研　究

水中運動時の肩周辺部における筋組織血液酸素動態の変化

Changes in the intramuscular oxygen hemodynamics of the trapezius muscle during water exercises

須藤　明治

Akiharu SUDO

Abstract

Water pressure is known to increase venous return and decrease heart rate. The heart rate measured when standing up to the xiphoid process in water at a temperature of 36 ℃ is known to be almost the same as that measured when lying on one's back on land. Such a position in water helps to promote atrial natriuretic peptide secretion and control renin secretion. Furthermore, it also helps to control vasopressin secretion. Such a position promotes the regulatory action of the renin-angiotensin system, controlling angiotensin Ⅱ and aldosterone secretion. Blood pressure may fall as a result of an eventual decrease in total peripheral resistance. Therefore, this study examined the changes in the intramuscular oxygen hemodynamics of the right trapezius muscle during water exercises. Circulation in the right trapezius muscle was observed with a laser tissue blood-oxygen monitor (BOM-L1TR, OMEGAWAVE; Tokyo) in order to measure several indices (tissue oxygen saturation (StO_2) level, tissue total hemoglobin (HbT) level, tissue deoxygenated hemoglobin (HbD) level, and tissue oxygenated hemoglobin (HbO_2) level) and blood flow in the trapezius muscle. Subjects were 5 males. Measurements were made with the subject performing 1 of 10 water exercises in 4 positions. The first measurement was made with the subject standing on dry land before entering the water (PRE). Measurements were then made as subjects performed 5 water exercises in a standing position while immersed in water up to the xiphoid process (①−⑤) and 5 water exercises in a supine position on the surface of the water (⑥−⑩). Measurements were then made with the subject in a supine position on the surface of the water after water exercises (LYING POST), in a standing position immersed up to the xiphoid process after water exercises (STANDING POST), and once again standing on dry land after water exercises (POST). Circulation in the right trapezius muscle was observed with a laser tissue blood-oxygen monitor

国士舘大学体育学部（Faculty of Physical Education, Kokushikan University）

during water exercises with subjects in a standing position immersed in water up to the xiphoid process and in a supine position on the surface of the water.

Results indicated that the trapezius muscle had significantly greater blood flow during water exercises than when standing on dry land before entry into the water (PRE), and the StO_2 level during 5 water exercises in a supine position on the surface of the water (⑥−⑩) was significantly higher than when standing on dry land before entry into the water (PRE). The StO_2 level was calculated from the tissue oxygenated hemoglobin level/tissue total hemoglobin level. The StO_2 level appeared to increase due to the decrease in tissue deoxygenated hemoglobin. The tissue total hemoglobin appeared to increase due to the pressure of milking action to cause blood to flow during 5 water exercises in a supine position on the surface of the water, or water pressure may have increased venous reflux.

Water exercises in a supine position on the surface of water increase the blood flow volume in muscles around the shoulder.

Key words; water exercises, intramuscular oxygen hemodynamics, blood flow, shoulder.

1．はじめに

水圧による静脈帰還流の増大は、圧・伸展受容器により感受され、心房性Na利尿ペプチドの分泌が促進、腎の輸入細動脈からはレニン分泌が抑制、中枢神経系からはバゾプレッシンの分泌が抑制されることが知られている[2, 3, 10, 11, 16]。これらの水圧に適応しようとする反応は、特に、不感温度領域（35.5 ～ 36℃）・剣状突起水位での心拍数の著しい低下からも推察することができる[11]。静脈帰還流の増大により、腎臓では循環血漿量の低下を促すため尿量の増加及び尿中Na排泄の増加をもたらす[2, 3, 4, 7, 10, 11, 16]。また、レニン分泌の抑制作用は、強力な血管収縮作用を有するアンギオテンシンⅡや副腎皮質からのアルドステロンの分泌を抑制することが知られていることから、このような水中環境下では、抹消血管抵抗が低下しているものと推察される[16]。このような背景から、水中運動中の特に水から出ている部分の肩周辺部には、血液の環流が多いのではないかと思われる。しかし、これまでに、水中運動時の筋組織酸素動態及び皮膚血流量の影響を調べた事例は少ない。そこで、本研究では、水中運動時の肩周辺部における筋組織血液酸素動態及び血流量の変化を測定し比較検討した。

