

原 著

水泳中の息継ぎの指導法に向けての基礎的研究 (1)

—呼息経路の変更に必要な時間について—

原英喜^{*1} 和田拓真^{*2} 斎藤辰哉^{*2} 玉里祐太郎^{*2}
吉田升^{*3} 濱田大幹^{*3} 吉岡哲^{*4} 小野寺昇^{*2}

要 約

水泳の初心者指導に重要と考えられる呼吸方法の指導に、生理学的な根拠を与える資料を求めることを目的として本研究を行った。鼻腔と口腔に圧センサーを装着し、顔を水に浸けた状態で、鼻から口へ、または口から鼻へと呼気経路を変えるときに必要な時間を測定した。その結果、鼻から口への移行も口から鼻への移行も著しい違いは認められなかったが、口から鼻へ経路を変える場合は、鼻から口へ変化させる時より時間がかかることが分かった。さらに経路を変更するのに個人差があり、鼻からの呼息に慣れているかということ、切り替えに慣れているかの二つの要素が関わっていると考えられた。また、呼息圧からと映像から、口や鼻の一方だけからの呼気ができずに両方から呼息をしようとするものがあることも判明した。

1. 緒言

運動やスポーツを行う上で怪我につながる事故や、生命の危険に対する配慮は欠かすことができない。とりわけ水泳指導の場面では、常に呼吸が確保されているわけではないという点で、他の陸上の運動種目よりもより安全性が重要視されなければならない。

水泳の運動技能の獲得を考えた場合、「呼吸の確保(息継ぎ)」が動作の習得に多大な影響を及ぼすという特徴がある。呼吸の仕方は水泳の運動技能の一部と捉えることもできる。文部科学省実技指導資料第4集水泳指導の手引き(二訂版)¹⁾においては、第1章水泳の特性の中で「水泳は、浮く、潜る、進む、呼吸をするなどの技能によって成立している運動であり」(p.1)と述べ、第2節水泳のねらいでは、「水中で目を開けたり、口や鼻から息を吐いたり」(p.3)との記述がある。このことは、水泳が呼吸との関係が密接であることを示している。さらに、第2章水泳の学習内容の扱いの「(1) 技能の内容」でも、「水遊び」の中で「水中で息を止めたり吐いたり」(p.6)という表現があり、個別の泳法では「呼気は、水中で、

鼻と口で行う」、「吸気は、…、口で行い、素早く、大きく吸い込む」と書かれている。これらの記述から、呼吸とは呼気と吸気に分け、さらに鼻と口の使い分けをする必要があることが示されている。

日本水泳連盟の指導者養成に用いられるテキストである「水泳指導教本」(改訂版)²⁾にも、呼吸に関する記述があり、呼吸法については、水中の息こらえと呼気(バブリング)を示し、シャワーを浴びながら呼吸するときには「『パッ・ハッ・パッ・ハッ』と行い、『パッ』で吐き『ハッ』と大きな口で吸う」ことを示している。しかし、泳ぐ動作の中のどのタイミングで息を吐き出し、吸気を行うのかなどの具体的な指示は十分に詳しいとは言えない。さらには、鼻や口からの呼気と、口からの吸気の切り替えについては特別な解説はなく、このことは生理学的な根拠が乏しいことが影響していると考えられる。

このような背景を受けて、初心者の水泳指導に重要と考えられる呼吸方法の指導に生理学的な根拠に基づいた資料を求めることを本研究の目的とした。

具体的には、息継ぎに含まれる呼息の方法に関わる

*1 國學院大學 人間開発学部 健康体育学科

*2 川崎医療福祉大学 医療福祉学部 健康体育学科

*3 川崎医療福祉大学 大学院 医療技術学研究所

*4 岡山大学 全学教育・学生支援機構 基幹教育センター

(連絡先) 原英喜 〒225-0003 横浜市青葉区新石川3-22-1 國學院大學

E-mail : hhara@kokugakuin.ac.jp

呼吸経路を鼻から口、あるいは、口から鼻へと変えるときの様態を鼻腔内圧と口腔内圧でとらえて、息継ぎのときの呼気経路の調節の実態を明らかにすることを目的として実験を行った。

