fallが15～20%以上低下した場合、EIAと診断される¹⁹⁾。FEV_{1.0}.% fallは（水泳前の安静時の値－浸水時の値 or 水泳後の回復期の値）÷（水泳前の安静時の値）×100で算出した。また、対象者の年齢や体格の影響を考慮した気流制限の程度を示す指標として、FVCとFEV_{1.0}の予測正常値に対する割合（各々%FVC、%FEV_{1.0}）を測定項目として採用した。それぞれの予測正常値は、日本呼吸器学会²⁰⁾が提示する式「FVC（男性）の予測値＝ $0.042 \times \text{身長（cm）} - 0.024 \times \text{年齢} - 1.785$ （L）」及び「FEV_{1.0}（男性）の予測値＝ $0.036 \times \text{身長（cm）} - 0.028 \times \text{年齢} - 1.178$ （L）」によって算出し、本研究で得られたFVCとFEV_{1.0}の測定値に対する割合として%FVC及び%FEV_{1.0}を求めた。以上、本研究の肺機能の指標は、FEV_{1.0}.% fall、%FVC及び%FEV_{1.0}の3点を採用した。SpO₂及びPRは、パルスオキシメーター（SAT-2100; 日本光電社製）を使用して計測した。胸部に装着することへの圧迫感や違和感が肺機能検査に影響を及ぼすことへの懸念及び学校やスポーツ現場でも測定できる指標として、本研究では心拍数ではなく脈拍数を採用した。ADS及びRPEはBorgの指標を用いて、測定スタッフに口頭で申告させた。ADSは、1から10までの修正されたBorgスケール²¹⁾で、それぞれ「0: 感じない」「0.5: 非常に弱い」「1: やや弱い」「2: 弱い」「4: 多少強い」「5: 強い」「7: とても強い」「10: 非常に強い」と示されている。RPEは6～20段階のBorgスケール²²⁾を用いた。ADSとRPEの測定については、実験前の段階で対象者に対し、ADSは「呼吸の苦しさ」に限定し、RPEは「身体的な疲れ」を示す指標として評価することを指導した。全力泳のタイムはストップウォッチ、息つぎの回数はカウンターにて計測した。諸測定は、水泳前の安静状態の時（以後、RESTと記す）、水泳前の立位安静の浸水時（以後、WIN（water immersion to the neck）と記す）、水泳後5分経過時（以後、REC-5と記す）及び水泳後10分経過時（以後、REC-10と記す）に行った。運動によって誘発される気道収縮の兆候は文献によって若干の異なりを示すが、概ね運動後3～8分に生じ始め²³⁾、特に運動

後5分^{15,24)}や運動後5分～10分後²⁵⁾,あるいは運動終了後3分～15分²⁶⁾に最も強くなることが報告されている。運動誘発性の気道収縮の影響を観察する場合は、運動前の肺機能指標の測定値と運動直後、運動後3分～15分経過時の値を測定する場合が多い。しかしながら、本研究の実験は、実際のプールにおける水泳にて実施していることから、機器の破損予防のために水泳後は対象者の手指の水分を拭き取る時間が必要である。また、本研究の水泳は、25 mとはいえ息つぎの回数が少なくなる全力泳であるため、水泳直後は激しい呼吸を行う状態である。さらに、全ての測定に1分はかかるため、2分や3分間隔で測定を行うことは測定精度を下げることになる。このような測定精度の低下や機器の破損に対する予防、さらに、関連する多くの先行研究^{4,7-9,27)}によって運動後5分経過時の測定値でEIAを評価していることから、本研究ではREC-5とREC-10にて測定を行った。学校現場の体育実技授業やスイミングスクールの現場では、25 m泳の後、プールサイドへ上がる場合もあれば、そのまま水中で滞在して繰り返し泳ぐ場合やコースの泳者全員が揃ってから次のメニューに取り組む場合がある。水中で滞在する時間は状況によって様々である。本研究ではそれについてシミュレーションはできない。したがって、運動の影響による肺機能低下を観察できる可能性が高い時間の確保のため、また、できる限り浸水休息時の経時的な指標変化を観察したかったが、浸水滞在による体温低下及び寒さによる苦痛回避のため、水泳後10分以上の測定は実施しなかった。PRはさらに25 m泳直後でも測定した。諸測定の際、FVC及びFEV_{1.0}の測定によってPRが増加することから、PR及びSpO₂の測定を第一に行い、その間ADS及びRPEを口頭で測定スタッフに申告させ、その後、FVC及びFEV_{1.0}の測定を