2．方　法

水温35.5℃、水位120cmのプール環境において、立位での水中運動５種類、仰臥位での水中運動５種類を実施した時の肩周辺部（僧帽筋）の筋組織血液酸素動態及び（皮膚）血流量を測定した。被験者は、男性５名（平均年齢52.4 ± 11.5歳）であった。被験者の身長、体重、血圧、安静時心拍数の計測を実施した（Table.1）。肩周辺部（僧帽筋）の筋組織血液酸素動態及び皮膚血流量の測定は、陸上での安静時の座位（以下、PRE）、立位での水中運動５種類（以下、①頚部及び上肢筋群のストレッチング；Exercies for upper limbs, neck region and around shoulders（;U-ST），②下肢筋群のストレッチング；Exercise of lower limb and lumbar region（;L-ST），③上肢・下肢同時伸展屈曲運動；Flexion & extension of upper and lower（;F&E），④腕振り子運動；Arm pendulum（;AP），⑤ア

Table.1　Physical characteristics of the subjects

(n=5)	
Age (years)	**52.4±11.5**
Height (cm)	**169.8±4.6**
Weight (kg)	**71.8±8.0**
Systolic Blood pressure (mmHg)	**146.0±7.8**
Diastolic Blood pressure (mmHg)	**94.8±8.0**
Heart Rate (beats/min)	**71.8±10.8**

Values are means and S.D.

ームカール；Arm curl（;AC））を連続して行い、更に連続して、仰臥位の姿勢で浮いた姿勢での水中運動５種類（以下、⑥自転車こぎ運動；Face upward bicycle（;UP-B），⑦スクワット；Face upward squat（;UP-Q），⑧脚開閉運動；Face upward shears（;UP-S），⑨クロスシザース；Face upward cross shears（;UP-CS），⑩バタ足；Face upward back flap（;UP-BF）を行い、水中浮遊での仰臥位での安静時（以下、LYING POST)、水中での運動後の回復時の立位（以下、STANDING POST)、陸上での運動後の回復時の座位（以下、POST）の計14ステージにおいて測定し比較検討した（Table.2)。

筋組織血液酸素動態の測定は、経皮的レーザー組織血液酸素モニターを用いて、右側肩周辺部の僧帽筋にセンサーを取り付け、組織内酸素飽和度（StO_2）と組織ヘモグロビン量（HbT)、組織脱酸素化ヘモグロビン量（HbD)、組織酸素化ヘモグロビン量（HbO_2）を測定した。また、皮膚血流量の測定は、経皮的レーザー組織血流計（FLO-CL，OMEGAWAVE）を用いて1秒毎に測定した。なお、レーザー組織血液酸素モニターは、送受光間距離30mm一定のセンサーを使用し、僧帽筋の筋組織の最も厚い部位の皮膚上に貼付け１秒ごとに測定した。そして、水中運動中の運動負荷測定は、呼気ガス代謝測定装置（K4b2）により測定した。レーザー組織血液酸素モニターの値は、同一姿勢・運動パターンにおいて後半30秒間の最も安定していた値の平均値とした。尚、各被験者には、インフォームドコンセントを実施し、実験の意義、内容、危険性を十分に説明した上で、実験参加の承諾を得た。結果の処理は、得られた各変数の値は特に記載のない場合を除き、平均値±標準偏差で示した。各変数の２条件間の平均値の差の検定には片側の対応のあるｔ検定を、また、対応のない２群間の差の検定の場合には対応のないｔ検定を用いた。統計処理の結果は危険率５％未満をもって有意とした。

３．結　果

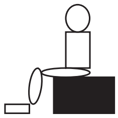
被験者の身体的特徴は、年齢52.4 ± 11.5歳、身長169.8 ± 4.6cm、体重71.8 ± 8.0kg、安静座位時の収縮期血圧146.0 ± 7.8mmHg、拡張期血圧94.8 ± 8.0mmHg、安静時心拍数71.8 ± 10.8拍／分であった（Table.1)。水中運動中の運動負荷は、ブレスバイブレス方式により呼気ガス代謝測定装置（K4b2）により測定し、立位での水中運動5種類と仰臥位の姿勢で浮いた姿勢での水中運動5種類（①～⑩）までを測定とした。その結果、30分間で平均112.5kcalの運動消費カロリーであった。本研究における水中運動中の運動負荷は、約3Metsであった。