2. 方法

全ての実験は、川崎医療福祉大学の室内プール(25m×15m,水深1.5~1.7m)において行われた。水温は30℃であった。本研究は、國學院大学の「ヒトを直接対象とする研究等及びヒト由来試料研究等に関する倫理委員会」において研究計画の内容につき審査され、「ヒト研究 H29第1号」として承諾を得たものである。

2.1 被験者と器具

実験の趣旨や方法について、器具や測定機器を提示しながら説明し、自ら進んで実験に参加することに同意して協力を申し出てくれた7名の成人男性が被験者となった。本実験の被験者の身体特性と水泳の経験を表1に示した。

被験者は、プールサイドに仰臥姿勢になり、床面と同じ高さの水面に胸から頭にかけて部分を突き出して、競泳用のゴーグルを着用し顔を上げ下げしながら水中に向けて水泳の息継ぎ動作のような試技を行った。鼻腔や口腔内の圧の測定は、著者ら^{3,4)}が行った方法に基づいて行った。サージカルテープによって圧センサー(口径6mm: Millar社製)を鼻腔内5mmの部位、頬、口腔内に設置し、マイクロチップトランスデューサ(TCB-500: Millar社製)を経由してアンプ(EFA400: DDC社製)に接続し、アナログ波形として導出し、波形処理ソフト(iWorx Labscribe 3: LabScribe社)にて各部位の圧を算出した。頬に圧センサーを装着したのは、顔の水深の変化を捉えるため、試技中に顔の深さが変化しなかったことを見極めるために利用した。これらの圧曲線と合わせて、水深1.5mの水底にVTRカメラ

(HX-WA3: Panasonic製)を固定して被験者が止息できているか、また呼吸による泡がどこから出ているかの様子を撮影した。

2.2 実験の条件

2.2.1 止息⇒鼻呼吸⇒口呼吸

顔を水に浸けて、5秒間息を止める(H条件)、鼻腔から呼吸(N条件)を5秒、口から呼吸(M条件)を5秒と連続して行い、その後顔を上げて息継ぎをしてからまた顔を浸けてという試技を4回連続で行った。

2.2.2 止息⇒口呼吸⇒鼻呼吸

次に十分な休憩を取ったのち、条件の順番を息を止めるH条件、口から呼吸するM条件、鼻から呼吸するN条件として4回連続で試技を行いそれぞれの圧を測定した。

2.3 分析方法

2.3.1 呼吸経路の変更に要した時間(CTime)の算出

得られた呼吸圧曲線において、図1と図2に示すように、鼻腔内圧と口腔内圧の曲線を利用して以下のように分析した。

鼻呼吸(N)から口呼吸(M)に移行したときの、鼻呼吸圧の最後の波形のピークから、口呼吸圧の最初の波形のピークまでの時間を、鼻呼吸から口呼吸へ移行するのに要した時間「CTimeNM」とした。同様に、口呼吸(M)から鼻呼吸(N)に移行したときは、口呼吸の最後のピークから鼻呼吸の最初のピークまでに要した時間を「CTimeMN」とした。

2.3.2 水中VTRカメラにより撮影された映像の活用

被験者の顔の直下の水底に設置したVTRカメラにより、鼻または口から出た呼気が泡となって排出される様子を観察した。図3に見られるように、鼻からの呼吸の場合には泡の吹き出しを明確に見て取れるので、呼出経路としての鼻と口の使い分けを明

表1 本実験の被験者の身体特性と水泳経験(遠泳は1~6班で構成され1班は最も泳力が高い班)

ID	年齢	性	身長 (cm)	体重 (kg)	測定項目	水温 (℃)	水泳歴
1	28	M	172	63	呼吸圧	30	小6学校のみ, 川遊び
2	21	M	166	57	呼吸圧	30	小2で兄から習った, 遠泳1班
3	21	M	178	67	呼吸圧	30	小2~6までスイミング, 遠泳1班, 陸上部
4	22	M	174	58	呼吸圧	30	5歳~スイミング, 大3年まで水泳部, 平泳, 遠泳1班
5	20	M	179	79	呼吸圧	30	5歳~小6スイミング, 遠泳1班
6	29	M	167	60	呼吸圧	30	約5歳~約9歳までスイミング, 遠泳3班
7	23	M	170	56	呼吸圧	30	3歳~スイミング, 選手コース小6~高3, 大学水泳部