行った。以上の実験の流れについてFig. 1に示した。

統計処理 測定によって得られたデータについてKolmogorov-Smirnov検定を行った結果、正規性が保証されなかったため、本研究ではノンパラメトリック検定を実施した。各条件内におけるデータの経時的な変化による差の比較検討に対してFriedman検定を行い、有意差が認められた場合、多重比較はWilcoxonの符号付順位検定を用いて、ライアン法²⁸⁾による補正を適用した。条件間の比較については、各測定ポイントにおいてFriedman検定を行った。この際、森と吉田²⁸⁾の指摘から、条件数が2である場合は符号検定に一致するものとし、得られた検定結果をもって有意差の有無を確認した。順序尺度であるADSは中央値、間隔尺度であるその他の指標は平均値±標準偏差と中央値で示した。統計上の有意水準は5%未満とした。全ての統計学的比較は、SPSS 12.0 for Windowsを用いた。

結 果

Table 1に両条件の諸測定指標の結果を示した。

条件内における比較 両条件下のREC-5とREC-10におけるPR及びRPEは、RESTに比して高値であり有意差が認められた ($p < 0.05$)。SpO₂に有意差は認められなかった。W条件におけるWIN, REC-5, REC-10における%FVC及び%FEV_{1.0}, L条件におけるWIN, REC-5, REC-10の%FEV_{1.0}, 同条件のWINの%FVCは、それぞれRESTでの測定値に比して低値であり有意差が認められた ($p < 0.05$)。W条件のFEV_{1.0}%fallは、WIN, REC-5, REC-10とも10%以上をマークし、REC-10はWINに比して低値であり有意差が認められた ($p < 0.05$)。L条

Fig. 1 Protocol of this experiment

REST: rest on the land WIN: water immersion to the neck Swimming: 25-m maximal front crawl
REC-5: 5 minutes after swimming REC-10: 10 minutes after swimming ▲: Measurements

Table 1. Changes in the indices of measurement before and after a 25-m maximal crawl swimming

	Measurements	REST	WIN	REC-5	REC-10
W-session (n=11)	% FVC (%)	88.4 ± 10.0 (89.7)	80.1 ± 10.3 (78.4) †	79.1 ± 11.7 (79.9) †, *	81.8 ± 11.1 (81.8) †, *
	% FEV _{1.0} (%)	83.4 ± 7.7 (80.6)	72.3 ± 7.4 (70.3) †	73.9 ± 7.7 (73.1) †, *	74.8 ± 8.9 (74.8) †, †† *
	FEV _{1.0} % fall (%)	—	13.3 ± 2.9 (14.2)	11.0 ± 9.7 (8.4) *	10.4 ± 4.5 (10.3) ††, *
	SpO ₂ (%)	97 ± 1 (97)	97 ± 1 (97)	97 ± 1 (97)	97 ± 1 (97)
	ADS	0	0	2 †, ††	0.5 †, ††, †††
	PR (bpm)	65 ± 5 (65)	65 ± 7 (64)	96 ± 17 (94) †, ††	91 ± 19 (87) †, ††
	RPE	6 ± 0 (6)	6 ± 0 (6)	10 ± 3 (10) †, ††	9 ± 3 (8) †, ††
L-session (n=11)	% FVC (%)	88.9 ± 12.2 (88.6)	82.9 ± 8.4 (82.8) †	85.6 ± 10.4 (86.0)	86.5 ± 11.5 (85.9)
	% FEV _{1.0} (%)	86.2 ± 8.9 (85.5)	75.4 ± 8.9 (77.8) †	79.8 ± 7.7 (80.7) †	81.1 ± 8.1 (80.3) †, ††
	FEV _{1.0} % fall (%)	—	12.2 ± 5.3 (9.2)	7.0 ± 6.9 (6.6)	5.5 ± 7.3 (5.3) ††, †††
	SpO ₂ (%)	97 ± 1 (97)	97 ± 1 (97)	97 ± 1 (97)	98 ± 1 (98)
	ADS	0	0	1 †, ††	0.5 †, ††, †††
	PR (bpm)	63 ± 7 (60)	60 ± 6 (60)	95 ± 20 (94) †, ††	93 ± 15 (96) †, ††
	RPE	6 ± 0 (6)	6 ± 0 (6)	9 ± 3 (8) †, ††	8 ± 2 (7) †, ††