水中運動時の肩周辺部の（皮膚）血流量は、PRE時1.58 ± 0.71Units（ml/min/100g；Unitsと以下略す)、①U-ST時4.42 ± 2.04Units（$P<0.01$)、②L-ST時5.52 ± 2.46Units（$P<0.05$)、③F&E時5.52 ± 2.85Units（$P<0.05$)、④AP時3.78 ± 1.63Units（$P<0.01$)、⑤AC時4.36 ± 2.06Units（$P<0.05$)、⑥UP-B時5.90 ± 1.46Units（$P<0.01$)、⑦UP-Q時6.40 ± 2.35Units（$P<0.01$)、⑧UP-S時5.30 ± 1.83Units（$P<0.01$)、⑨UP-CS時6.18 ± 2.47Units（$P<0.01$)、⑩UP-BF時6.40 ± 1.98Units（$P<0.01$)、LYING POST時5.35 ± 3.51Units（$P<0.05$)、STANDING POST時4.80 ± 2.99Units（$P<0.05$)、POST時2.30 ± 0.36Units（$P<0.01$）であった（Fig.1)。尚、統

Table.2-1 Water Exercise Pattern

PRE is in a sitting on the ground before into the water

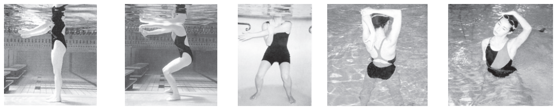
(PRE)



5 water exercises in standing position

① Exercise for upper limbs, neck region and around shoulders

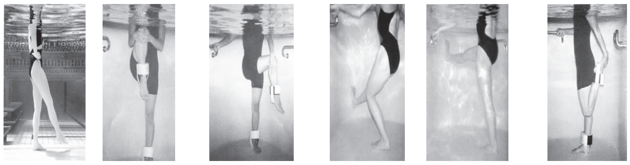
(U- ST) (10sec)



Arm list Flap　Forearms ST　Deltoid ST　Triceps ST　Neck ST

② Exercise of lower limb and lumbar region

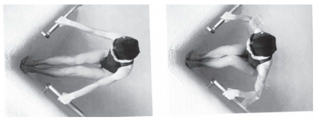
(L-ST) (10sec)



Leg list flap　Deep hip flexor ST　Standing oblique, tensor & Hip abductor St　Calf St　Hamstring St　Quadriceps St

③Flexion & extension of upper and lower

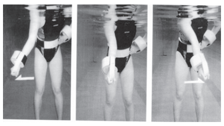
(F&E) (10times)



Flex and extend the legs stating with the hips bent at an angle of 90 degrees

④Arm pendulum

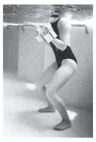
(AP) (L&R 10times)



Pivot the shoulders so that the hands can move a distance between 10cm and 15cm in a pendulum motion

⑤Arm curl

(AC) (L&R 10times)



Flex and extend the elbow joint

Table.2-2　Water Exercise Pattern

5 water exercises in lying supine position on the water

⑥Face upward bicycle

(UP-B) (30times)

Rotate the legs as if pedaling a bicycle

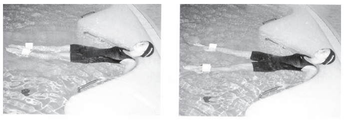
⑦ Face upward squat

(UP-Q) (30times)

Bend both knees at 90 degrees as if squat

⑧Face upward shears

(UP-S) (30times)



Open the legs and close as if shears

⑨Face upward cross shears

(UP-CS) (30times)

Cross the legs and then return to the start position.

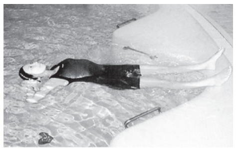
⑩Face upward back flap

(UP-BF) (30times)

Move up and down stretching the knees

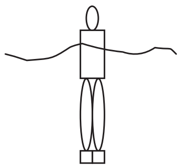
In lying supine position on the water after water exercises

(LYING POST)



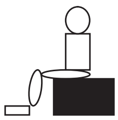
In standing position when subjects were immersed to the xiphoid process after water exercises

(STANDING POST)



In a standing on the ground after the water exerciess

(POST)



計上の処理は、PRE との有意差検定の結果を示した。以上のことから、立位時の水中運動において下肢のストレッチングをしている時（②L-ST）が、立位安静時（PRE）と比較して約3.5倍の高値を示していた。一方、上肢の筋運動をしている時（④AP、⑤AC）は、約2.3倍であった。また、仰臥位の姿勢で浮いた姿勢での水中運動では、スクワット動作（⑦UP-Q）時及びバタ足を行っている時（⑩UP-BF）が最も高値を示し、PREと比較して約4.1倍値を示した。

水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態におけるHbO_2は、PRE時12.88 ± 2.39（10000個/mm^3）（以下単位略す）、①U-ST時14.00 ± 1.65（P<0.05）、②L-ST時13.38 ± 1.75、③F&E時13.38 ± 1.75、④AP時13.08 ± 1.38、⑤AC時13.46 ± 1.51、⑥UP-B時13.56 ± 1.32、⑦UP-Q時13.92 ± 0.79、⑧UP-S時14.32 ± 0.96、⑨UP-CS時14.94 ± 1.13（P<0.05）、⑩UP-BF時15.42 ± 1.39、LYING POST時13.78 ± 1.88、STANDING POST時14.48 ± 1.51、POST時14.54 ± 1.36であった（Fig.2）。尚、

