高校競泳選手の泳法の違いによる呼吸機能, 胸郭拡張差の差異の検証

Differences in Respiratory Function and Thoracic Expansion between Different Swimming Styles in High School Swimmers

江越 正次朗¹⁾ 國分 裕一²⁾ 栗木 明裕³⁾ 江郷 功起⁴⁾ 古賀 寿記⁵⁾

SHOJIRO EGOSHI, RPT, MS¹⁾, HIROKAZU KOKUBU, RPT²⁾, AKIHIRO KURIKI, RPT, MS³⁾,
KATSUKI EGO, RPT⁴⁾, TOSHINORI KOGA, RPT⁵⁾

¹⁾ Faculty of Health Science, Kyoto Tachibana University: 34 Yamada-cho, Oyake, Yamashina-ku, Kyoto-shi, Kyoto 607-8175,
Japan TEL +81 75-571-1111 E-mail: egoshi@tachibana-u.ac.jp

²⁾ Technical School of Medical and Welfare Ryokuseikan

³⁾ Chikushi Jogakuen University

⁴⁾ Omuta City Hospital

⁵⁾ Sakaemachi Orthopedic Clinic

Rigakuryoho Kagaku 36(3): 421-425, 2021. Submitted Dec. 23, 2020. Accepted Jan. 26, 2021.

ABSTRACT: [Purpose] The purpose of this study was to investigate whether different swimming styles cause differences in respiratory function and thoracic cage expansion in swimmers. [Participants and Methods] A total of 89 first- to third-year high-school swimmers were included in this study. Respiratory function and thoracic expansion differences were compared between four swimming styles. [Results] The results show that the ratio of forced expiratory volume in 1 second (FEV₁) to forced vital capacity (FVC) was significantly higher in freestyle than in backstroke. Conversely, the difference in thoracic expansion at the level of the 10th rib was significantly higher in backstroke than in freestyle. [Conclusion] These results suggest that increasing the FEV₁/FVC ratio may be necessary in freestyle, whereas increasing the mobility of the lower rib cage may be necessary in backstroke to improve athletic performance.

Key words: swimming styles, respiratory function, thoracic expansion differences

要旨:〔目的〕泳法の違いにより呼吸機能や胸郭拡張差に差異を生じるか検討することとした。〔対象と方法〕水泳部に所属した高校1年生から3年生までの89名を対象とした。対象者に対し、泳法別に呼吸機能、胸郭拡張差について比較した。〔結果〕1秒率 (FEV₁/FVC) において、背泳ぎよりも自由形で有意に高値を示した。また、胸郭拡張差の第10肋骨部において、自由形よりも背泳ぎで有意に高値を示した。〔結語〕競技力向上へのアプローチとして、自由形では、FEV₁/FVCを高めることが必要とされる可能性があり、また、背泳ぎでは下部胸郭の可動性を高めることが必要とされる可能性が推察された。

キーワード: 泳法, 呼吸機能, 胸郭拡張差

¹⁾ 京都橘大学 健康科学部: 京都府京都市山科区大宅山田34 (〒607-8175) TEL 075-571-1111

²⁾ 医療福祉専門学校 緑生館

³⁾ 筑紫女学園大学

⁴⁾ 大牟田市立病院

⁵⁾ さかえまち整形外科

I. はじめに

水中にて身体活動を行うことによって、呼吸器系の機能が変化することは以前から報告されている。黒川ら¹⁾は、大学入学前から競泳のトレーニングを積んでいる大学水泳部員と陸上でのトレーニング活動から退いた大学生を対象に、水泳トレーニングが呼吸機能に及ぼす影響を比較し、大学水泳部員で呼吸機能が有意に高値であったことを報告している。これは、水中での水圧がもたらした効果である。水中では、水圧により肺換気力学特性に影響を及ぼすことが知られている²⁾。水圧は吸気時の胸郭に抵抗を加え、さらに肺活量と全肺気量を減少させるため²⁾、吸気努力が必要になる。そのため吸気筋に対しトレーニング効果をもたらす。

また、水圧の影響は、肢位の違いによっても異なり、座位や背位でも肺換気力学特性は異なることが報告されている³⁾。黒川ら¹⁾は、水中での肢位の違いによる呼吸作用の比較も行っており、背臥位、腹臥位、立位では、立位で最も全肺気量減少したと報告しており、肢位の違いが呼吸作用に影響を及ぼすことがわかる。