Mean ± SD (Median), DDS: Median

†: vs. REST, p<0.05, ††: vs. WIN, p<0.05, †††: vs. REC-5, p<0.05, *: vs. L-session, p<0.05

W-session: REC-5 & REC-10 in the water, L-session: REC-5 & REC-10 on the land

REST: rest on the land before swimming, WIN: water immersion to the neck before swimming, REC-5 & REC-10: respectively 5 and 10 minutes after swimming, %FVC: forced vital capacity / prediction equation, %FEV_{1.0}: forced expiratory volume in one second / prediction equation, SpO₂: percutaneous arterial oxygen saturation, FEV_{1.0} % fall: decline rate in FEV_{1.0}, ADS: assessment of dyspnea sensation, PR: pulse rate, RPE: rating of perceived exertion

件のREC-10のFEV_{1.0}%fallはWIN及びREC-5に比して低値であり、有意差が認められた (p<0.05)。両条件ともREC-5とREC-10のADSは、REST及びWINに比して高値で有意差がみられ (p<0.05)、REC-10のADSはREC-5に比して低値で有意差が認められた (p<0.05)。

条件間における比較 25 m泳のタイムは、条件間で有意な差を認めなかった (W条件 vs. L条件: 18.59±3.11 sec. vs. 18.85±3.26 sec. 中央値: 18.61 vs. 18.21)。25 m泳直後のPRについても有意差はなかった (W条件 vs. L条件: 142±19 bpm vs. 146±20 bpm 中央値: 145 vs. 140 bpm)。息つぎの回数も、条件間において有意な差は認められなかった (W条件 vs. L条件: 2±1回 vs. 2±1回 中央値: 2 vs. 2)。W条件のREC-5とREC-10の%FVC及び%FEV_{1.0}は、L条件のREC-5とREC-10の同測定値に比して低値であり、有意差が認められた (p<0.05)。W条件のREC-5及びREC-10のFEV_{1.0}%fallは、L条件の同測定値に比して高値を示し、有意差が認められた (p<0.05)。条件間におけるADS, PR, RPE及びSpO₂では、有意差は認められなかった。

考 察

本研究の対象者の特性 本研究の喘息体質を有する対象者は、問診結果から小児気管支喘息に罹り通院し、中学1年生から中学3年生頃にかけて喘息発作が寛解し、その後は発作が起きない「既往歴を有する者」で構成されている。ハウスダスト且つ/あるいは運動によって喘息発作を誘発する既往歴を有するものの、寛解後は喘息発作がみられていない。本来ならば、このような問診結果だけでなく、気道過敏性検査や運動負荷試験で確認する必要性があった。しかしながら、本研究の喘息体質を有する者は、高等学校入学以降は発作経験が無く、喘息体質が無い者と変わりなく生活をしてきた者である。本研究において、基礎的な指標として測定したPRやRPE, SpO₂の変化も問題視するような数値を示さなかった。また、本研究の対象者とほとんど同じ喘息既往歴を有する先行研究^{11,29)}の若年成人男性の運動負荷試験では、運動誘発性の気道収縮は観察されなかったものの、同じ対象者が冬季に低山登山 (157 m) を行ったところ、上り時の休憩5分経過時の一秒量が登山前の安静時に比して有

意な低値を示したことを報告している¹¹⁾。先行研究^{11,29)}はその現象について、運動負荷だけでは運動誘発性の肺機能指標低下はみられず、寒冷環境や気温低下、相対湿度低下といった気象条件の変動を伴う相加的なストレスによって喘息既往歴を有する者の肺機能指標は低下するものと指摘している。即ち、本研究の対象者においても、問診における結果やほとんど同じ既往歴の対象者であった先行研究^{11,29)}の結果から推測すると、少なくとも運動負荷試験による運動誘発性の気道収縮は観察されなかった可能性が十分に推測される。また、本研究の対象者の%FEV_{1.0}は、喘息既往歴を有する若年男性(91±8%)と喘息既往歴が無い健康な若年男性(97±8%)の安静時の%FEV_{1.0}を比較した先行研究³⁰⁾でみられた測定値よりも低い値を示した。このことに関係する研究として、小児喘息の既往歴を有する大学生男女に対して肺機能検査と気道過敏性検査を行ったYoshikawaとKanazawa³¹⁾は、検査前の安静値において、既に小児喘息の既往歴を有する者の一秒量は、喘息既往歴が無い者に比して有意な低値を示したことを報告している。本研究で観察された測定値やこれまでの研究によるエビデンスを考慮すると^{11,29-31)}、本研究の対象者は本研究で定義した「喘息体質を有する者」に合致する集団であることが示される。