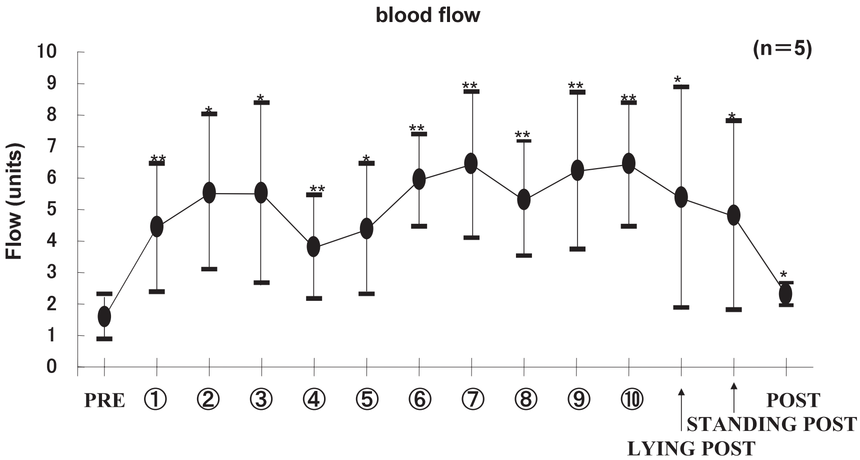


Fig.1 Changes in skin blood flow of the trapezius muscle in various patterns.（* ; p<0.05, ** ; p<0.01 VS on the PRE.）

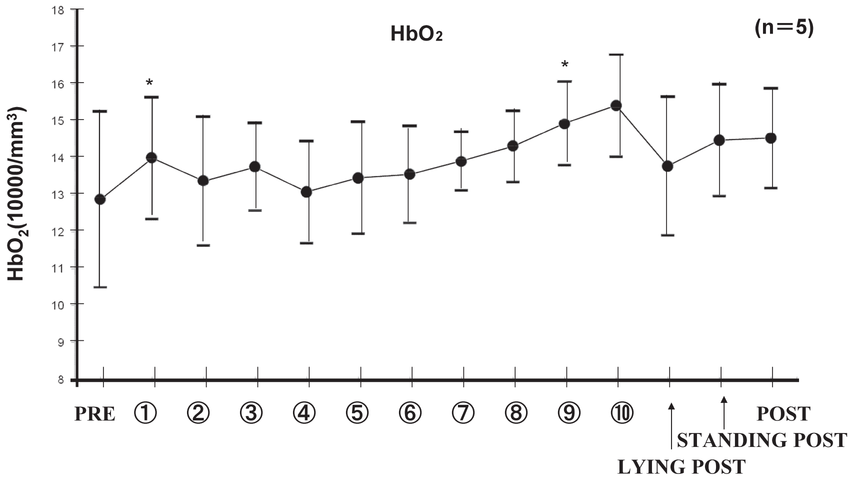


Fig.2 Changes of Oxygenated hemoglobin（HbO_2）levels in various patterns.（* ; p<0.05, ** ; p<0.01 VS on the PRE.）

統計上の処理は、PRE との有意差検定の結果を示した。以上のことから、立位時で上肢のストレッチングをしている時（①U-ST）と仰臥位の姿勢で浮いた姿勢でのクロスシザースの水中運動をしている時（⑨UP-CS）において、陸上座位安静時と統計上有意に高値を示した。傾向としては、立位時の水中運動より仰臥位で浮いた姿勢での下肢の水中運動時に高値を示していた。

水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態におけるHbDは、PRE時4.82 ± 1.28（10000個/mm^3）（以下単位略す）、①U-ST時4.76 ± 1.45、②L-ST時5.06 ± 1.64、③F&E時4.70 ± 1.41、④AP時4.82 ± 1.02、⑤AC時4.88 ± 0.90、⑥UP-B時4.32 ± 1.05（$P<0.05$）、⑦UP-Q時4.16 ± 0.95、⑧UP-S時4.50 ± 0.94、⑨UP-CS時4.26 ± 1.16、⑩UP-BF時4.60 ± 1.55、LYING POST時3.80 ± 1.27、STANDING POST時4.82 ± 1.88（$P<0.05$）、POST時5.74 ± 1.39（$P<0.05$）であった（Fig.3）。尚、統計上の処理は、PRE との有意差検定の結果を示した。以上のことから、仰臥位の姿勢で浮いた姿勢でのサイクルの水中運動をしている時（⑥UP-B）において、陸上座位安静時と統計上有意な差を認め低値を示した。また、水中運動終了後の水中立位時（STANDING POST）及び陸上立位回復時（POST）において運動前陸上安静立位（PRE）と比較して統計上有意に高値を示していた。傾向としては、立位時の水中運動ではHbDが高値を示し、仰臥位で浮いた姿勢での下肢の水中運動時には低値を示す傾向にあった。