水泳競技では、様々な泳法があり、肢位もそれぞれ異なるため、それぞれの泳法に生じる水圧も異なることが考えられる。よって泳法ごとに生じる肺換気力学特性も異なることが考えられるため、泳者の呼吸機能も泳法ごとに異なることが予測される。Holmer は⁴⁾、2名の被検者に平泳ぎ・背泳ぎ・自由形を行わせ、最大酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_{2max}$ ）を測定した結果、泳法により $\dot{V}O_{2max}$ が異なると報告しており、また原ら⁵⁾は、自由形で泳中の $\dot{V}O_{2max}$ を測定し、専門種目で比較した結果、自由形選手が一番高く、背泳ぎ選手で最も低かったと報告している。以上の先行研究から、泳法の違いによって、 $\dot{V}O_{2max}$ は異なることが予測される。 $\dot{V}O_{2max}$ の規定要因には、呼吸機能が含まれることから⁶⁾、泳者の呼吸機能は泳法ごとに異なるのではないかと考えた。また、呼吸機能には胸郭拡張差が関連することからも⁷⁾、泳法ごとに胸郭拡張差も異なるのではないかと考えた。しかし、泳法の違いによって、呼吸機能や胸郭拡張差に差異を生じさせるかどうか検討した報告は見当たらない。特に、高校競泳選手の競技大会における競技力を向上させるために、泳法の違いによる呼吸機能や胸郭拡張差の違いを明かにすることは、泳法に適した身体機能の強化方法を検討するうえでその一助となる。

そこで本研究では、高校競泳選手を対象に、泳法の違いにより呼吸機能や胸郭拡張差に差異を生じるか検討し、泳法に適した身体機能を呼吸機能の側面から検討することで、競技力向上に必要なアプローチ指針を探索することを目的とした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は、水泳部に所属した高校1年生から3年生までの96名のうち、泳法で対象者数が少なかった個人メドレー7名を除いた89名（男性52名、女性37名、年齢 16.1 ± 0.9 歳、身長 165.3 ± 8.1 cm、体重 58.5 ± 7.1 kg、体脂肪率 $19.1 \pm 16.1\%$ ：平均 $\pm$ 標準偏差）とした。対象者には、本研究の内容について十分な説明を行い、書面にて同意を得て実施した。また、研究への参加は自由意思であり、参加しなくても何ら不利益を生じないことを説明した。なお、本研究は筑紫女学園大学「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認を得た（承認日：2017年7月14日）。

2. 方法

対象者に対し、呼吸機能、胸郭拡張差、泳法について調査した。

呼吸機能は、スパイロメーター（AutospiroAS-507、ミナト医科学社製）を使用した。日本呼吸器学会の方法に準じて⁸⁾、肺活量（vital capacity：以下、VC）、1秒量（forced expiratory volume in 1 second：以下、FEV₁）、1秒率（FEV₁/FVC）を測定した。VCとFEV₁においては、予測値に対する比（%VC、%FEV₁）を算出した⁸⁾。また、呼吸筋力は、呼吸筋力計（AAM377、ミナト医科学社製）を使用した。最大吸気圧と最大呼気圧を各3回測定し、最大値を呼吸筋力として採用し、予測値⁹⁾に対する比を算出した。

胸郭拡張差は、立位にて、剣状突起部と第10肋骨部の最大吸気位と最大呼気位での周径をテープメジャーにて1 mm単位で測定し、その差を算出した。手法は、田平ら⁷⁾の方法に準じて、最大吸気時の胸郭周径を測定した後、被検者にゆっくりと呼吸させ、最大呼気まで胸郭縮小の動きに合わせてメジャーを牽引し測定した。

統計解析方法は、対象者の属性のうち、性別、学年については、各泳法間での比較を χ^2 検定にて実施した。その他の属性については、従属変数を泳法、独立変数を年齢、身長、体重、体脂肪率とし、Shapiro-Wilk検定にて正規性の確認をした後、一元配置分散分析もしくはKruskal-Wallis検定を用いて、泳法の違いでの主効果の解析を行った。また、呼吸機能、胸郭拡張差においても属性と同様の方法で、一元配置分散分析もしくはKruskal-Wallis検定を用いて、泳法の違いでの主効果の解析を行った。一元配置分散分析後のpost-hoc検定は、Leveneの等分散性の検定結果により、Tukey法またはGames-Howellを実施し、Kruskal-Wallis検定後のpost-hoc検定はBonferroni法を実施して、各泳法間での比較を行った。統計解析には、SPSS ver.24 for Windows（IBM社製）を使用し、有意水準は5%とした。

