

## 9548 海水を用いた腰痛予防対策の運動処方に係わる基礎的研究

助成研究者：小野寺 昇 (川崎医療福祉大学 健康体育学科)

共同研究者：宮地 元彦 (川崎医療福祉大学)

宮川 健 (川崎医療福祉大学)

研究目的：海水は、淡水に比較し泳ぎやすい。これは海水の浮力が淡水に比較し高いためである。浮力を自由に調整し、最も効率よく泳げるような環境として、我々は塩水を提案し、実際に水中での運動処方へ活用するための基礎的な資料収集を続けている。今回は、腰痛予防対策としての水中運動法を開発するため、基礎的な資料として、泳ぎ手が受ける抵抗 (passive drag) と姿勢変化について回流水槽を用いて検討した。

研究方法：健康な成人男女13名 (男子7名・女子6名) を被験者とした (年齢23.8歳±6.8, 身長169.0kg±8.9, 体重63.6kg±10.0; 平均±SD)。回流水槽を用いた。水温及び室温は30℃とした。浮力は水の比重を変化させることによって得た。水の比重は、Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を溶解し、0.99(水道水), 1.02, 1.03, 1.04とした。passive dragは、ストレンゲージによって求めた。被験者は、ストレンゲージに接続したスチール線端のグリップを握り、伏臥姿勢を保持した。姿勢の変化は、回流水槽の真横から高速度ビデオカメラで撮影し、肩峰、大転子、脛骨中央部、外果 (足関節) の4点に付着させた蛍光性ポイントから分析した。

研究結果及び考察：図に流速1.4m/sにおける体の受ける抵抗の変化を示した。水の比重が大きくなるに従って体の受ける抵抗は有意に減少した。このことは水の比重の増大によってpassive dragが減少したことを示す。しかしながら、水の比重1.03と1.04との間には有意な差がなかった。このことは水の比重が増大し続けてもpassive dragが減少しないことを示唆する。水の比重が大きくなるに従って姿勢は、体幹、大腿、下腿が浮く方向に変化した。水道水で流速が著しく遅い場合、姿勢はpassive dragが大きくなる方向に変化した。このことは海水のpassive dragの結果と一致する。しかしながら、比重1.02, 1.03, 1.04の塩水では、流速が遅い場合でもpassive dragが小さくなる方向に姿勢が変化した。このことは海水のような大きな浮力をもった水が、腰痛対策としての水中運動法の水として最適であることを示唆する。また、流速が、著しく遅い0.6m/sの場合でも姿勢を水平に保持させることが出来る。このようなことから海水を用いた腰痛予防のための水中運動法として著明な効果が期待できるものと考えられる。

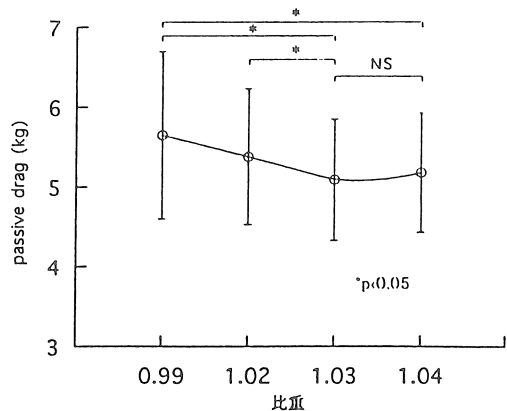


図2 流水プールにおける水の比重が及ぼすpassive dragの変化。流速1.4m/s



## 9548 海水を用いた腰痛予防対策の運動処方に係わる基礎的研究

助成研究者：小野寺 昇（川崎医療福祉大学 健康体育学科）

共同研究者：宮地 元彦（川崎医療福祉大学）

宮川 健（川崎医療福祉大学）

### 1. 研究目的

海水は、淡水に比較して泳ぎやすいといわれる。これは海水の浮力が淡水より大きいことによる。海水の浮力は海水に含まれる塩濃度に依存する。つまり、塩濃度を調整することにより意図した浮力を得ることができる。我々は、水の物理的特性である浮力を調整した水中運動法の開発を進めている<sup>21)</sup>。流水中にある生体が静止しているときに生体にかかる抵抗の大きさをpassive dragとよび、逆に泳いでいるときの抵抗を、active dragとよぶ<sup>20, 30)</sup>。特に今回は、基礎的資料を得るために塩濃度と流速を変化させたときのpassive dragと水泳姿勢について流水プールを用いて検討した。

淡水における流速と抵抗の測定結果から伸張伏臥位姿勢が最も抵抗が低いと考えられる<sup>12, 13)</sup>。異なる泳法のエネルギー代謝効率の違いは、水の抵抗の大小に依存すると考えられる<sup>8)</sup>。どの泳法においても浮くためのエネルギーを必要とする。おおむね、全エネルギーの30%前後と推測される<sup>3, 10, 21)</sup>。腰痛予防のための水中運動法ではこれらの要因について最も適切な環境を選ぶために塩水を用い、淡水と比較した。