水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態におけるHbTは、PRE時17.42 ± 3.98（10000個/mm^3）（以下単位略す）、①U-ST時18.76 ± 2.67、②L-ST時18.42 ± 2.93、③F&E時18.46 ± 2.34、④AP時17.90 ± 2.35、⑤AC時18.34 ± 2.22、⑥UP-B時17.88 ± 2.27、⑦UP-Q時18.08 ± 1.61、⑧UP-S時18.82 ± 1.80、⑨UP-CS時19.20 ± 2.10、⑩UP-BF時20.02 ± 2.89、LYING POST時17.58 ± 2.97、STANDING POST時19.30 ± 3.32、POST時20.28 ± 2.48（$P<0.05$）であった（Fig.4）。尚、統計上の処理は、PREとの有意差検定の結果を示した。以上のことから、水中運動中のヘモグロビンのトータル量は、運動前陸上安静座位時（PRE）よりも高い値を示す傾向にあった。特に、仰臥位の姿勢で浮いた姿勢でのバタ足（⑩UP-BF）を行っている時は、PREと比較して約16%も増加傾向にあった。また、水中運動終了時の陸上立位回復

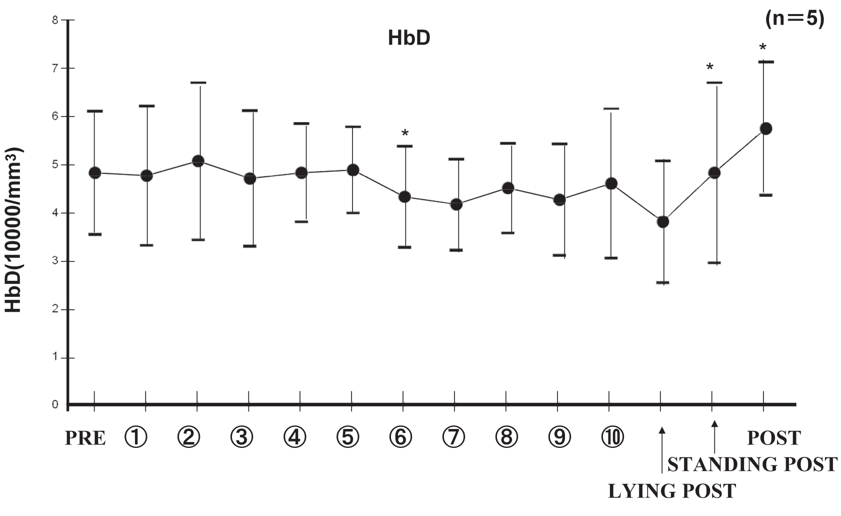


Fig.3　Changes of deoxygenated hemoglobin（HbD）levels in various patterns.

時（POST）では、運動前陸上安静座位時（PRE）よりも統計上有意に高値を示した。

水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態におけるStO_2は、PRE時73.13 ± 3.77（%）（以下単位略す）、①U-ST時77.10 ± 5.33（P<0.05）、②L-ST時81.66 ± 13.10、③F&E時76.41 ± 5.19（P<0.05）、④AP時73.94 ± 2.64、⑤AC時74.60 ± 2.73、⑥UP-B時77.01 ± 3.62、⑦UP-Q時77.78 ± 3.56（P<0.05）、⑧UP-S時78.30 ± 3.98（P<0.05）、⑨UP-CS時79.80 ± 4.25（P<0.01）、⑩UP-BF時78.83 ± 4.84（P<0.01）、LYING POST時78.81 ± 3.95（P<0.01）、STANDING POST時77.75 ± 5.01（P<0.05）、POST時73.04 ± 4.04であった（Fig.5）。尚、統計上の処理は、PREとの有意差検定の結果を示した。以上のことから、水中運動中のStO_2は、運動前陸上安静座位時（PRE）よりも高い値を示す傾向にあった。特に、下肢の水中運動を行っている時に、肩周辺部のStO_2は、高値を示すことが分かった。