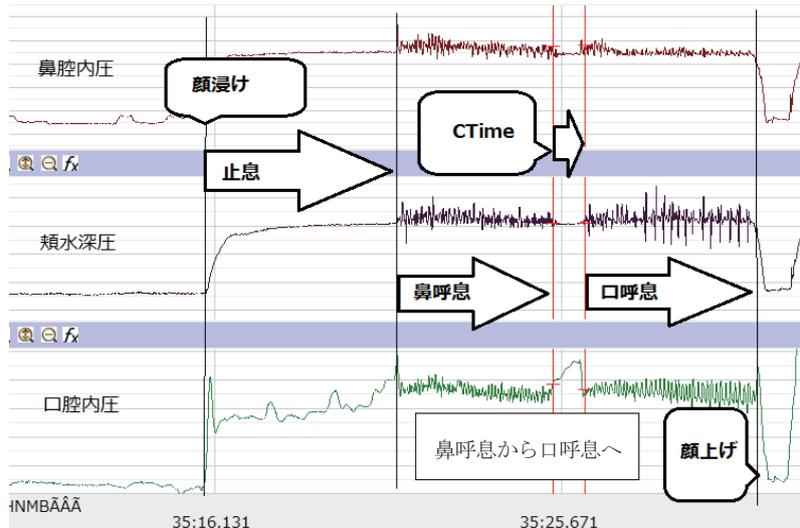


図1 鼻腔内圧（上段），頬の位置の水深による水圧（中段），口腔内圧（下段）曲線から呼吸経路を鼻から口へ移行させるのに要した時間(CTime)を算出する方法（被験者ID 1）

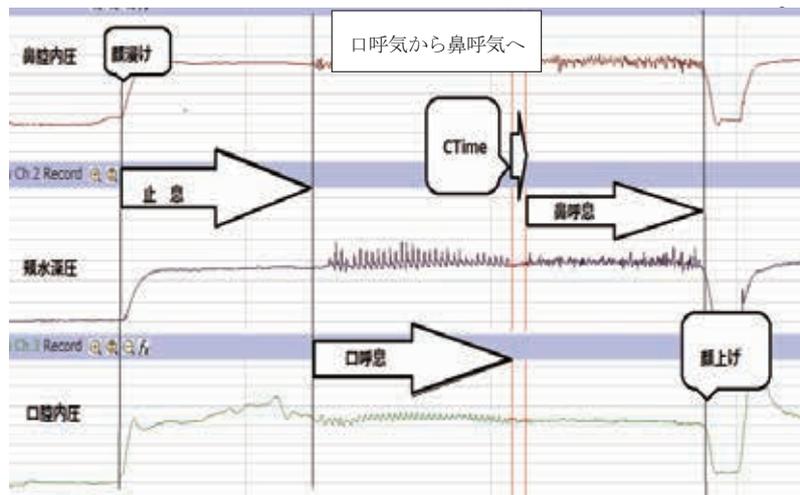


図2 鼻腔内圧（上段），頬の位置の水深による水圧（中段），口腔内圧（下段）曲線から，呼吸経路を口から鼻へ移行させるのに要した時間を算出する方法（被験者ID 1）



図3 水底からVTR録画した映像。鼻からの呼吸時に鼻からだけ泡が出ている様子（被験者ID5）

確に見分けることとした。

3. 結果

3.1 時間の測定値

各被験者のCTimeNMとCTimeMNの結果を表2に示した。各被験者内の4回の試技において、各自の標準偏差(SD)を見てもばらつきが大きく、さらに被験者間でも変動係数(CV)を算出してみると共通の特徴が捉えにくい結果であった。鼻と口の分離がうまくできていなかった被験者ID7を除いて、6名の試技4回の平均値を見てみると、鼻から口への移行(CTimeNM: 307.9msec)も口から鼻の移行(CTimeMN: 353.3msec)も対応のあるT検

定 (SPSSVer.24) の結果で有意な違いは認められなかったが、口から鼻へ経路を変える場合は鼻から口へ変化させる時より時間がかかることが分かった

(図4).