淡水を用いたプールにおいて腰痛対策の水中運動を実施する場合、頭部の位置について最も注意を払って指導すべきである<sup>17)</sup>。このことは、頭部の位置によって体幹や下腿の姿勢が著しく変化することを示す。つまり、誤って腰痛を促進させる可能性が残る。塩濃度を調整した水においては体全体を一様に浮かせることができるので腹筋・背筋が低下しているような腰痛予備群にとっては最適の環境である。

塩濃度を高めるためにNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を用いる。Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>水溶液は生体に悪影響を及ぼすことなく、安全であることを確認している<sup>21)</sup>。水の比重は、塩濃度が高くなると大きくなる。Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>は、濃度を高めても水道水と同じ粘性であるため選択的に水の比重を調整できる。

これまで水の比重を変化させた水中運動プログラムは例がなく、海水や塩水を活用することでより安全な腰痛予防が可能となると考え基礎的資料の収集を行った。

### 2. 研究方法

#### 2.1 対象

健康成人男女13名（男子7・女子6）を被験者とした。被験者の平均年齢は、23.8歳±

6.8；身長及び体重の平均値は，169.0kg±8.9，63.6kg±10.0であった。体脂肪率，頭周囲，肩周囲，腰部周囲，体表面積の平均値は表1に示した。実験に先立ち被験者に本実験の主旨と内容を説明し，同意を得た。

## 2.2 測定方法

水の比重を意図した濃度に調整するために回流水槽（流水プール：Top Swimmer, YAMAHA)を用いた<sup>22)</sup>。水の比重は，Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を水道水に溶解し，0.99(水道水)，1.02，1.03，1.04とした。Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>が生体に安全であることはすでに確認済みである。流水速度は，0.6m/sから1.8m/sまで0.2m/s刻みとした。水温及び室温は30度とした。

passive dragは，回流水槽の前部中央に固定したストレンゲージ（LT50KF,Kyouwa, Japan)で受け，ひずみ増幅器（DSA-4124，ミネビア（株））で増幅し，記録器（RJG-4124，日本光電）によって記録した。

被験者は，水中眼鏡とシュノーケルをつけ，回流水槽に入った。ストレンゲージから一つの滑車を通して方向を変え延長したスチールワイヤー端のグリップを握み，伸張伏臥姿勢をとった。頭部は，front crawl時の位置とした。被験者は，この姿勢を流速が0.6m/sから1.8m/sに至る間保持した。図1にpassive dragの測定風景を示した。

ストレンゲージは測定前，後で，2.5kg，5kg，10kgの重さを負荷し，測定値を同定した。

体脂肪率は，水中体重計を用いて測定した。水温35℃～36℃の水槽に入り，最大呼息位を保ちながら数秒間潜水した。その時体重をストレンゲージで捉え，水中体重を求めた。残気量は肺機能測定装置（CHESTAC-11B，チェスト社）を用い，ヘリウム希釈法によって求めた。腸内ガスを0とし，アルキメデスの原理に基づき体密度を算出し，Brozekの式に代入し，体脂肪率とした。

回流水槽の真横から16mm高速度ビデオカメラ（HSV400，NAC社）を用いて撮影し，姿勢の変化を求めた。各被験者の肩峰点，転子点，脛骨点，外果点の4点に蛍光性マーカーを付着した。肩峰点と転子点で結ぶ角度を体幹角度，転子点と脛骨点を結ぶ角度を大腿角度，そして脛骨点と外果点を結ぶ角度を下腿角度として表し，姿勢変化の指標とした。

全ての得られた測定値は，対応のあるT検定によって，5%以下の危険率を有意な差とした。

## 3 研究結果

### 3-1

海水を活用し，腰痛予防の水中運動法を開発するための基礎的資料としてpassive dragを測定した。図2に異なる4つの比重によるpassive dragの変化を示した。代表的な資料として流速1.4m/s時のpassive drag変化を示した。水の比重0.99は水道水であり，その時のpassive dragの平均値は5.7kg±1.1であった。水の比重が増すに従ってpassive dragの平均値は減少した。いずれも水道水に比較し，有意に低い値であった。このことは水の比重

が増すに従って、生体に前方からかかる抵抗が少なくなったことを示す。つまり海水では passive dragが真水より小さいことを示唆する。また、水の比重1.03と1.04の間には、有意な差はなかった。このことは水の比重が増加してもある点からは、passive dragが減少しないことを示唆する。

図には示さなかったが、流速0.6m/sでは、水の比重0.99と1.04のpassive dragに差はなかった。(0.99; 1.8kg, 1.04; 1.6kg)。同様に流速1.8m/sでは水の比重0.99と1.04のpassive dragに差はなかった(0.99; 1.7kg, 1.04; 1.7kg)。これらのことは流速が遅い場合水の前方からの抵抗は、水の比重の違いによっても変化しないことを示す。流速が速い場合も同様であることを示す。つまり流速が著しく遅い場合と著しく速い場合には、水の比重が変化してもエネルギー代謝量に対してpassive dragの影響が少ないことを示唆する。