また、対象者は水泳部やスイミングスクールに所属していた経験が無く、25 m泳のタイムは標準的な速度であった。本研究の対象者は、泳力は高い水準ではなく標準的なレベルの喘息体質を有する若年男性と示され、泳力のレベルが偏った対象者の選定ではないものと示された。

浸水時の肺機能 浸水時における両条件の%FVC及び%FEV_{1.0}は水泳前の陸上安静時(REST)に比して有意な低値であった。先行研究は気道外で生じる生理学的メカニズムから、この要因を明らかにしている。木村ら¹⁷⁾は、実験的研究によってみられた頸部位浸水時のFVC及びFEV_{1.0}の低下について、諸家³²⁻³⁵⁾の研究報告と併せ考察している。即ち、浸水による肺活量の低下は、腹部や胸郭壁に静水圧が加わり、吸気時における横隔膜の降下や肋間筋による胸郭の拡張が制限されること、また、水圧による静脈還流量の増加に由来する肺臓器内の血管系における血液の移動及び貯留によるものとするメカニズムである^{17,32-35)}。肺臓器内での血液貯留によって、肺は鬱血を呈し、全肺容積中に占める血液容積が増加し³⁴⁾、そのことによって、肺コンプライアンスの低下や肺毛細血管径の拡大による末梢気道の閉塞が生じる^{32,33)}。これらの知見から、木村ら¹⁷⁾は、FVCの低下は浸水による肺鬱血状態による拘束性肺機能障害的な変化として、FEV_{1.0}の低下は肺の呼出機能の低下として考えている。浸水時にみられるこれらの生理学的応答は、本研究の対象者の浸水時における肺機能指標の低下にも当てはまる

ものと考えられた。

一方、喘息体質を有する者を対象者として実験する場合、気道内で生じる反応を考察する必要がある。浸水による気道内への影響としては、中枢気道及び末梢気道の閉塞の程度、炎症性反応及び自律神経系活動動態の関与が考えられる。本研究では、 $\dot{V}_{25}$ やclosing volume等の指標を測定してない。しかしながら、%FEV_{1.0}だけでなく%FVCも低下していること、頸部位浸水における肺機能を測定し浸水前の安静時に比して $\dot{V}_{25}$ の有意な低下を認めた研究報告¹⁷⁾を考慮すると、末梢気道の閉塞は生じていた可能性が十分考えられた。また、WINの%FEV_{1.0}はRESTに比して有意に低下したことから、WINではRESTに比べ中枢気道の閉塞がみられたものと考えられる。気道の炎症性反応や自律神経系活動動態については、水面上で蒸発する塩素やプール浸水時に受ける寒さ由来の交感神経系活動の緊張等、複合的な影響が推測されるものの、指標変化を評価しておらず、また、室内プールにおける浸水時の気道反応性を評価した研究が散見されなかったため、推察できなかった。今後、浸水時の気道過敏性検査や自律神経系活動動態を評価することで、浸水時の気道内で生じた生理学的応答の解明につながるものと考えられた。

浸水時において、特に%FEV_{1.0}は、正常値とされる範囲の限度に近い水準であった^{20,23)}。このことが喘息体質を有する者の特有の病態生理学的変化であることまでは、指標不足のため、本研究の実験からは明らかにできなかった。喘息体質を有する者の浸水時におけるclosing volumeを評価した研究¹⁸⁾によると、喘息体質を有する者ではclosing volumeの第IV相がみられなかったことが観察され、その要因としてair-trappingの亢進による残気量増加によって気流低下が生じたものと考えられている。しかしながら、closing volumeの測定上の問題への懸念も取り上げられており、喘息体質を有する者特有の現象とまでは示されていない。本研究の結果は、先行研究¹⁸⁾を支持した。そのことから、本研究で課題とされた指標変化の測定を実施することによって、喘息体質を有する者特有の生理学的変化の有無について、明らかにできる可能性が示唆された。

