

原著

水中運動時のアクアソックス着用が心拍数、 酸素摂取量及びVASに及ぼす影響

小野寺昇*¹ 斎藤辰哉*² 和田拓真*³ 林聡太郎*² 土田泰聖*³
村田めぐみ*³ 高木祐介*⁴ 吉岡哲*⁵ 高原皓全*⁶ 白優覧*⁷ 宮川健*¹

要 約

水中歩行とサイドステップ時のアクアソックス着用の有効性を検証することを研究の目的にした。研究は、一定速度の水中歩行(150m)と生理的指標の関連性(実験Ⅰ)、任意速度の水中歩行(30分間)と生理的指標の関連性(実験Ⅱ)、一定反復リズムのサイドステップ(1分間)と生理及びバイオメカニクスの指標の関連性(実験Ⅲ)とした。健康成人男性を対象者にした(実験Ⅰ:12名,実験Ⅱ:7名,実験Ⅲ:7名)。対象者には、インフォームドコンセントを実施し、研究への参加意志を書面にて得た。裸足条件とアクアソックス条件を設定した。心拍数、酸素摂取量、VAS(動きやすさ)及び頭部移動距離を測定項目とした。全ての実験で両条件間の生理的指標に有意な差を認めなかった。全ての実験のVASに有意な差を認めた。頭部移動距離は、アクアソックス条件が裸足条件より少ない傾向であった。これらの結果は、アクアソックス着用が水中の歩行とサイドステップ時の運動負荷強度を高めることがないことを示している。結論としてアクアソックス着用は、過剰な生理的負担を生じさせることなく動きやすさが得られることを導いた。

1. はじめに

生体は、浸水時に水圧などの水の物理的特性の影響を受け、陸上とは異なる生理応答を示す^{1,3)}。水圧は静脈還流を促進させ^{1,4)}、浮力は負荷体重を軽減させる¹⁾。これらの水の物理的特性と生理的指標変化の関連性⁵⁾は、高齢者や低体力者の運動環境に相応しい条件を備えていることを示す¹⁾。

2010年の「スポーツライフに関する報告書」は、最も実施者の多い運動種目が男性、女性どちらも散歩であり、ウォーキングがそれに続く数であると述べている⁶⁾。ウォーキングに関しては、専用シューズの開発など用具的な安全性への対応も発展した^{7,8)}。また、同報告書は、水中歩行や水中運動を週1回以上行う女性が約160万人であることも報告している⁶⁾。温水プールの底面は、歩行を目的に設計されたものではない。そのため、滑り止め機能を持った水中歩行用のシューズが開発された⁹⁾。しかしながら、衛生的な不安から広く普及しなかった。近年

になって開発されたアクアエクササイズ用のアクアソックスは滑らない機能が評価され、普及しつつある。しかしながら、生理的指標に及ぼす影響などはほとんど明らかになっていない。

本研究は、新開発のアクアエクササイズ用ソックスの生理的指標に及ぼす影響を明らかにすることを目的に3つの実験を行った。

2. 方法

実験Ⅰから実験Ⅲまでの対象者の身体的特性を表1に示した。事前に実験の目的、方法を説明の上、実験参加についての本人の同意を書面で得た。

実験Ⅰ：歩行速度と心拍数、酸素摂取量及び主観的な歩きやすさの関連性

対象者は、温水プールで水中歩行(水温30℃、水位：腰位)を行った。測定条件は、裸足条件と滑り止め機能を有するアクアソックスを着用する条件(アクアソックス条件)とした。歩行速度は、1、

*1 川崎医療福祉大学 医療技術学部 健康体育学科 *2 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 健康科学専攻