### 3-2 姿勢の変化

水泳を腰痛予防や腰痛対策としての運動療法の1つと位置づけて実践する場合、水泳姿勢の変化は安全確保と効果の観点から重要課題である。16mm高速度ビデオカメラで得られた姿勢変化を3つの角度から分析した。

肩峰点と転子点を結ぶ直線と水平とのなす角度を体幹角度として、図3に示した。体幹角度は水の比重が大きくなるに従って有意に小さくなった。いずれの流速においてもこの傾向は同じであった。水道水においては流速が1.4m/s以上になると、比重の大きいときの体幹角度変化と有意な差はなかった。流速0.6m/sから1.2m/sまでは、比重が大きい水の方が体幹角度は有意に小さい。このことは海水のような比重の大きい水では、流速が遅い範囲において特に体幹を浮かせやすいことを示す。体幹を水平姿勢に保持できることは腰痛予防の水中運動法に著しく貢献する。

転子点と脛骨点を結ぶ直線と水平をなす角度を大腿角度としその変化を図4に示した。大腿角度は、水の比重が大きくなるに従って有意に小さくなった。いずれの流速においてもこの傾向は同じであった。1.8m/sではいずれの比重においても、ほぼ水平に近づいた。流速が著しく遅い0.6m/sでは、水の比重が小さいほど大腿角度が有意に大きかった。特に比重1.03, 1.04ではほぼ水平に近い姿勢をとった。この2つの比重では流速が0.8m/s以上になると転子点を通る水平面よりも上になった。このことは、流速が遅い場合に比重の違いが大きく影響を及ぼすことを示す。従って、ゆっくり泳ぐような設定では海水の方が、腰痛対策としての水中運動法の水として優れていることを示唆する。

脛骨点と外果点を結ぶ直線と水平のなす角度を下腿角度とした。水の比重が大きくなるに従って、いずれの流速においても下腿角度は有意に小さくなり、マイナス方向に傾いた。このことは、膝から遠位の部分が屈曲していることを示すとともに著しく浮いていることを示す。下腿角度は他の2つの角度に比較し、マイナス方向への傾きが著しいことを示唆する。

#### 4 考察

海水を活用した腰痛予防のための水中運動法に関する基礎的資料を得るために回流水槽を用いて塩水での実験を行った。図2に示したように水の比重が高くなるにしたがってpassive dragは減少した。しかしながら水の比重1.03と1.04では有意な差を示さなかった。このことは生体が浮きすぎるとpassive dragは、むしろ大きくなることを示唆する。エネルギー代謝量の測定においても同様の変化が見られ<sup>21)</sup>、体脂肪との係わりが深いと考えられる<sup>3, 10)</sup>。つまり、体脂肪率が大きい人ほどその臨界点が水の比重の小さい方向に向かうことが予測できる。

passive dragのような抵抗は水と生体表面との摩擦と理解される。泳ぎという複雑な動きのために生じた流れが摩擦抵抗の原因と考えられている<sup>11)</sup>。泳ぎは水面近くを移動するため渦抵抗と造波抵抗が多くを占めると考えられる<sup>11)</sup>。頭部と肩周辺の前面造波抵抗は、進む方向の断面積に比例すると考えられる<sup>5)</sup>。比重の高い水では体幹と下肢が浮くために生体の受けるこれらの抵抗が少なくなると考えられる。このことから海水は、安全な水中運動法の一つとして適切な環境と考えられた。図3, 4, 5における体幹角度、大体角度そして下肢角度は、塩濃度調節による水中運動法の可能性が大きいことを示唆する。特に腰痛対策としての泳ぎでは著しく遅いスピードの運動処方が展開されるので合目的な方策であると考えられる。

泳ぎのスピードが増すと水の抵抗は大きくなり<sup>8)</sup>、エネルギー代謝量も増大する<sup>1, 2, 3, 4, 6, 7, 9, 14, 23)</sup>。泳ぎのうまさ水の抵抗の大小と係わりを持つと考えられる<sup>15, 16, 19)</sup>。競技選手の持つ技術や泳法との比較においても、水の中の動作は抵抗が小さくなるように姿勢を調節していることを示唆する<sup>8, 15, 24-30)</sup>。これらのことは、海水は泳ぎやすいという一般的な理解として把握されているが、浮力が大きい水では姿勢を調節しやすいと考えられる。このためにエネルギー効率のよい動きを習得しやすいものとする。

#### 5 今後の課題

海水を活用した腰痛予防対策のための基礎的資料収集を塩水を用いて実施した。海水の比重は、1.02から1.03の間にある。海水は、水中運動法の一つとして特に浮力を必要とする運動療法には最適の環境と考えられた。流れを付帯することができればさらに望ましいと考えられる。流れに対して逆らう方向ではなく、流れの方向に泳ぐことができる施設があればさらに安全性が高まると考えられる。今回の資料に基づいて実用化するためには水中メガネとシュノーケル等の水泳補助用具の改良が必要と考えられた。

#### 6 参考文献

- 1) Counsilman JE: Science of swimming. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1968.
- 2) Costill DL, Maglischo EW, Richardson AB. Handbook of Sports Medicine and

Science. Swimming. Oxford, blackwell Scientific Publications, p214, 1992.