III. 結 果

対象者の属性を表1に示した。泳法においては、自由形42名、平泳ぎ13名、背泳ぎ19名、バタフライ15名であった。各泳法間での性別、学年に有意な関連は認めず、年齢、身長、体重、体脂肪率にも泳法の違いによる有意な主効果は認められなかった。

呼吸機能と胸郭拡張差の平均値を表2に示した。呼吸機能においては、%VCは $113.0 \pm 16.1\%$ 、%FEV₁は $101.3 \pm 12.8\%$ 、呼吸筋力は、最大呼気筋力 $107.7 \pm 29.8\%$ 、最大吸気筋力 $100.3 \pm 28.4\%$ であり、全ての項目において予測値同等かそれ以上を示した。胸郭拡張差においては、剣状突起部は 6.5 ± 2.7 cm、第10肋骨部は 5.5 ± 2.3 cmであった。

また、呼吸機能、胸郭拡張差においては、泳法の違いによる有意な主効果が認められ、post-hoc検定における各泳法間での呼吸機能、胸郭拡張差の比較では、FEV₁/FVCにおいて、背泳ぎよりも自由形で有意に高値を示した。また、胸郭拡張差の第10肋骨部において、自由形よりも背泳ぎで有意に高値を示した。その他の泳法間では有意差は認められなかった（表2）。

IV. 考 察

本研究では、水泳部に所属している高校生を対象に、泳法の違いによって呼吸機能、胸郭拡張差に差異を生じるかを検討した。その結果、FEV₁/FVCにおいて、背泳ぎよりも自由形で有意に高値を示し、また、胸郭拡張差の第10肋骨部において、自由形よりも背泳ぎで有意に高値を示した。

水中での呼吸では、水圧の影響を受け、吸気時に抵抗を生じさせる¹⁰⁾。水中と陸上での呼吸機能の影響を検討した報告では、水中では、最大吸気流速が低下し、最大呼気流速も低下したとの報告がある¹⁾。さらに、この研究では、水中での最大呼気流速の腹臥位、背臥位の肢位の違いによる検討がなされており、この場合有意差は認められなかったと報告している¹⁾。本研究において、自由形は腹臥位であり、背泳ぎは背臥位での肢位である。よって、泳肢位の違いによる最大呼気流速への影響は考えにくく、FEV₁/FVCに有意差を認めたことは水圧以外の別の要因が推測された。

別の要因として推測されるのは、呼吸法の違いである。呼吸法については、自由形では、吸気時に水面から口を出す必要があるのに対し、背泳ぎでは常に口を水面

表1 対象者の属性

泳法	合計	自由形	平泳ぎ	背泳ぎ	バタフライ
対象者数(名)	89	42	13	19	15
性別[男性/女性](名)	52/37	24/18	9/4	10/9	9/6
年齢(歳)	16.0 (15.0-17.0)	16.0 (15.0-17.0)	17.0 (16.0-17.0)	16.0 (16.0-17.0)	16.0 (15.0-17.0)
学年[1年/2年/3年](名)	25/32/32	14/14/14	3/5/5	4/8/7	4/5/6
身長(cm)	165.3 $\pm$ 8.1	165.7 $\pm$ 8.7	165.0 $\pm$ 6.1	165.3 $\pm$ 7.2	164.3 $\pm$ 9.3
体重(kg)	58.5 $\pm$ 7.1	59.5 $\pm$ 7.5	56.2 $\pm$ 4.7	58.2 $\pm$ 7.7	58.2 $\pm$ 7.2
体脂肪率(%)	15.5 (13.0-22.9)	15.7 (13.2-24.0)	14.6 (10.6-21.5)	17.3 (12.4-22.8)	14.5 (13.0-23.0)

人数または平均値 $\pm$ 標準偏差または中央値(四分位範囲)。性別、学年： χ^2 検定。年齢、体脂肪率：Kruskal-Wallis検定。身長、体重：一元配置分散分析。