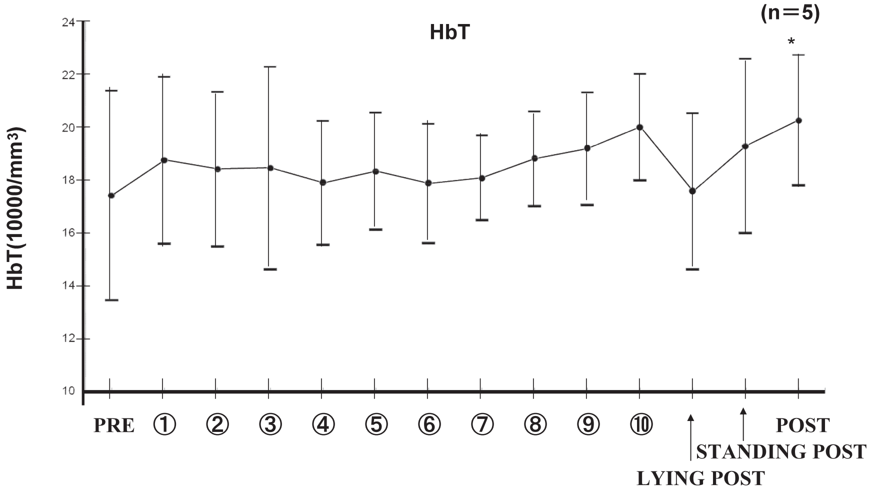


Fig.4 Changes of total hemoglobin（HbT）levels in various patterns.（* ; p<0.05, ** ; p<0.01, ns ; not significant）

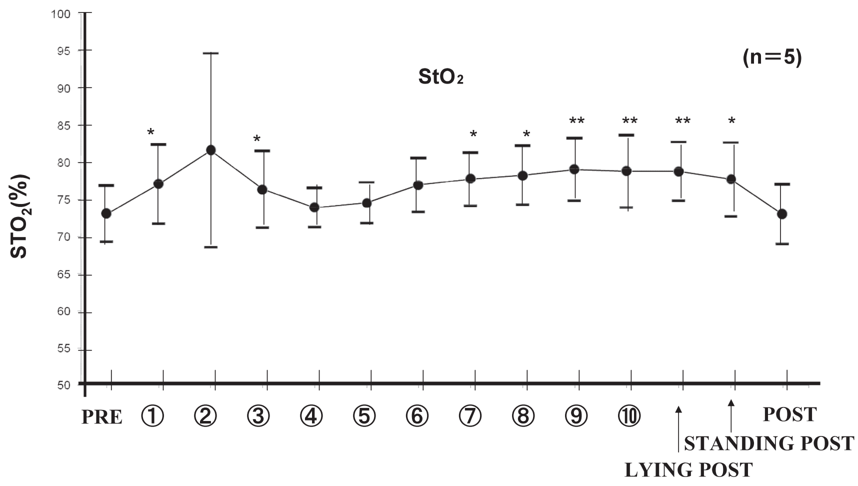


Fig.5 Changes of tissue oxygen saturation（StO_2）levels in various patterns.（* ; p<0.05, ** ; p<0.01, ns ; not significant）

３．考　察

近年、近赤外線分析技術の発達により、血流量および動静脈酸素較差の連続的な測定が可能となり、特に、ヘモグロビンの酸素－脱酸素化状態の変化に関する非侵襲的な測定技術が確立され、いくつかの実験の結果から安定した数値が得られるようになってきた[8, 9]。特に、本研究におけるレーザー組織血液酸素モニターから得られたHbDの値は筋組織の静脈血流量を、HbO_2の値は筋組織の酸素消費量を表す指標とされている[18, 20]。そして、HbDとHbO_2をたしたものがHbTとして表され、センサー部位の筋組織の血液量を表す指標とされている。StO_2は、HbO_2／HbTで算出され、筋の組織の酸素飽和の状態を表す指数とされている。また、これまで、ヒトを浸水させた場合、各被検者の身長を考慮せずに水位を一定にしたり、各被検者の浸水に及ぼす個々の生理反応時間の違いではなく、測定時期を一定にする傾向が見られ、心拍数や血圧値の変動について統一した結果が少なかった[5, 6, 13, 14]。そこで、本研究では、各条件におけるデータの読み取りを30秒間の心拍数の安定（±1）を目安に行った。

本研究における水中運動の運動負荷は、30分間で平均112.5kcalの運動消費カロリーであり、約３Metsに相当した。この運動負荷は、平地を約70m/分で歩行する運動強度であった。