3)Dobein W, Holmer I. Body composition, sinking force, and oxygen uptake of treading water. *J Appl Physiol*, 37:55-59, 1974.

4)DiPrampero PE, Pendergast DR, Rennie DW. Energetics of swimming in man. *J Appl Physiol*, 37: 1-5, 1974.

5)波田野勲, 波田野宏. 推進力と抵抗の要因. 水泳, 池田書店, 東京, pp23. 1990.

6)Holmer I. Physiology of swimming man. *Acta Scand Physiol (suppl)*, 1-55, 1974.

7)Holmer I. Oxygen uptake during swimming in men. *J Appl Physiol*, 33: 502-509, 1972.

8)Holmer I. Energy cost of arm stroke, leg kick and the whole stroke in competitive swimming style. *Eur J Appl Physiol*, 33:105-118, 1974.

9)Hollander AP, Troup JP, Barzdukas AP, Performance-related difference in the anaerobic contribution in the energy delivery in swimming (in preparation).

10)Ikegami H, Shigeeda T, Kuyama J, Nomura T, Kurokawa T, Goto S, Comparison of VO<sub>2</sub> for buoyancy and propulsion during swimming between males and females. *Jp J Physiol Educ*, 28:33-42, 1983.

11)池上康男. 水中運動の力学, 体育の科学. 34, 496-501, 1984.

12)石田忠彦. 水泳基本姿勢の流れにおける抵抗力の研究. 体育学研究, 3(1):30, 1958.

13)伊藤雅浩. 水中姿勢と水抵抗の関係. 水泳研究, 13(116):4-19, 1981.

14)Karvopovich P, Millman N. Energy expenditure in swimming. *Am J Physiol*, 33:502-509, 1972.

15)Keskinen KL, Measurement of technique in front crawl swimming. *Med Sci. in Aqua Spor*, 39:117-125, 1994.

16)McArdle D, Reilly T. Consequence of altering stroke parameters in front crawl swimming and its stimulation; in MacLaren D, Reilly T Lees(eds), Biomechanics and Medicine in Swimming, Swimming Sciences. VI. London, E& FN Spon, pp125-130, 1992.

17)宮下充正, 大月立志. 水の抵抗と体位. 宮下充正編, スポーツとスキル, 3版, 大修館書店, 東京, pp210-212, 1981.

18)宮下充正, 武藤芳照. 水泳運動の特性. 水泳両方の理論と実際. 金原出版, 東京, pp3-5, 1983.

19)宮畑虎彦, 高木公三郎, 小林一敏編. 水の抵抗. スポーツ科学講座8, スポーツとキネシオロジー, 29版, 大修館書店, 東京, pp304-306, 1987.

20)Nomura T, Goya T, Mastui A, Takagi H, Determination of active drag during swimming. *Med Sci, in Aqua Spor*, 39:137-142, 1995.

21)Onodera S, Miyachi M, Yano H, Nakamura Y, Kimura K, Effect of differences in

buoyancy of water on oxygen uptake and heart rate during swimming, *Med Sci. in Aqua Spor.* 39:126-130, 1991.

22) Onodera S, Miyachi M, Yonetani S, Kimura K. Distribution of the velocity of flowing fluid at the swimming flume. *Kawasaki Med Welfare J* 1:177-181, 1991.

23) Prampero P(ed). The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int J Sports Med*, 7:55-72, 1986.

24) Nomura T, Goya T, Matsui A, Takagi H. Determination of Active Drag Swimming. *Med Sci in Aqua. Sports*, 39:131-136, 1990.

25) Toussaint HM. Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 22:409-415, 1990.

26) Toussaint HM. Performance determining factors in front crawl swimming; in MacLaren D, Reilly T, Lees A (eds). *Biomechanics and Medicine in swimming. Swimming Science*, VI. London, E& FN Spon, pp13-32, 1992.

27) Toussaint HM, Hollander A. Energetics of competitive swimming. Implications for training programs, *Sports Med*, in press

28) Toussaint HM, Hollander A. Mechanics and energetics of front crawl swimming. *Med Sci in Aqua Sports*, 39:107-116, 1994.

29) Toussaint HM, Beek PJ. Biomechanics of competitive front crawl swimming, *Sports Med*, 13:8-24, 1992.