*3 川崎医療福祉大学大学院 医療技術学研究科 健康体育学専攻 *4 帝塚山大学 全学教育開発センター

*5 香川大学 医学部 公衆衛生学教室 *6 人間総合科学大学 人間科学部 人間科学科 *7 広島 YMCA 専門学校

(連絡先) 小野寺昇 〒701-0193 倉敷市松島288 川崎医療福祉大学

E-mail: shote@mw.kawasaki-m.ac.jp

表 1 身体的特性

	実験 I	実験 II	実験 III	実験 III (頭部動揺)
対象者数 (名)	12	7	7	1
年齢 (歳)	22.0 ± 2.3	21.6 ± 2.5	24.0 ± 3.1	24
身長 (cm)	172.0 ± 6.6	172.4 ± 7.3	174.4 ± 9.2	169
体重 (kg)	67.0 ± 9.0	68.9 ± 4.6	72.2 ± 8.4	64

実験 I, 実験 II, 実験 III: mean ± SD

2, 3km/hとした。各歩行速度は、プールに沈めた台にビニールテープで2/3m 毎につけた印を踏ませることによって設定した。対象者は、計算式から算出した速さ (1km/h : 25bpm ; beats per minute, 2km/h : 50bpm, 3km/h : 75bpm) をメトロノームの音に合わせて印を踏みながら歩行した。両条件は、陸上にて5分の座位安静をとった後、温水プールに入水し、水中にて立位安静を2分間とった。続いて、各歩行速度 (1km/h → 2km/h → 3km/h) にてそれぞれ150m, 合計450m の水中歩行を行った。一歩行の後には十分な休息をとり、次の歩行を行った。測定項目は、心拍数、酸素摂取量及び主観的な歩きやすさとした。心拍数は、スポーツ心拍計 (POLAR RS400 ; POLAR 社製) を用い、運動直後の心拍数を測定した。酸素摂取量は、ダグラスバック法を用い各歩行速度運動中の呼気を採集した。質量分析装置 (ARCO-2000 ; ARCOSYSTEM 社製) を用いて採気したガスの酸素濃度及び二酸化炭素濃度を測定した。その後、乾式ガスメーター (DC-5A ; 品川製作所製) を用いてガス量及びガス温を測定した。得られた値から酸素摂取量を算出した¹⁰⁾。主観的な歩きやすさとして VAS (Visual Analogue Scale : 図 1) を用いた¹¹⁾。VAS は対象者本人が歩行終了後、100mm の線上 (左端 <0>「とても歩きにくかった」、右端 <100>「とても歩きやすかった」) に記入した。

実験 II : 自由歩行と心拍数、歩行距離及び主観的な歩きやすさの関連性

対象者は、水中歩行 (水温30℃, 水位: 腰位) を行った。測定条件は、実験 I と同様とした。歩行速度は任意とし、時間は30分とした。両条件は、陸上にて5分間の座位安静をとった後、プールに入水し、水中にて立位安静を2分間とった。続いて、水中歩行を行った。測定項目は、心拍数、歩行距離及び VAS とした。

実験 III : サイドステップ時のリズムと心拍数、酸素摂取量及び主観的な歩きやすさの関連性

対象者は、水中にてサイドステップ (水温30℃, 水位: 腰位) を行った。測定条件は、実験 I と同様とした。サイドステップの歩幅は、各対象者の肩幅とし、反復リズムは100, 120, 140, 160bpm とした。運動時間は1分間とした。両条件は、陸上にて5分間の座位安静をとった後、プールに入水し、水中にて立位安静を2分間とった。続いて、メトロノームの音に合わせて各リズムにてサイドステップを行った。測定項目は、心拍数、酸素摂取量、VAS (n=7) 及び頭部動揺 (n=1) とした。心拍数は、スポーツ心拍計 (POLAR RS400 ; POLAR 社製) を用い、運動直後に測定した。酸素摂取量は、ダグラスバック法を採用した。サイドステップ時は、各反復リズムでの1分間の呼気を採集した。うち1名は頭部動揺も合わせて測定した。反復リズムは100, 160bpm とした。対象者の頭頂部に反射マーカを貼付し、2台のデジタルカメラ HD ビデオカメラ (HDR-AS15/AS10 ; SONY 社製) をシンクロナイザ (PH-100A ; DKH 社製) を用いて同期させ、運動開始から終了まで撮影した。シャッター速度は自動調整 (1/30~1/10000sec), フレーム数は30コマ/sec とした。得られた動画から動作解析ソフトウェア (Frame-DIAS IV ; DKH 社製) を用いて頭頂部の3次元座標を抽出し、左右方向への頭部の動揺を数値化した。