水中運動時の肩周辺部の（皮膚）血流量は、立位時の水中運動において下肢のストレッチングをしている時（②L-ST）が、立位安静時（PRE）と比較して約3.5倍の高値を示していた。一方、上肢の筋運動をしている時（④AP、⑤AC）は、約2.3倍であった。また、仰臥位の姿勢で浮いた姿勢での水中運動では、スクワット動作（⑦UP-Q）時及びバタ足を行っている時（⑩UP-BF）が最も高値を示し、PREと比較して約4.1倍値を示していた。これらの結果は、水中立位での下肢のストレッチングは、水から出ている肩周辺部に血液を多く集めるのではないかと推察された。また、浮いている姿勢で下肢の筋活動を行うことで、肩周辺部に血液が集まっていることを示しているのではないかと考えることができた。

次に、水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態におけるHbO_2は、立位時で上肢のストレッチングをしている時（①U-ST）と仰臥位の姿勢で浮いた姿勢でのクロスシザースの水中運動をしている時（⑨UP-CS）において、陸上座位安静時と統計上有意に高値を示した。傾向としては、立位時の水中運動より仰臥位で浮いた姿勢での下肢の水中運動時に高値を示していた。この結果は、平地を約70m/分で歩行する程度の運動強度であったこと、肩周辺筋を使用している運動ではなく下肢筋群を使用している運動であること、水圧が四肢にかかっていることなどが要因ではないかと考えられた。

そして、水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態におけるHbDは、仰臥位の姿勢で浮いた姿勢でのサイクルの水中運動をしている時（⑥UP-B）において、陸上座位安静時と統計上有意な差を認め低値を示した。また、水中運動終了後の水中立位時（STANDING POST）及び陸上立位回復時（POST）において運動前の陸上安静立位と比較して統計上有意に高値を示していた。傾向としては、立位時の水中運動ではHbDが高値を示し、仰臥位で浮いた姿勢での下肢の水中運動時には低値を示す傾向にあった。この結果は、水中立位時では、水圧がかかり肩周辺部に静脈の帰環流量が増大していると考えられる。また、仰臥位で浮いた姿勢での下肢の水中運動時にHbDが低値を示し、HbO_2は増加していることから、肩周辺部の血流循環の改善が認められているのではないかと考えられた。

そして、水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態におけるHbTは、運動前陸上安静座位時よりも高い値を示す傾向にあった。特に、仰臥位の姿勢で浮いた姿勢でのバタ足（⑩UP-BF）を行っている時は、PREと比較して約16%も増加傾向にあった。また、水中運動終了時の陸上立位回復

時（POST）では、運動前陸上安静座位時よりも統計上有意に高値を示していた。この結果は、肩周辺部の血流の増加を示しており、内容的には HbO_2 の増加がHbTの増加をもたらしていると考えられた。

最後に、水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態における StO_2 は、運動前陸上安静座位時よりも高い値を示す傾向にあった。特に、下肢の水中運動を行っている時に、肩周辺部の StO_2 は、高値を示すことが分かった。これらの結果は、下肢の運動によるり総血液動員量の増加、四肢への水圧による影響などにより、肩周辺部の HbO_2 の有意な増加が見られ、相対的に StO_2 値が高値を示したのではないかと考えられた。

以上のことから、本研究における StO_2 の変動は、HbTの少ない変化、HbO_2 の有意な増加によって高値を示していることがわかった。静脈血が還流し相対的に酸素の量が増えている状態であると思われる。この結果より、本研究における下肢の水中運動は、静脈血流の促進をもたらし、適度な有酸素性の運動強度であったことから、老廃物の除去及び細胞への新鮮な酸素を送り込む要因となり、肩周辺部の疲労回復・細胞の活性化にも寄与する可能性があるのではないかと推察された。

４．ま　と　め

水中での運動は、その水位の分だけ水圧がかかり、静脈の帰環流が増大することが報告されている。特に、体幹の血流量の増大が認められているが、これまでに水中運動時の肩周辺部の筋組織酸素動態及び皮膚血流量の影響を調べた事例は少ない。そこで、本研究では、水中運動時の肩周辺部における筋組織血液酸素動態及び皮膚血流量の変化を測定し比較検討した。結果は、以下の通りであった。

１）被験者の身体的特徴は、年齢52.4 ± 11.5歳、身長169.8 ± 4.6cm、体重71.8 ± 8.0kg、安静座位時の収縮期血圧146.0 ± 7.8mmHg、拡張期血圧94.8 ± 8.0mmHg、安静時心拍数71.8 ± 10.8拍/分でった。水中運動中の運動負荷は、30分間で平均112.5kcalの約３Metsに相当していた。