30) Toussaint HM, Knops W, Groot Gd, Hollander AP. The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc*, 22:402-408, 1990.

31) Ungerechts BE, Niklas A. Factors of active drag estimated by flume swimming. *Med Sci. in Aqua Spor*, 39:137-142, 1994.



表1 被験者の年齢、身長、体重、体脂肪率  
頭周囲、肩周囲、腰周囲、体表面積

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体脂肪率 (%)	頭周囲 (cm)
平均	23.8	169.0	63.6	15.1	56.6
標準偏差	±6.8	±8.9	±10.0	±3.7	±1.8
	肩周囲 (cm)	腰周囲 (cm)	体表面積 (m <sup>2</sup> )		
平均	92.3	91.9	1.75		
標準偏差	±7.1	±3.8	±0.18		

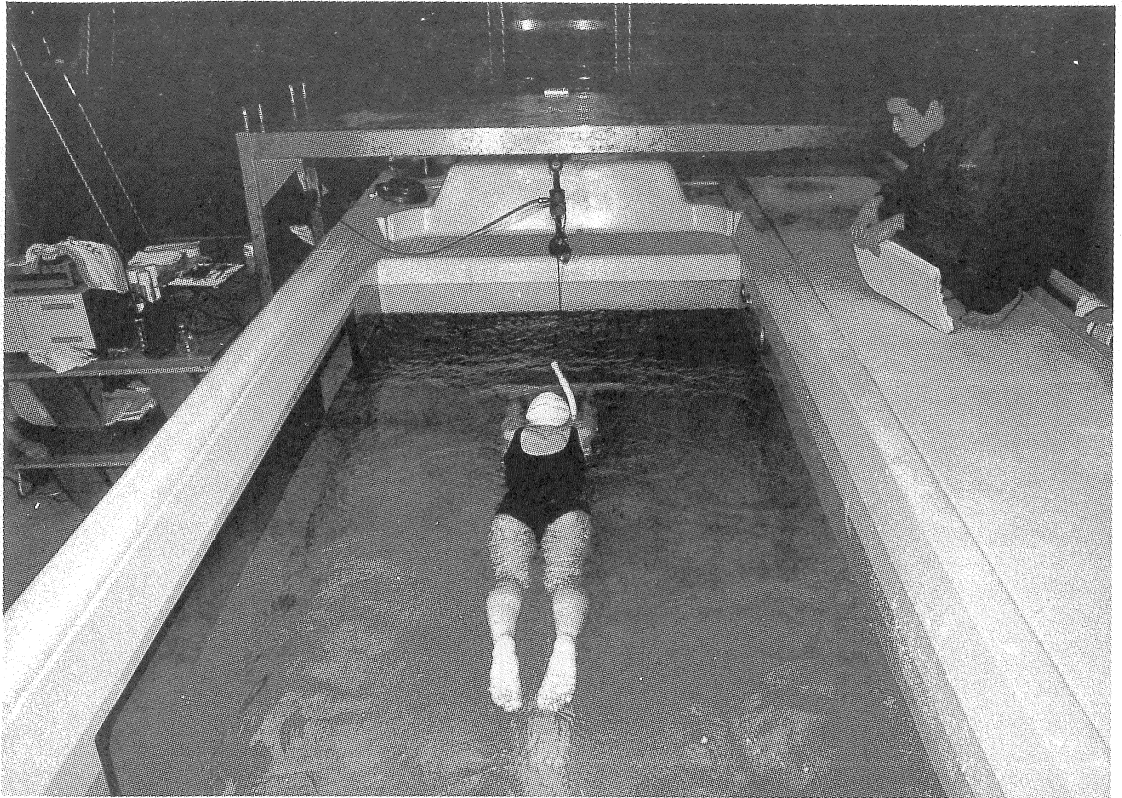


図1 海水を用いた流水プールでの  
passive drag の測定風景

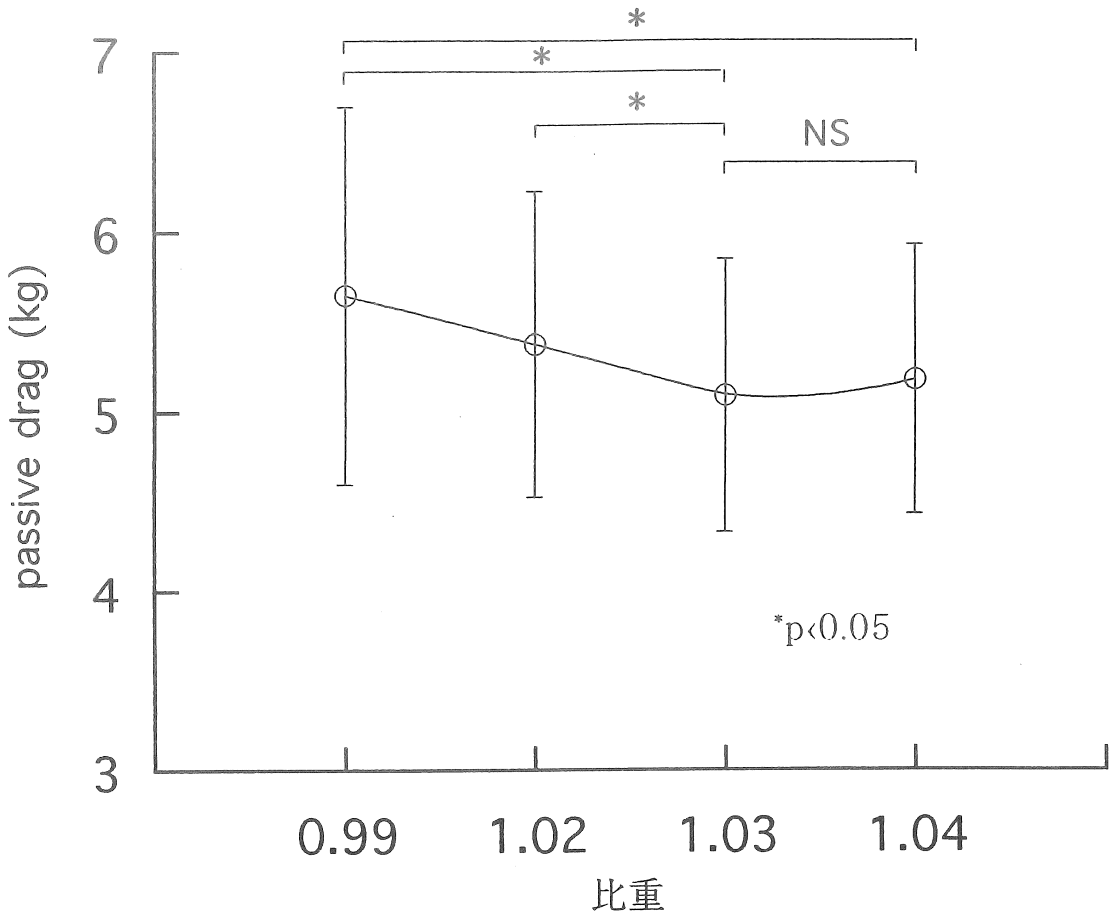