水泳後に観察された肺機能 水泳後の回復過程の違いによって、対象者における肺機能の回復の程度が異なった。W条件のREC-5とREC-10の%FVC及び%FEV_{1.0}は、L条件の同測定値に比して有意な低値を示し、同じくFEV_{1.0}%fallは有意な高値であり、正常値とされる範囲の限度に近い水準であった^{20,23)}。また、W条件だけでなく、L条件においてもREC-5及びREC-10の%FEV_{1.0}がRESTに比して有意な低値を示した。この要因について、気道内外で生じた生理学的応答を議論する。

全力泳後の浸水休息時にみられた気道外の生理学的応答について、喘息体質が無い健康な若年男性の場合、本研究でみられた25 m泳の運動負荷だけでは呼吸器系への顕著なストレスとまでは考えられず、むしろ運動負荷による呼吸器系及び循環器系への適度な刺激によって換気が亢進し、肺機能は向上することが考えられる^{12,18)}。本研究の対象者においても有意差はなかったものの、W条件のREC-5とREC-10の%FVC及び%FEV_{1.0}は、WINより若干増加した。即ち、気道外で生じた生理学的応答について着目すると、WINでみられた浸水時の水圧による呼吸器系へのネガティブな影響^{17,32-35)}は、全力泳による換気亢進や水圧と運動による循環応答の亢進等によって、全力泳後減少したものと考えられた。

一方、気道内で生じた生理学的応答では、喘息体質特有のものと考えられる現象が観察された。W条件のREC-5とREC-10の%FVC及び%FEV_{1.0}は、RESTの測定値に比して有意な低値であるものの、WINの測定値に比して有意な低値を示さなかった。このことだけを観察すると、運動による影響ではなく、単に浸水による影響によって水中での測定値は低値であったものと考えられる。しかしながら、L条件において、REC-5とREC-10における%FEV_{1.0}はRESTに比して有意な低値を示し、%FVCは有意差がみられなかった。水圧の影響が無い陸上での休息時であるにもかかわらず、ADSはRESTより有意な高値で、さらにW条件の同測定値と有意差はなかった。水圧の影響が無くなったため、拘束性のストレスから開放された。そのことが%FVCの回復の要因として考えられたが、%FEV_{1.0}の低下及び主観的呼吸困難感の増加については、運動誘発性の要因を検討する必要性がみられた。運動後にみられる運動誘発性の気道収縮の機序については、主に気道の水分喪失説³⁶⁾と冷却説²⁷⁾が挙げられる。相対湿度が高い屋内プールでの水泳という運動特性を考慮した際、本研究の場合、水分喪失説³⁶⁾の関与は少なく、気道の冷却説²⁷⁾の関与が考えられる。ただ、気道の冷却説²⁷⁾を要因として捉えた先行研究^{12,37)}では、運動負荷時の吸入気温度が-10℃以下、あるいは気温6.8±0.4℃環境下での運動といった状況である。このことについては、全力泳終了直後の肺機能指標値との比較によって考察できたため、運動誘発性の気道収縮の検討のために測定すべき課題とされた。

Strauss et al.²⁷⁾は、さらに喘息体質を有する者の運動によって誘発される気道収縮の他の要因として、迷走神経の関与や冷氣吸入によるirritant receptorへの刺激について検討している。これについては、本研究の場合、全力泳後の休息において交感神経系の緊張が抑制された可能性、あるいは、全力泳後の換気亢進由来の口呼吸数の増加によるirritant receptorへの刺激が高くなった可能性が考えられた。また、大気中の塩素濃度についても