統計処理

統計処理は、SPSS 12.0 for Windows を使用して行った。得られた数値 (VAS, 頭部動揺を除く) は、

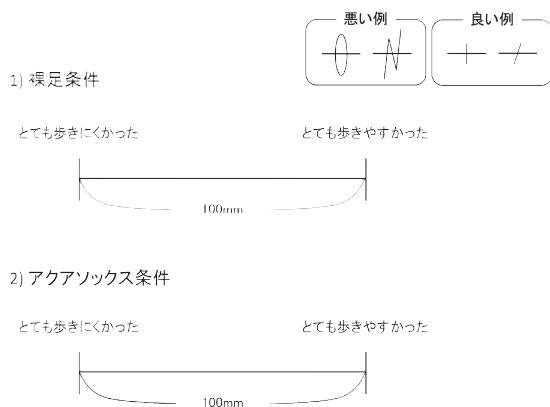


図 1 Visual Analogue Scale

平均値 ± 標準偏差で示した。実験 I，実験 II 及び実験 III における条件間の比較には，対応のある t 検定を用いた。VAS は中央値で示した。実験 I，実験 II 及び実験 III における VAS の比較には，Mann-Whitney の U 検定を用いた。統計学的な有意水準は，危険率 5% 未満 ($p < 0.05$) とした。

3. 結果

実験 I：歩行速度と心拍数，酸素摂取量及び主観的な歩きやすさの関連性

歩行速度 1km/h 時の心拍数は，裸足条件が 84 ± 15 bpm，アクアソックス条件が 83 ± 15 bpm，歩行速度 2km/h 時は，裸足条件が 103 ± 15 bpm，アクアソックス条件が 99 ± 11 bpm，歩行速度 3km/h 時は，裸足条件が 161 ± 11 bpm，アクアソックス条件が 160 ± 12 bpm であった。歩行速度 1km/h 時の対体重酸素摂取量は，裸足条件が 9.0 ± 1.8 ml/kg/min，アクアソックス条件が 9.1 ± 1.8 ml/kg/min，歩行速度 2km/h 時は，裸足条件が 15.2 ± 2.1 ml/kg/min，アクアソックス条件が 15.5 ± 3.7 ml/kg/min，歩行速度 3km/h 時は，裸足条件が 27.0 ± 1.8 ml/kg/min，アクアソックス条件が 29.1 ± 1.8 ml/kg/min であった。心拍数及び酸素摂取量は，条件間に有意な差はなかった。VAS については，アクアソックス条件の 80mm は，裸足条件の 46mm と比較して有意に高値を示した ($p < 0.05$)。

表 2 各歩行速度における心拍数 (a)，対体重酸素摂取量 (b) 及び VAS (c) の条件間比較 (実験 I)

a

歩行速度 \ 測定条件	裸足条件	アクアソックス条件
1km/h	84 ± 15	83 ± 15
2km/h	103 ± 15	99 ± 11
3km/h	161 ± 11	160 ± 12

bpm, mean ± SD

b

歩行速度 \ 測定条件	裸足条件	アクアソックス条件
1km/h	9.0 ± 1.8	9.1 ± 1.8
2km/h	15.2 ± 2.1	15.5 ± 3.7
3km/h	27.0 ± 1.8	29.1 ± 1.8