被験者 ID7は、他の6名と異なり、口から呼息時に同時に鼻からも呼息していた。図5は、鼻からの

表2 各被験者の CTime(msec) AvNM は鼻から口への移行時間の4回の平均, AvMN は口から鼻への移行時間の4回の平均, SD: 標準偏差, CV: 変動係数を示す.

ID	CTimeNM				AvNM	SD	CV	CTimeMN				AvMN	SD	CV
	1st	2nd	3rd	4th				1st	2nd	3rd	4th			
1	810	610	450	850	680	143.9	0.212	350	380	550	560	460	86	0.186
2	450	130	380	540	375	136.3	0.363	960	570	0	670	550.0	312	0.567
3	220	360	110	160	212.5	83.76	0.394	200	180	130	70	145	45	0.31
4	330	0	290	170	197.5	114.8	0.581	120	70	300	30	130	92	0.71
5	70	70	50	40	57.5	11.62	0.202	690	210	220	160	320	192	0.6
6	910	170	100	120	325	303	0.932	650	700	470	240	515	161	0.313
7	0	0	0	0	0	0	####	0	110	210	300	155.0	100	0.646

: ID7の NM 条件の CV は、鼻から呼息中も口から呼息があり、CTime が0秒となり計算不可である

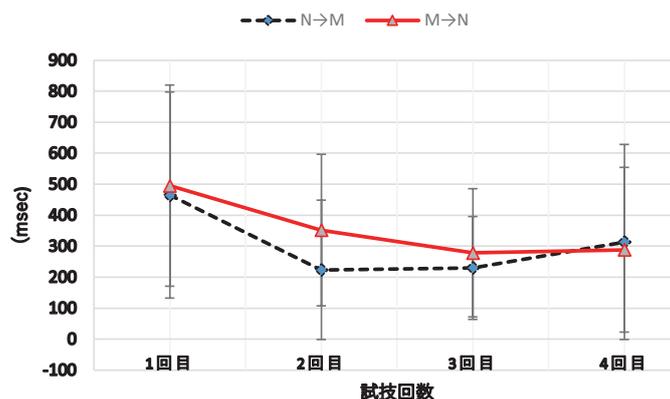


図4 試技条件 (N → M と M → N) 別に見た CTime の6名の被験者の平均値比較
N → M 条件と M → N 条件については有意差が認められなかった (SPSSVer.24による対応のある T 検定)

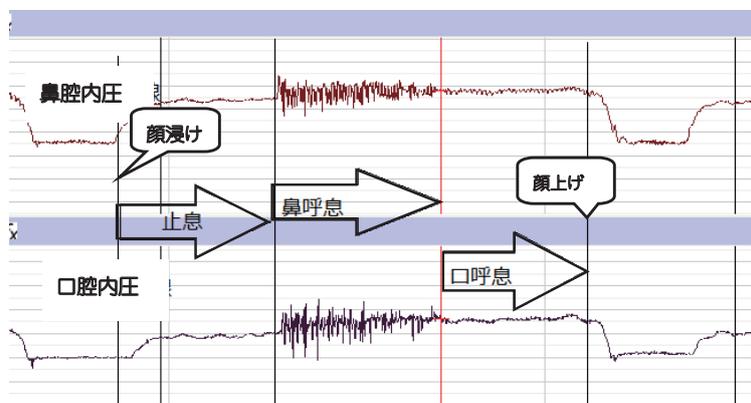


図5 被験者 ID7に観察された圧曲線の例. 鼻呼息時でも口腔から泡が出て振幅が広く、口からの呼息が止まっていない口腔内圧曲線 (下段) の例

呼息中も口からの呼息圧が記録され、さらに VTR 撮影からも確認された例である。表2において、被験者 ID4と ID7の鼻から口への移行試技と、被験者 ID2の口から鼻への3回目においては0msec となっ



図6 被験者 ID7における口呼息時に見られる鼻からの同時呼息

ているが、呼息経路を移行したときに鼻と口から同時に呼息しているためで、VTR 映像においても確認された(図6)。同じ被験者 ID7においても、口からの呼息中は鼻からの呼息が見られなく、移行期(CTime)に鼻や口からの呼息は観察されないが、鼻からの呼息時に口の圧変化は記録された(図7)。

被験者 ID3と ID7を除いて、各試技の1回目は CTime の値も大きく(図8)、さらに経路の違いにより個人内の差が大きかった。2~4回目にかけては漸次 CTime の時間は減少し、さらに NM 条件と MN 条件の差が小さくなる傾向があった(図9)。