検討する必要がある。Bernard et al.³⁸⁾の研究では、塩素濃度が0.5-1.5 mg/Lのプールを使用する喘息児の有病率は高いことを示している。本研究で使用した屋内プールは、プールの管理者が毎日塩素濃度を測定し、0.4 mg/Lで管理している。先行研究³⁸⁾の値より低いものの、大気中の塩素が全力泳後の口呼吸数の増加時に気道内に影響を及ぼし、反応性を高めた可能性は否定できない。気道内で生じた生理学的応答については、気道過敏性検査や全力泳終了直後の測定ができなかったため、詳細までは明らかにできなかったが、%FEV_{1.0}の変化や先行研究から、運動に由来して生じた呼吸数の増加や交感神経系活動の低下、運動（水泳）を行う環境（塩素の蒸発）による複合的な影響によって、気道収縮や気道反応性が高くなった可能性が考えられた。

喘息体質を有する者の25 m全力泳後の浸水休息及び陸上休息の肺機能変化を観察した本研究によって明らかになったことは、浸水休息より陸上休息の方が肺機能指標は有意に高く呼吸困難感は低かったこと、一方で、陸上休息時の肺機能指標のうち中枢気道指標（%FEV_{1.0}）が全力泳前の安静時に比して有意に低値であったことである。%FEV_{1.0}の変化や運動誘発性の気道収縮に関する先行研究^{18,27,36)}の報告から総合的に考察すると、泳力が標準レベルの喘息体質を有する者（ハウスダスト且つ/あるいは運動を誘発要因とした場合）の全力泳後の回復過程については、水圧による物理的ストレスの影響を多分に受け、陸上安静時より顕著に低い肺機能が続くため、水中より陸上にて休息を行った方が望ましいと考えられた。しかしながら、陸上休息時は、息つぎが少ない全力泳後の激しい口呼吸数の増加に由来するirritant receptorへの刺激やプールから蒸発する塩素の影響、全力運動後の交感神経系活動の低下等の影響から、安静時に比べ気道収縮することが考えられた。体育実技授業やスポーツ現場では、25 m泳を複数回実施する。本研究のように10分間も浸水して休息することは少ないと考えられるが、コースに泳ぐ者が揃うまでの時間や次のメニューの指示を待つ場合を考えると、5分程度の休息はあり得る。実際の喘息児が同じ運動を行った場合、本研究で観察された浸水休息5分経過時の肺機能より顕著に大きい低下がみられるものと考えられる。そのことから、喘息体質を有する者が水泳を行う際、指導者は全力泳時のコンディショニングとして、プールサイドに上がって休息させる指示を出すことを推奨する。それと同時に、呼吸数の増加が顕著である場合は気道収縮が亢進していることを懸念し、呼吸困難感や胸部圧迫感の経時的な聞き取り・観察を行い、喘息発作に変化した場合の対応が可能な環境を整える必要性が考えられた。また、新たな体育実技の水泳指導案として、現在喘息を有する者のコンディションだけでなく、喘息既往歴を有する者の存在

数や経過状況についても把握し、授業中に観察する必要性が考えられた。

本研究の限界 本研究の限界として、FEV_{1.0}%fallに関する解釈が挙げられる。RESTにおける%FEV_{1.0}は正常範囲内であるものの、喘息体質が無い者に比して低い値であることが考えられた。YoshikawaとKanazawa³¹⁾やTakagi et al.¹¹⁾の報告を考慮すると、本研究の対象者は、喘息体質を有する者の特有の病態生理学的応答を示すことが明らかになった。このことは、運動や環境要因によって病理学的変化を起こした場合、喘息という疾患から気道閉塞を起こしやすいことになり、FEV_{1.0}%fallの増加に反映することを意味する。したがって、FEV_{1.0}%fallの解釈については、10%を超えたことによる臨床的な考察はせず、条件内や条件間の比較でとどまった。別の指標によるFEV_{1.0}%fallの絶対値に対する裏づけが必要と考えられた。今後の課題として、YoshikawaとKanazawa³¹⁾のように、肺機能検査だけでなく気道過敏性の検査、もしくは、水中での測定を考慮し、簡便な測定が可能な炎症性反応指標の呼気中NOや自律神経系活動動態を評価することが挙げられた。