ml/kg/min, mean ± SD

c

測定項目 \ 測定条件	裸足条件	アクアソックス条件
VAS	46	80*

mm, median * $p < 0.05$

実験 II：自由歩行と心拍数，歩行距離及び主観的な歩きやすさの関連性

水中歩行後の心拍数は，裸足条件が 94 ± 19 bpm，アクアソックス条件が 93 ± 17 bpm であった。歩行距離は，裸足条件が 983 ± 103 m，水中ソックス着用条件が 1029 ± 186 m であった。歩行距離及び心拍数は，条件間に有意な差はなかった。VAS については，アクアソックス条件の 58mm は，裸足条件の 37mm と比較して有意に高値を示した ($p < 0.05$)。

表 3 自由歩行時における心拍数，歩行距離及び VAS の条件間比較 (実験 II)

	裸足条件	アクアソックス条件
心拍数 (bpm)	94 ± 19	93 ± 17
歩行距離 (m)	983 ± 103	1029 ± 186
VAS (mm)	37	58*

心拍数，歩行距離：mean ± SD
VAS：median * $p < 0.05$

実験 III：サイドステップ時のリズムと心拍数，酸素摂取量及び主観的な歩きやすさの関連性

反復リズム 100bpm 時の心拍数は，裸足条件が 98 ± 12 bpm，アクアソックス条件が 96 ± 13 bpm であった。反復リズム 120bpm 時は，裸足条件が 105 ± 12 bpm，アクアソックス条件が 104 ± 11 bpm であった。反復リズム 140bpm 時は，裸足条件が 113 ± 9 bpm，アクアソックス条件が 114 ± 14 bpm であった。反復リズム 160bpm 時は，裸足条件が 125 ± 11 bpm，アクアソックス条件が 123 ± 13 bpm であった。反復リズム 100bpm 時の対体重酸素摂取量は，裸足条件が 8.6 ± 1.1 ml/kg/min，アクアソックス条件が 9.3 ± 1.8 ml/kg/min であった。120bpm 時は，裸足条件が 9.7 ± 1.4 ml/kg/min，アクアソックス条件が 10.2 ± 1.9 ml/kg/min であった。140bpm 時は，裸足条件が 12.1 ± 1.5 ml/kg/min，アクアソックス条件が 11.4 ± 1.8 ml/kg/min であった。160bpm 時は，裸足条件が 14.0 ± 2.2 ml/kg/min，アクアソックス条件が 13.5 ± 2.8 ml/kg/min であった。心拍数及び対体重酸素摂取量は，条件間に有意な差はなかった。VAS については，アクアソックス条件の 66mm は，裸足条件の 36mm と比較して有意に高値を示した ($p < 0.05$)。反復リズム 100bpm 時の頭部動揺は，裸足条件が 373 ± 5 mm，アクアソックス条件が 264 ± 18 mm であった。反復リズム 160bpm 時は，裸足条件が 172 ± 11 mm，アクアソックス条件が 169 ± 5 mm であった。100bpm において条件間に有意な差を認めた ($p < 0.05$)。160bpm については条件間に有意な差はなかった。

表4 反復リズムにおける心拍数(a), 対体重酸素摂取量(b), VAS(c)及び頭部動揺(d)の条件間比較(実験Ⅲ)

a

反復リズム \ 測定条件	裸足条件	アクアソックス条件
100bpm	98 ± 12	96 ± 13
120bpm	105 ± 12	104 ± 11
140bpm	113 ± 9	114 ± 14
160bpm	125 ± 11	123 ± 13

bpm, mean ± SD

b

反復リズム \ 測定条件	裸足条件	アクアソックス条件
100bpm	8.6 ± 1.1	9.3 ± 1.8
120bpm	9.7 ± 1.4	10.2 ± 1.9
140bpm	12.1 ± 1.5	11.4 ± 1.8
160bpm	14.0 ± 2.2	13.5 ± 2.8