4. 考察

本研究の目的は、水泳の「呼吸の確保(息継ぎ)」の指導に科学的な根拠を見出すことであった。息継ぎは、呼息と吸息に分けて考えられるが、今回は主に呼息について検討を行った。呼息は、鼻からと口

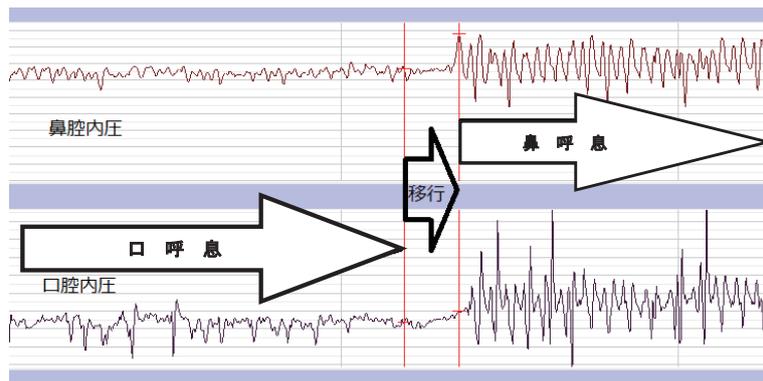


図7 口呼息から鼻呼息へ移行する前後の圧曲線(被験者 ID7)
鼻呼息時にも口からの呼息が観察された例

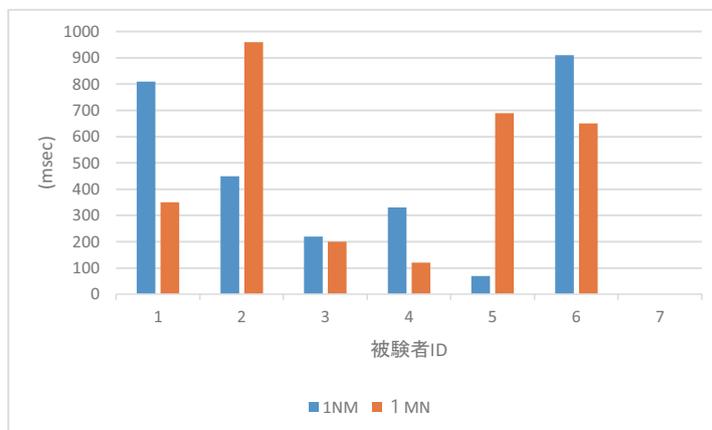


図8 呼息経路変更後試技1回目の各被験者の CTime
被験者 ID7は鼻と口から呼息していたため 0msec とした

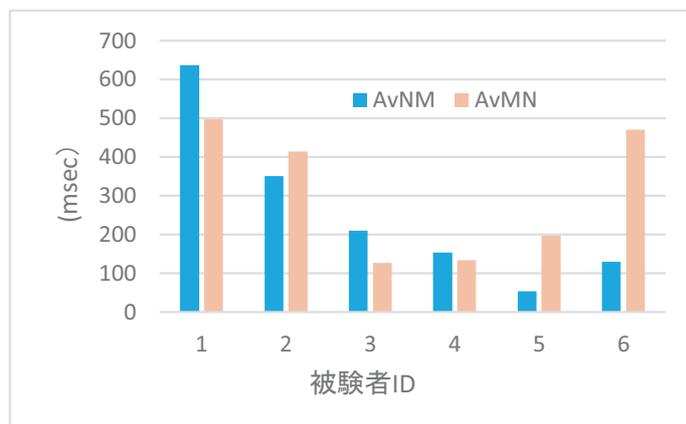


図9 試技2~3回目の呼息経路変更に要する被験者ごとのCTimeの平均時間

から行うが、これを調節しているのは咽頭にある軟口蓋である。水泳中に軟口蓋を直接観察することはできないが、呼息経路が鼻か口かによってその状態が判断できる。軟口蓋の動きについては、Hara et al.⁵⁾が、陸上で内視鏡を用いて実験を行い呼息経路との関連が明確になっているので、本実験の客観性を担保するものである。そこで本実験では、鼻腔内圧と口腔内圧を測定して軟口蓋による呼息経路の調節状況を求めることとした。呼息しようとするとき、軟口蓋の周囲の小筋群の収縮によって軟口蓋が挙上すると鼻への通路を閉じることになるので、口唇が開いていれば口からの呼息となる。逆に小筋群を弛緩させると、鼻への通路が開かれて鼻呼息となる。