結 語

泳力が標準レベルの喘息既往歴を有する若年男性を対象に、短距離全力泳後の肺機能の回復過程を評価した。その結果、頸部位での浸水休息時より陸上休息時の肺機能指標が有意に高かったことから、回復過程は浸水より陸上で行った方が望ましいものと考えられた。しかしながら、10分間の陸上休息でさえ、肺機能は全力泳前の安静時水準まで回復しなかった。息つぎが少ない全力泳後の激しい口呼吸数の増加や自律神経系応答は、陸上休息時の気道収縮に関与していた可能性が示唆された。コンディショニングの一環として、短時間で短距離の水泳においても、喘息体質を有する者の全力泳時では、水の物理的特性の影響や運動負荷が大きい全力泳の影響による気道収縮がみられることを理解し、回復過程を選択・指導する必要がある。喘息児がいる体育実技授業の水泳時では、全力泳後はプールサイドでの休息を取り入れるとともに、その経過を聞き取り及び観察すべきであり、それらのことは喘息既往歴を有する者においても配慮する必要性が示唆された。

利益相反自己申告：申告すべきものはなし

謝 辞

本研究にご協力いただきました対象者の皆様、川崎医療福祉大学庶務課職員の皆様、東京学芸大学の水上健一博士に心から感謝申し上げます。本研究は、日本学術振興会科

学研究費補助金（特別研究員奨励費）の助成の一部を受けて行いました。

文 献

- 1) アレルギー疾患に関する調査研究委員会. アレルギー疾患に関する調査研究報告書, 文部科学省, 2007.
- 2) 橋本光司, 石川央朗: 気管支喘息児と運動, 体育の科学, 59: 795-800, 2009.
- 3) 日本小児アレルギー学会. 運動誘発性喘息 (EIA), 運動療法, 小児気管支喘息治療・管理ガイドライン 2012, 協和企画, 東京, 220-228, 2012.
- 4) 高木祐介, 北 哲也, 幸田三広: 喘息罹患歴を有する者の冬季の体育実技授業における長距離走時のピークフローおよび主観的呼吸困難感の変化, 学校保健研究, 58: 69-74, 2016.
- 5) 赤澤 晃, 秋山一男, 高橋 清, 中川武正, 小田嶋 博, 小林章雄, 烏帽子田 彰, 中村裕之, 足立雄一, 大矢幸弘: 全国小・中学生気管支喘息有病率調査, 気管支喘息の有病率・罹患率およびQOLに関する全年齢層別全国調査に関する研究, 平成17年度総括研究年度終了報告書, 2006.
- 6) 堀内康生, 大道乃里江: 気管支喘息学童の学校生活 第1報 運動誘発性喘息について, 小児保健研究, 54: 358-363, 1995.
- 7) Fitch KD, Morton AR, Blanksby BA. Effects of swimming training on children with asthma. *Arch Dis Child* 51: 190-194, 1976.
- 8) 稲葉 博: 喘息児と水泳 第1編 呼吸機能について, アレルギー, 28: 15-21, 1979.
- 9) 西間三馨, 古賀龍夫, 小泉俊次郎, 津田文史郎: 健康児および気管支喘息児の水泳負荷時の換気機能の変化, 医療, 37: 1108-1113, 1983.
- 10) 高木祐介, 藤枝賢晴, 安部久貴, 水上健一, 坂本佑樹: 喘息罹患歴を有する者の四季の低山登山時におけるピークフロー (PEF) 値の変化について, 体育の科学, 60: 193-197, 2010.
- 11) Takagi Y, Onodera S. Changes of forced expiratory volume in one second and peak expiratory flow in individuals with past medical histories of bronchial asthma during hiking the lower altitude mountain under low temperature environment. *登山医学*, 33: 40-44, 2013.
- 12) Takagi Y, Nakase M, Yoshizawa K, Ando Y, Onodera S. The comparison of respiratory functions in those with or without a past medical history of bronchial asthma during soccer games in physical education classes under cold temperature. *Football Science* 12: 18-23, 2015.
- 13) 藤本繁夫, 田中繁宏: 運動誘発性喘息, 体力科学, 47: 453-460, 1998. doi: 10.7600/jspfsm1949.47.453.
- 14) 日本アレルギー学会. 喘息の危険因子, 喘息予防・管理ガイドライン2015, 協和企画, 東京, 41-54, 2015.
- 15) 東川昌紀, 西間三馨. 喘息と身体活動, 日本臨床, 大阪, 58: 505-509, 2000.
- 16) 小野寺 昇: 水中運動と健康増進, 体育の科学, 50: 510-516, 2000.
- 17) 木村真規, 鈴木政登, 田中さくら, 矢澤 誠, 永田 晟: 剣状突起位および頸部位浸水時の最大換気量, 日本運動生理学雑誌, 4: 125-132, 1997.