ml/kg/min, mean ± SD

c

測定項目 \ 測定条件	裸足条件	アクアソックス条件
VAS	36	66*

mm, median *p<0.05

d

反復リズム \ 測定条件	裸足条件	アクアソックス条件
100bpm	373 ± 5	264 ± 18*
160bpm	172 ± 11	169 ± 5

mm *p<0.05

4. 考察

アクアソックスは、滑らない機能を有するために次の動作を行いやすく、心拍数や酸素摂取量が減少し、生理的負担も小さくなるものと予測した。しかしながら、アクアソックス着用時の心拍数と酸素摂取量は、一定速度の歩行(実験Ⅰ)、自由歩行(実験Ⅱ)及び一定の反復リズムのサイドステップ(実験Ⅲ)において有意な差が観察されなかった。アクアソックス着用が水中歩行や水中でのサイドステップ運動時の生理的負担を増加させなかったことを示している。実践で用いられる水中歩行時の歩速は、実験Ⅰで設定した範囲内にあるため、今回使用したアクアソックス着用が先行研究に示された心拍数、酸素摂取量と歩速の関連性に一致するものと考えられる¹²⁾。

いずれのステップの速さにおいても、条件の違いにより心拍数や酸素摂取量に有意な差が観察されなかったことから、アクアソックス使用時にはキックしやすく動作が大きくなり、大腿部の屈曲角度が増加するものと考えられる。一方、裸足条件では滑り

やすいため身体のバランスを保つことに意識が集中し、動作が小さくなることも考えられた。

実験Ⅰ、実験Ⅱ及び実験Ⅲの全てにおいて、心拍数や酸素摂取量に有意な差が観察されなかった。しかしながら、VASは高値を示し、有意な差であった。一連の結果は、身体に過剰な負荷がかからず、動きやすさが向上したことを示している。動きやすさの向上は、心地よい動作や動きの範囲を改善させることになり、関節可動域の拡大や運動量の増加を促進することも示している。同時に、運動中及び運動終了後の充実感が向上し、運動の継続性の動機づけになるだろう。

実験Ⅲの動作解析結果から、アクアソックス着用時の頭部の移動距離は100bpmにおいて有意に少なかった。アクアソックスは、水中運動時、特に水中歩行時の滑り止め機能の優位性を高める補助具として考案された⁹⁾。滑り止めは、接点を持つ2つの面の摩擦抵抗の差によって決定される。プール底面に対してアクアソックス着用は、裸足よりも大きな摩擦抵抗を有する。VASにおける歩きやすさや動きやすさを促進させる要因になったと考える。本研究は、頭部動揺のみを調査したが、他の部位の動きを調べる機会が得られれば、さらにアクアソックスの有用性が実証できるだろう。

以上のことから、アクアソックス使用は水中歩行の継続的な実践につながり、ひいては高齢者や低体力者を含む年齢的にも体力的にも幅広い者への健康づくりに寄与できるものとする。

5. まとめ

アクアソックス着用時の水中歩行やサイドステップにおける生理的指標などの観察から、以下のことが明らかになった。

- ・全ての実験において、アクアソックス装着時のVASの値に有意な差を認めた。
 - ・一定速度、自由な速度での水中歩行及び一定反復リズムのサイドステップ時の生理的指標に有意な差は観察されなかった。
- アクアソックス着用は、水中運動時の生理的負担を増加させることなく歩きやすさと動きやすさが得られることが示唆された。