図2 流水プールにおける水の比重が及ぼす passive drag の変化 流速1.4m/s

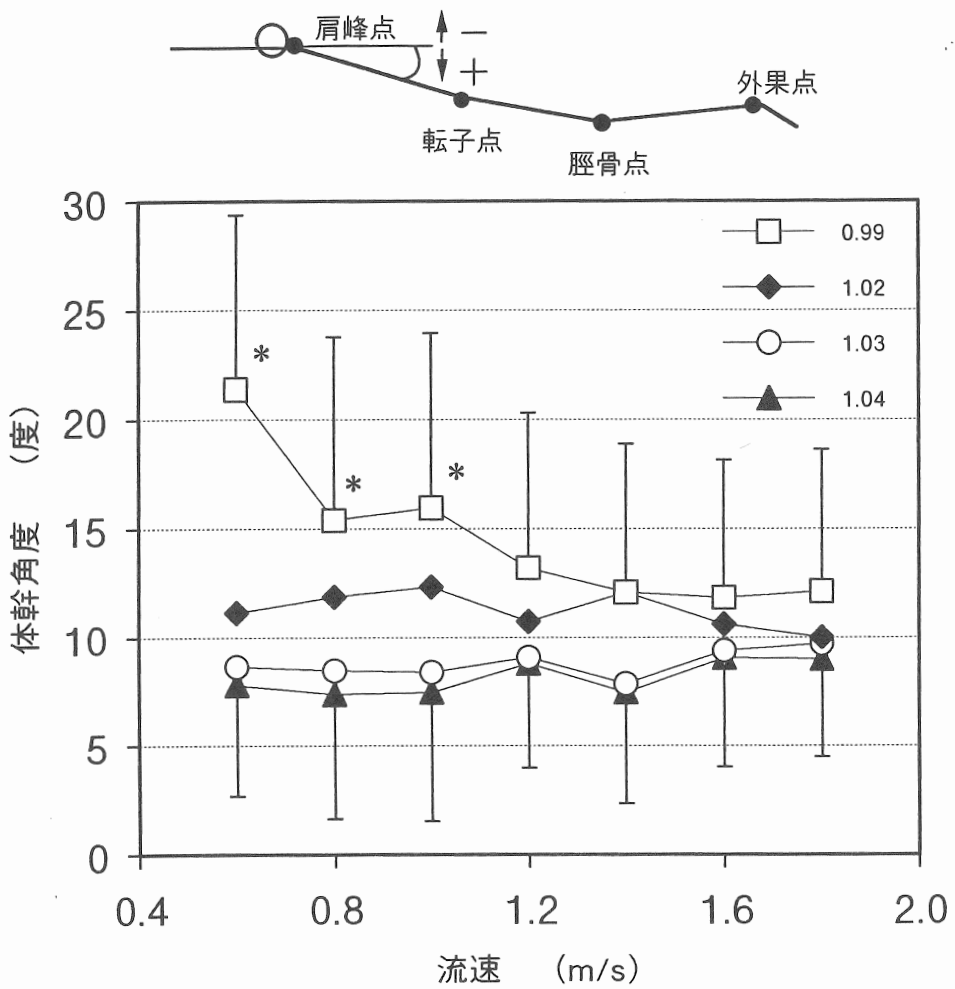


図3 流水プールにおける水の比重と流速が及ぼす体幹角度（肩峰点と転子点を結ぶ角度）の変化  
 有意差検定 (\* P < 0.05) ; 比重0.99と1.04群間で検定

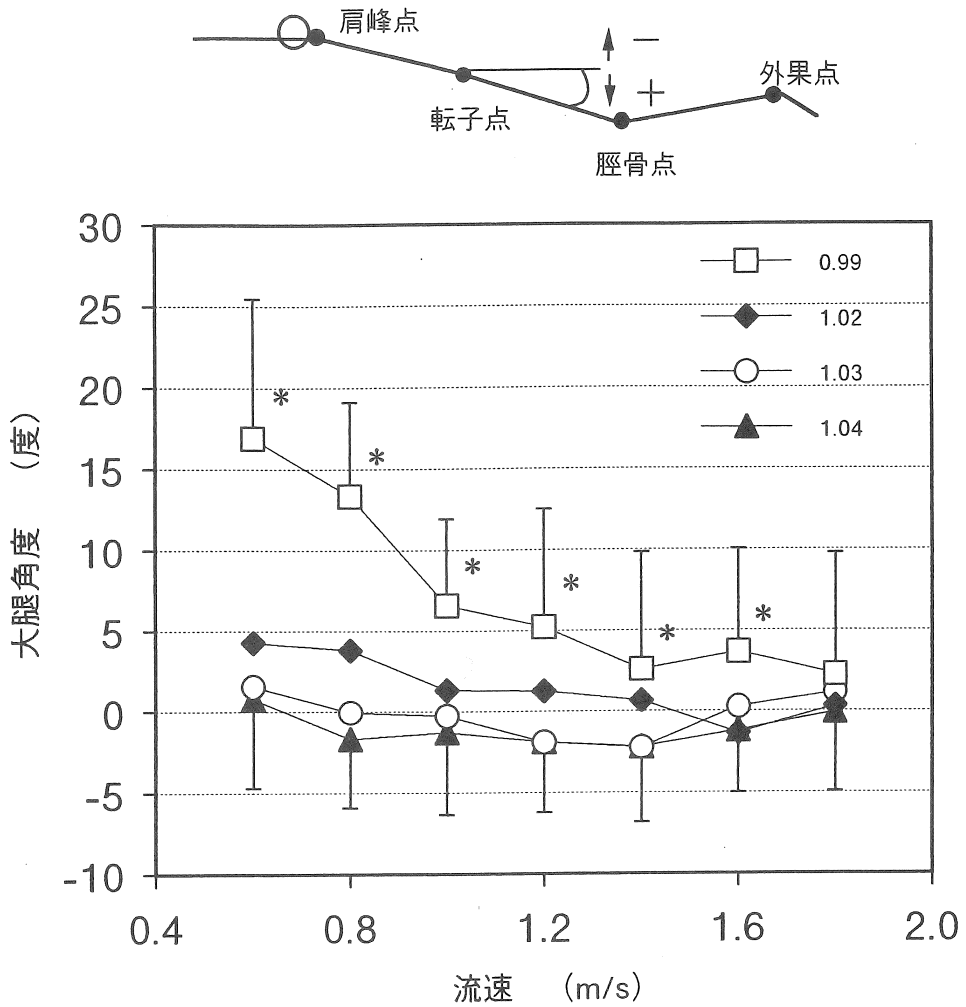


図4 流水プールにおける水の比重と流速が及ぼす大腿角度（転子点と脛骨点を結ぶ角度）の変化  
 有意差検定 (\* P < 0.05) ; 比重0.99と1.04群間で検定