- 18) Leddy JJ, Roberts A, Moalem J, Curry T, Lundgren CE. Effects of water immersion on pulmonary function in asthmatics. *Undersea Hyperb Med* 28: 75-82, 2001.
- 19) Eggleston PA, Guerrant JL. A standardized method of evaluating exercise-induced asthma. *J Allergy Clin Immunol* 58: 414-425, 1976.
- 20) 日本呼吸器学会肺生理専門委員会. 1. スパイロメトリー, 呼吸機能検査ガイドライン, メディカルレビュー社, 大阪, 20-23, 2004.
- 21) Borg GAV. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14: 377-381, 1982.
- 22) Borg G. Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand J Rehabil Med* 2: 92-98, 1970.
- 23) 日本アレルギー学会. 病態生理, 喘息予防・管理ガイドライン2015, 協和企画, 東京, 55-79, 2015.
- 24) 本村知華子, 西間三馨: 2 気管支喘息, 臨床スポーツ医学, 23: 663-667, 2006.
- 25) 吉川貴仁: 運動誘発喘息, 日本臨床, 74: 1688-1692, 2016.
- 26) 林 大輔, 西間三馨: 運動誘発喘息, 臨床スポーツ医学, 26: 15-20, 2009.
- 27) Strauss RH, McFadden ER Jr, Ingram RH Jr, Jaeger JJ. Enhancement of exercise-induced asthma by cold air. *New Eng J Med* 297: 743-747, 1977.
- 28) 森 敏昭, 吉田寿夫. 順序尺度に基づくデータの解析, 心理学のためのデータ解析テクニカルブック, 211-216, 北大路書房, 京都, 1990.
- 29) Takagi Y, Yamamoto M, Okushima D, Onodera S. The effect of exercise stress on respiratory functions in individuals with past medical histories of bronchial asthma during simulation ascending the low altitude mountain. *登山医学*, 34: 52-56, 2014.
- 30) Takagi Y, Hayashi S, Onodera S. The influence of heat environment on the indices of respiratory functions in apparently healthy individuals with past medical histories of bronchial asthma during hiking the lower altitude mountain in summer. *登山医学*, 32: 69-74, 2012.
- 31) Yoshikawa T, Kanazawa H. Phenotypic difference between asymptomatic airway hyperresponsiveness and remission of asthma. *Res Med* 105: 24-30, 2011.
- 32) Agostoni E, Gurtner G, Torri G, Rahn H. Respiratory mechanics during submersion and negative-pressure breathing. *J Appl Physiol* 21: 251-258, 1966.
- 33) Collins JV, Cochrane GM, Davis J, Benatar SR, Clark TJH. Some aspects of pulmonary function after rapid saline infusion in healthy subjects. *Clin Sci Mol Med* 45: 407-410, 1973.
- 34) Risch WD, Koubenec HJ, Beckmann U, Lange S, Gauer OH. The effects of graded immersion on heat volume, central venous pressure, pulmonary blood distribution, and heart rate in man. *Pflugers Arch* 374: 115-118, 1978.
- 35) 宮本忠吉, 藤本繁夫, 栗原直嗣, 金尾顕郎, 辻 英次, 前田如矢: 健常者における頸椎水位と横隔膜水位の動的および静的肺機能に及ぼす影響, 体力科学, 43: 155-161, 1994. doi: 10.7600/1949.43.155.
- 36) Anderson SD, Schoeffel RE, Follet R, Perry CP, Davis E, Kendall M. Sensitivity to heat and water loss at rest and during exercise in asthmatic patients. *Eur J Respir Dis* 63: 459-471, 1982.
- 37) Deal EC, McFadden ER, Ingram RH, Breslin FJ, Jaeger JJ. Airway responsiveness to cold air and hyperpnea in normal subjects and in those with hay fever and asthma. *Am Rev Respir Dis* 121: 621-628, 1980.
- 38) Bernard A, Carbonnelle S, Michel O, Higuët S, Burbure C, Buchet J-P, Hermans C, Dumont X, Doyle I. Lung hyperpermeability and asthma prevalence in schoolchildren: unexpected associations with the attendance at indoor chlorinated swimming pools. *Occup Environ Med* 60: 385-394, 2003.