鼻から口へ、あるいは口から鼻へと呼息経路を変える1回目に要するCTimeに着目すると、被験者ID1, 2, 5の3名についてはその差が著しく、ID3, 4, 6については比較的差が小さかった(図8)。呼息経路の変更に慣れていく過程と考えられる2回目から4回目までの平均値を見ると、ID6を除いて差があまり見られなくなった(図9)。今回の被験者は、これまでは鼻からの呼息か鼻と口双方からの呼息を行っており、口からの呼息を行っていた者はいなかった。これまでの本人の呼息方法を対比してみるとはできなかった。今回の測定から、個人によって鼻から口へ呼息経路を変えるのが速やかな者と、口から鼻へと経路変換する方が速やかな者がいることが明らかとなり、経路を変えるのに要する時間に差があることが分かった。鼻呼息から口呼息へのCTimeと、口呼息から鼻呼息へのCTimeに時間に差が生じるのは、それぞれの呼息に慣れているかということと、それらの切り替えに慣れているかの二つの要素が関わっていると考えられた。鼻から口へ、口から鼻へと呼息経路の変更に時間差があることの

理由の一つは、軟口蓋の動きを担う小筋群を支配するのが迷走神経であることが考えられる。四肢などの骨格筋では運動神経による支配を受けるが、迷走神経により小筋群を収縮弛緩させることは時間がかかると考えられるからで、呼息経路を鼻から口に変えるときは、小筋群を収縮させるので、弛緩させるよりも時間を要するとも考えられよう。

水泳の初心者にとって、呼吸をコントロールできることは、水泳の技術の獲得に効果的な影響を及ぼすこととなる。筑波大学附属小学校体育科研究部⁶⁾は、低学年の「浮く・潜る遊び」の冒頭に口まで水につけてぶくぶく泡を吐く「ぶくぶくオニ」を紹介して、口からの呼気を最初に指導することとし、これに続いて「バブリング・ポビング」では、「潜って『ブー』と息をはき、『パッ』と大きな声を出す」と表現している。鈴木⁷⁾は、「呼吸力の習熟を縦糸にした指導ステップ」の章で、止息、呼息、吸息に触れ、「鼻から『ンーン』と少しずつ呼息」、「『パッ』と口から吐き出す」などと記述している。しかし、Hara et al.^{4,8,9)}はこれまで平泳ぎの泳速や泳いでいるときの口の深さによって鼻からの呼気が重要な意味を持つことを報告しているが、口からの呼気と鼻からの呼気のしやすさについては比較してこなかった。今回の実験結果では、呼息経路の変換の速さは個人による差異があることを認めているが、水泳における「呼吸の確保(息継ぎ)」は単に呼息と吸息をすることと捉えて指導するのではなく、鼻と口が呼息経路であり、軟口蓋が呼息経路の変換に関わっていることを意識したうえで指導する必要性を示唆している。学校やスイミングクラブで、経験だけではなく科学的な根拠を持って指導に臨むことができ、効率的に指導するための重要な知見が得られたと言えよう。

本研究の手法の客観性や再現性については、映像と過去の研究⁵⁾で内視鏡による軟口蓋の動きを直接観察して補ってきた。さらに、圧曲線の客観性を裏付けるために、水中の下方からのVTR映像を収録し、図3, 6に示すように呼吸により泡が鼻と口のどこから出ているかの確認を圧センサーと同時にを行った。さらに、圧の変化が顔の深さの変化によるものではないことを確認するために、頬に着けたセンサーで水深の確認を行い、呼吸による圧曲線変化の特定を確実なものとした。実験方法の再現性はこれまでの論文でも述べてきたが、鼻腔や口腔内圧を測定した圧の測定装置と分析ソフトの客観性は Amal et al.¹⁰⁾や Israel et al.¹¹⁾の文献でも認められている。