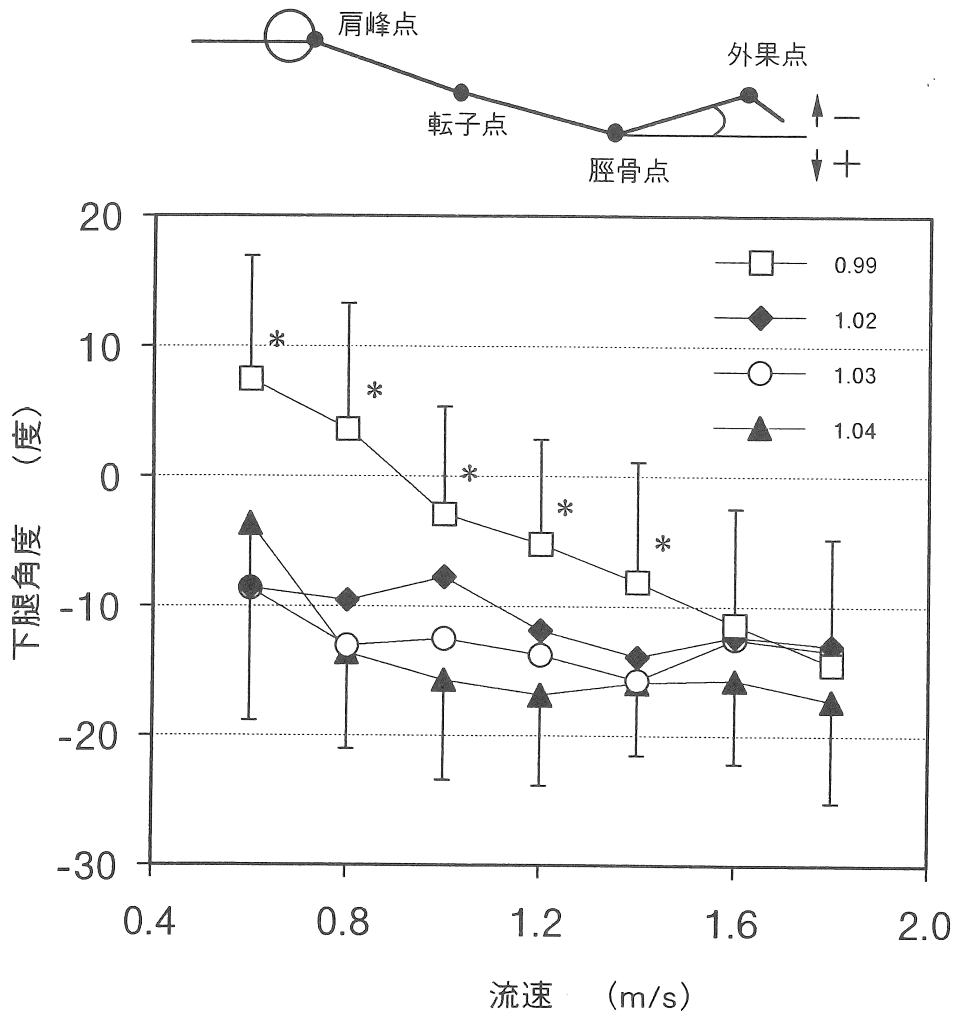


図5 流水プールにおける水の比重と流速が及ぼす下腿角度（脛骨点と外果点を結ぶ角度）の変化  
 有意差検定 (\* P < 0.05) ; 比重0.99と1.04群間で検定

## A fundamental research of health promotion of low back pain using a sea water.

Sho Onodera (Kawasaki university of medical welfare)  
Motohiko Miyachi (Kawasaki university of medical welfare)  
Ken Miyakawa (Kawasaki university of medical welfare)

### summary

**Purpose:** A swimming is easier in a sea water than normal water. A sea water has a high buoyancy. We have been studying the fundamental researches of aquatic exercises in a sea water regulating a specific gravity as good condition of physical activity. We investigated the passive drag of swimming in the swimming flume to be a new aquatic exercises of low back pain.

**Methods:** Seven males and six females were served as subjects (age:  $23.8 \pm 6.8$ , height:  $169.0\text{cm} \pm 8.9$ , weight:  $63.6\text{kg} \pm 10.0$ ; mean  $\pm$  SD). We used a swimming flume. Water and room temperature was  $30^{\circ}\text{C}$ . Buoyancy was regulated by  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  solution. Specific gravity of water was 0.99, 1.02, 1.03, 1.04. Passive drag was measured by strainage. Subjects gripped the handle connecting a end of steel line connected with strainage, and kept a prone position. Changes of position were recorded by high speed video camera by the side, and analyzed in fluorescent points stuck to acromion, greater trochanter, tibia, and lateral malleolus.

**Results and Discussion:** Figure shows changes of passive drag at flow velocity of 1.4m/s. The passive drag was significant decrease depending a increasing of specific gravity. This suggests the passive drag is decreased by the increase in buoyancy. However, these was no significant difference between 1.03 and 1.04. It suggests it does not decrease in passive drag depending a increasing of specific gravity bordering a critical point. Increasing a specific gravity of water, the position was changed to float a trunk, femur, and crus. At remarkable slow of floating in a normal water, position was changed in increase of a passive drag. However, in a  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  solution, a passive drag decreased at slow of floating. It suggests a water of high buoyancy, like a sea water, is good for aquatic exercises for preventing a low back pain. Furthermore, it is possible for body position to keep horizontally at slow of floating. We consider the aquatic exercises in a sea water is expected for remarkable effect as preventing a low back pain.