表2 泳法の違いによる呼吸機能、胸郭拡張差の比較

	全体	自由形	平泳ぎ	背泳ぎ	バタフライ
対象者数	89	42	13	19	15
呼吸機能(%)					
%VC	113.0 $\pm$ 16.1	111.6 $\pm$ 12.3	109.5 $\pm$ 17.0	116.1 $\pm$ 19.9	115.9 $\pm$ 20.0
%FEV ₁	101.3 $\pm$ 12.8	102.0 (94.5-108.3)	97.0 (90.5-103.0)	101.0 (86.0-112.0)	108.0 (90.0-116.0)
FEV ₁ /FVC	84.9 $\pm$ 7.6	87.8 (83.0-91.9)	84.8 (79.3-87.3)	80.2 (75.8-88.0) *	87.3 (85.8-90.9)
呼吸筋力(%)					
最大呼気筋力	107.7 $\pm$ 29.8	99.6 (79.8-123.4)	107.1 (96.9-124.8)	109.9 (95.2-122.9)	102.4 (87.5-126.9)
最大吸気筋力	100.3 $\pm$ 28.4	100.5 (75.8-111.9)	102.5 (81.2-114.1)	102.6 (86.6-110.2)	94.3 (82.6-120.3)
胸郭拡張差(cm)					
剣状突起部	6.5 $\pm$ 2.7	6.5 (4.7-7.6)	6.7 (5.8-8.0)	7.3 (5.9-8.0)	6.3 (5.5-8.2)
第10肋骨部	5.5 $\pm$ 2.3	5.2 (3.5-6.4)	5.8 (5.1-7.4)	6.5 (5.3-8.1) *	5.7 (3.6-6.3)

平均値 $\pm$ 標準偏差または中央値(四分位範囲)。%VC：一元配置分散分析。その他：Kruskal-Wallis検定を実施。*：p < 0.05 (背泳ぎ vs 自由形)。

上に出して吸気を行っている。自由形のような水面下に顔を付けて泳ぐ泳法では、高速で泳ぐ場合に、呼吸のための頭の動きをなるべく少なくし、呼吸動作によるスピードの減速を防ぐことが求められる。そのために、水中では、鼻からゆっくり息を吐き、口が水面に出る直前に残りの呼気を強く呼出することが必要であるとされている¹¹⁾。このように、自由形では、強く呼出する呼吸法が必要となり、呼気筋の機能の関与が考えられる。しかし、最大呼気筋力では、両者に有意差は認められなかった。そのため、筋機能のうち、筋力以外の要素の可能性が考えられたが、本研究では不明である。

以上のことから、自由形は背泳ぎよりもFEV₁/FVCの高さが必要とされる一方で、背泳ぎはFEV₁/FVCの高さを必要としない可能性が推察された。

胸郭拡張差については、第10肋骨部において、自由形と比較し背泳ぎが有意に大きく、高い胸郭の可動性を示した。

自由形において、泳効率を向上させるためには、水の流れによって生じる抵抗を減少させることが重要となる¹²⁾。そのため泳者には、水の抵抗を減少させるような身体の長軸が進行方向に沿った姿勢（水平姿勢）を維持することが求められる。水平姿勢の維持には、浮心の位置が頭側にある場合、重心に近づけることと、浮心が尾側にある場合は浮心と重心の距離を長くすることが必要とされており、そうすることで泳効率が向上するとされている¹³⁻¹⁵⁾。背臥位と腹臥位は、ともに身体の長軸が水平方向を向いていることから、両姿勢間で浮力のモーメントは同様の傾向を示す^{16,17)}。そのため、背泳ぎでも水平姿勢の維持には自由形と同様のことが考えられた。

浮心は呼吸様式によって変化することが報告されている。丸山ら¹⁸⁾は、胸式呼吸と腹式呼吸での浮心と重心との距離を比較し、腹式呼吸は胸式呼吸と比較して浮心の重心に対する相対位置がより尾側に位置することを報告している。腹式呼吸は、横隔膜を中心とした呼吸法であり、第10肋骨部での胸郭拡張差は横隔膜運動と関連が強い部位である^{19,20)}。本研究において、自由形と比較し、背泳ぎで有意に第10肋骨部の胸郭拡張差が大きかったことから、背泳ぎでは腹式呼吸が必要とされることが考えられた。これは金沢ら²¹⁾の、安定した背泳ぎ姿勢には十分な吸気量の確保が必要であるとする報告からも、腹式呼吸によって換気量を増大させようとしているものと考えた。よって、背泳ぎでは、腹式呼吸によって浮心の重心に対する相対位置を尾側に位置させることが必要とされ、また腹式呼吸による換気量の増大が必要とされる泳法である可能性が推察された。

一方、息継ぎ動作について着目すると、平泳ぎやバタフライでの泳法では、体幹を伸展させ、水面上に顔を上げて動作を行うが、自由形と背泳ぎでの体幹の回旋を伴

う息継ぎ動作と異なるため、両者で胸郭拡張差が異なることが予測された。しかし、両者では有意差が認められなかった。よって、第10肋骨部での胸郭拡張差は、息継ぎ時の動作での関連よりも、先に述べた腹式呼吸に起因するものである可能性が考えられた。