本研究は、課題題目「水中運動に関連する用具開発とその応用」、岡本株式会社との共同研究による。本研究において、利益相反は発生しない。

参 考 文 献

- 1) 小野寺昇：水中運動と健康増進. 体育の科学, 50(7), 510-516, 2000.
- 2) 小野寺昇, 宮地元彦：特集（水中運動の効果と臨床への応用）水中運動の臨床応用 フィットネス, 健康の維持・増進. 臨床スポーツ医学, 20(3), 289-295, 2003.
- 3) 小野寺昇, 吉岡哲, 西村一樹, 河野寛, 小野くみ子：特集（水中運動療法の考え方・進め方 安全で有効な実践のために）水中運動の基礎 水中運動時の循環動態. 臨床スポーツ医学, 27(8), 815-822, 2010.
- 4) 小峯力, 三木英之, 石毛勇介：水中ウォーキングにおける効果と期待. 臨床スポーツ医学, 19(4), 391-396, 2002.
- 5) SSF 笹川スポーツ財団：2010年版スポーツライフ・データ スポーツライフに関する調査報告書. SSF 笹川スポーツ財団, 東京, 2010.
- 6) 小野寺昇：医療技術分野における運動生理学の役割. 川崎医療福祉学会誌, 18増刊, 55-63, 2008.
- 7) 福岡正信：ウォーキングシューズの開発. 臨床スポーツ医学, 15(11), 1211-1216, 1998.
- 8) 西脇剛史：ウォーキングシューズの開発（特集 スポーツとシューズの科学）. 体育の科学, 54(12), 957-960, 2004.
- 9) 立川規子：水中運動補助器具とその使用法. 社団法人日本スイミングクラブ協会編, アクアフィットネス・アクアダンスインストラクター教本, 初版, 大修館書店, 東京, 234-237, 2008.
- 10) 山地啓司：最大酸素摂取量の科学. 改訂第2版, 杏林書院, 東京, 12-15, 2001.
- 11) 渡邊志, 安形将史, 秋田谷研人, 小川勇人, 松本有二, 富田雅史, 近藤優輝, 竹内諭右大, 森幸男：Visual Analog Scale による不快音聴取時の主観評価と心拍変動解析との相関. バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, 14(1), 19-26, 2012.
- 12) 星島葉子, 小野寺昇, 宮地元彦, 宮川健, 西村正広, 山元健太, 山口英峰：水中運動における曲の拍子が心拍数と酸素摂取量に及ぼす影響. 水泳水中運動科学, 3, 22-28, 2000.

Effects of the Aqua-sox on Heart rate, Oxygen Uptake and Visual Analogue Scale during Water Exercise

Sho ONODERA, Tatsuya SAITO, Takuma WADA, Sotaro HAYASHI,
Yasukiyo TSUCHIDA, Megumi MURATA, Yusuke TAKAGI, Akira YOSHIOKA,
Terumasa TAKAHARA, Wooram BAIK and Takeshi MIYAKAWA

(Accepted May 22, 2013)

Key words : aqua-sox, water exercise, heart rate, oxygen uptake, VAS

Abstract

The aim of this study was to verify the validity of new aqua-sox during walking and sidestep in water. This study was composed of three different experiments : in the walking (150m) at a fixed velocity (experiment I), walking at an unfixd velocity for thirty minutes (experiment II) and sidestep of a fixed rhythm for one minute (experiment III). Japanese healthy males voluntarily participated in this study (experiment I : n=12, experiment II : n=7, experiment III : n=7). All subjects signed informed consent forms prior to participation in this study. There were two conditions : the wearing of aqua-sox and not wearing them. Measurement items were heart rate, oxygen uptake, visual analogue scale (VAS) and the distance of head movement. There were no significant differences between two conditions in heart rate and oxygen uptake during the entire experiment. There were significant differences in VAS during the experiment and a developed tendency in the distance of head movement during side-step. These data showed that there was no increase in the physiological load during temporary exercise in water while wearing aqua-sox. However, the subjective index was statistically higher. Therefore, it could be considered that there is a reduction of the stress index during exercise in water continuously. In conclusion, it is suggested that wearing aqua-sox during exercise in water can improve mobility without increasing the excessive physiological responsibility.

Correspondence to : Sho ONODERA

Department of Health and Sports Science
Faculty of Health Science and Technology
Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-0193, Japan

E-mail : shote@mw.kawasaki-m.ac.jp

(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.23, No.1, 2013 69 – 74)