軟口蓋の働きを意図的に利用することによって、呼吸経路を調整することが容易になり、呼吸経路変更の時間の短縮につながる指導が望ましいと考えら

る。鼻からの呼吸を伴う「ムー」、口からの呼吸を伴う「パッ」と発声することが、結果として呼吸経路の変更を生じさせる望ましい軟口蓋の働きを引き出せるので、言葉を発するように指導することが望ましいと推測する。残された課題は、この結果に基づく指導が有効に呼吸経路の変更につながるか、ということを実験の前後で比較して明らかにすることであろう。

謝 辞

本研究は平成29年度國學院大學支援研究費の補助を受けて行いました。また、國學院大學からの派遣研究依頼を受けて下さった、川崎医療福祉大学医療技術学部健康体育学科の小野寺昇副学長はじめ学科の先生方、大学院生諸氏のご協力に感謝いたします。

文 献

- 1) 文部科学省：実技指導資料第4集水泳指導の手引き。二訂版，日本文教出版，東京，2010。
- 2) 財団法人日本水泳連盟編：水泳指導教本。改訂版，大修館書店，東京，2011。
- 3) Hara H, Onodera S and Shibata Y : The development of measuring nasal pressure in water. *The biomechanics and medicine in swimming VIII*, 135-139, 1999.
- 4) Hara H, Watanabe R, Hanaki A, Shibata Y, Yamamoto Y and Onodera S : The function of nasal pressure for breathing in the breaststroke. *The Biomechanics and Medicine in Swimming X*, 137-139, 2006.
- 5) Hara H, Hanaoka Y, Tonogi M and Nakajima T : Observation of the soft palate while breathing in a simulated swimming situation, *The Biomechanics and Medicine in Swimming XII*, 421-426, 2014.
- 6) 筑波大学附属小学校体育科研究部：子どもが力をつける体育授業—筑波大附小・33事例とカリキュラム—。初等教育研究会/不味堂出版，東京，2005。
- 7) 鈴木智光：子どもの命を守る泳力を保証する先生と親の万能型水泳指導プログラム。学芸みらい社，東京，2015。
- 8) Hara H, Watanabe R, Hanaki A, Shibata Y and Onodera S : Study on nasal pressure influenced by swimming speed in breaststroke. *The Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, 63-67, 2003.
- 9) Hara H, Yoshioka A, Matsumoto N, Nose Y, Watanabe R, Shibata Y and Onodera S : Analyses of instruction for breath control while swimming the breaststroke. *The Biomechanics and Medicine in Swimming XI*, 319-320, 2010.
- 10) Omran AM, Aboubakr SE, Aboussouan LS, Pierchala L and Badr MS : Posthypoxic ventilatory decline during NREM sleep: influence of sleep apnea. *Journal of Applied Physiology*, **96**(6), 2220-2225, 2004.
- 11) Belenkie I, Sas R, Mitchell J, Smith ER and Tyberg JV : Opening the pericardium during pulmonary artery constriction improves cardiac function. *Journal of Applied Physiology*, **96**(3), 917-922, 2004.

(平成30年1月17日受理)

Basic Study for Instruction of Respiration in Swimming : Changing Time of Exhalation Rout

Hideki HARA, Takuma WADA, Tatsuya SAITO, Yutarou TAMARI, Noboru YOSHIDA,
Hiroki HAMADA, Akira YOSHIOKA and Sho ONODERA

(Accepted Jan. 17, 2018)

Key words : breathing in swimming, instruction of respiration control, nasal pressure, oral pressure, airway change

Abstract

This research aimed to give a physiological basis for instruction of beginner' s breathing method in swimming. It measured the time required when changing the exhalation pathway from nose to mouth and mouth to nose using pressure sensors attached in nasal and oral cavities. The airway changing time from mouth to nose was faster than nose to mouth. It became clear that to change the pathway was individual; some subjects were good at breathing from nose to mouth, the others were good at from mouth to nose. And the skillful change was faster than unskillful change. From pictures, some exhaled from both nose and mouth at the same time in the case of trying to exhale from either the nose or the mouth.

Correspondence to : Hideki HARA

Department of Health and Physical Education
Faculty of Human Development
Kokugakuin University
Yokohama, 225-0003, Japan
E-mail : hhara@kokugakuin.ac.jp

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.27, No.2, 2018 377 – 384)