これらの知見から、競技力向上に向けて、自由形では呼吸機能の中でもFEV₁/FVCを高めるアプローチが必要とされる可能性が推察され、また、背泳ぎでは下部胸郭の可動性を高めるアプローチが必要とされる可能性が推察された。

本研究の限界としては、いくつかの点が挙げられる。まず、泳法の違いによる呼吸機能と胸郭拡張差は、男女差の影響が考えられるが、対象者数が少なく解析に至っていない。次に、背泳ぎが他の泳法と比較して腹式呼吸を優先的に行っているかの確認はできていない。さらに、本研究は、呼吸機能と胸郭拡張差について、泳法の違いによる差異を横断的に検証したものであり、泳法と呼吸機能、胸郭拡張差の因果関係については明らかにできていない。そのため、今後は縦断的な検証を含め、さらなる検討が必要である。

利益相反 本研究における利益相反はない。

引用文献

- 1) 黒川隆志, 池上晴夫: 肺換気力学特性に及ぼす体位, water immersion及び水泳トレーニングの影響. 体力科学, 1980, 29: 98-109.
- 2) 宮本忠吉, 藤本繁夫, 栗原直嗣・他: 健康者における頸椎水位と横隔膜水位の動的小および静的肺機能に及ぼす影響. 体力科学, 1994, 43: 155-161.
- 3) Jarrett AS: Effect of immersion on intrapulmonary pressure. J Appl Physiol, 1965, 20: 1261-1266.
- 4) Holmér I, Astrand PO: Swimming training and maximal oxygen uptake. J Appl Physiol, 1972, 33: 510-513.
- 5) 原 怜来, 上野広治, 鈴木 典: 大学水泳選手の学年, 専門種目, 専門距離からみた酸素摂取量の違いについて. スポーツ科学研究, 2019, 3: 3-9.
- 6) 福場良之: VO₂maxの規定要因. BME, 1994, 8: 46-56.
- 7) 田平一行, 神津 玲, 千住秀明: 中高年者における胸郭拡張差を加味した肺機能予測式の検討. 理学療法科学, 1996, 23: 66-71.
- 8) 日本呼吸器学会肺生理専門委員会(編): 臨床呼吸機能検査, 第7版. メディカルレビュー, 東京, 2004, pp9-33.
- 9) 鈴木政史, 寺本信嗣, 須藤英一・他: 最大吸気・呼気筋力の加齢変化. 日本胸部疾患学会雑誌, 1997, 35: 1305-1311.
- 10) Agostoni E, Gurtner G, Torri G, et al.: Respiratory mechanics during submersion and negative-pressure breathing. J Appl Physiol, 1966, 21: 251-258.
- 11) 波多野勲: 水泳教室. 大修館書店, 東京, 1978, pp66-69.
- 12) Maglischo EW: Reducing resistance. In: Swimming fastest. Human Kinetics, Champaign, 2003, pp43-64.
- 13) Yanai T, Wilson BD: How does buoyancy influence front-

- crawl performance? Exploring the assumptions. *Sports Technol*, 2008, 2: 89-99.
- 14) Capelli C, Zamparo P, Cigalotto A, et al.: Bioenergetics and biomechanics of front crawl swimming. *J Appl Physiol* 1985, 1995, 78: 674-679.
- 15) Zamparo P, Capelli C, Termin B, et al.: Effect of the underwater torque on the energy cost, drag and efficiency of front crawl swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1996, 73: 195-201.
- 16) Gagnon M, Montpetit R: Technological development for the measurement of the center of volume in the human body. *J Biomech*, 1981, 14: 235-241.
- 17) McLean SP, Hinrichs RN: Influence of arm position and lung volume on the center of buoyancy of competitive swimmers. *Res Q Exerc Sport*, 2000, 71: 182-189.
- 18) 丸山祐丞, 近田彰治, 矢内利政: 呼吸様式が重心位置と浮心位置に与える影響, 水泳における水平姿勢維持への示唆. *体育学研究*, 2012, 57: 641-651.
- 19) 田平一行, 関川則子, 神津 玲・他: 慢性呼吸不全患者における胸郭拡張差が肺機能および呼吸困難感に及ぼす影響. *理学療法学*, 1998, 25: 376-380.
- 20) 里宇明元: 呼吸の運動学. *総合リハビリテーション*, 1990, 18: 377-384.
- 21) 金沢翔一, 森山進一郎, 須甲理生・他: 一般女子大学生における背泳ぎの呼吸特性に着目した指導方法の有効性. *スポーツ教育学研究*, 2019, 38: 35-44.