２）水中運動時の肩周辺部の皮膚血流量は、立位時の水中運動において下肢のストレッチングをしている時（②L-ST）が、立位安静時（PRE）と比較して約3.5倍の高値を示した。一方、上肢の筋運動をしている時（④AP、⑤AC）は、約2.3倍であった。また、仰臥位の姿勢で浮いた姿勢での水中運動では、スクワット動作（⑦UP-Q）時及びバタ足を行っている時（⑩UP-BF）が最も高値を示し、PREと比較して約4.1倍値を示した。

３）水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態における HbO_2 は、立位時で上肢のストレッチングをしている時（①U-ST）と仰臥位の姿勢で浮いた姿勢でのクロスシザースの水中運動をしている時（⑨UP-CS）において、陸上座位安静時と統計上有意に高値を示した。傾向としては、立位時の水中運動より仰臥位で浮いた姿勢での下肢の水中運動時に高値を示した。

４）水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態におけるHbDは、仰臥位の姿勢で浮いた姿勢でのサイクルの水中運動をしている時（⑥UP-B）において、陸上座位安静時と統計上有意な差を認め低値を示した。また、水中運動終了後の水中立位時（STANDING POST）及び陸上立位回復時（POST）において運動前の陸上安静立位と比較して統計上有意に高値を示した。傾向としては、立位時の水中運動ではHbDが高値を示し、仰臥位で浮いた姿勢での下肢の水中運動時には低値を示す傾向にあった。

５）水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態におけるHbTは、運動前陸上安静座位時よりも高い値を示す傾向にあった。特に、仰臥位の姿勢で浮いた姿勢でのバタ足（⑩UP-BF）

を行っている時は、PREと比較して約16%も増加傾向にあった。また、水中運動終了時の陸上立位回復時（POST）では、運動前陸上安静座位時よりも統計上有意に高値を示していた。

6）水中運動時の肩周辺部の筋組織血液動態におけるStO_2は、運動前陸上安静座位時よりも高い値を示す傾向にあった。特に、下肢の水中運動を行っている時に、肩周辺部のStO_2は、高値を示すことが分かった。

以上の結果より、水中運動時の肩周辺部における筋組織血液酸素動態及び皮膚血流量の変化は、陸上立位より血流量の増加、StO_2の有意な増加が観察された。特に、下肢の水中運動時には、肩周辺部に血流促進効果が認められた。

謝　辞

稿を終えるにあたり、実験を補助していただいた（有）アプライドオーフィス、（株）オメガウェーブの皆様方に感謝いたします。

文献

1）赤滝久美，三田勝巳，伊藤普彦，鈴木伸治；下半身陰圧負荷法による循環調節機能の評価，応用電子と生体工学，30.1，14-21，（1992）
2）Anderson, J. V., Millar, N. D., O'hare, J. P., Mackenzie, J. C., Corrall, R. J. M. and Bloom, S. R. ; Atrial natriuretic peptide : Physiological release associate with natruiresis during water immersion in man, Clin. Sci, 71, 319-322,（1986）
3）Arborelius, M. JR., Ballding, U.I. , Lilja, B. and Lundgren, C.E.G. ; Hemodynamic changes in man during immersion with the head above water, Aerospace Med, 43,（6），592-598,（1972）
4）Cohen, R., Bell, W.H., Saltzman, H.A. and Kylstra, J.A. ; Alveolar arterial oxygen pressure difference in man immersed up to the neck in water, J. Appl. Physiol, 30, 720-723,（1971）
5）藤本繁夫，田中繁広，宮本忠吉，大島秀武，栗原直嗣；心拍数と血圧に及ぼす水圧の影響，デサントスポーツ科学，Vol 17，34-40，（1996）
6）藤沢宏幸，上村浩信，阿岸祐幸；水浸が等尺性運動時の血圧，心拍応答及び左室機能におよぼす影響，第48回日本体力医学会号，体力科学，42，6，795，（1993）
7）Hong, S. K., Ceretelli, P., Cruz, J.C. and Rahn, H. ; Mechanics of respiration during submersion in water, J. Appl. Physiol, 27,（4），535-538,（1969）
8）本間幸子，福岡義之，藤井宣晴，江田英雄，池上晴夫；近赤外分光法を用いた筋活動の循環動態の評価―自転車運動時の大腿活動筋について―，体力科学，41，586-594，（1992）
9）本間俊行，本間幸子，加賀谷淳子；膝伸展運動時にみられる協働筋間での酸素供給・消費バランスの相違，体力科学，47，525-534，（1998）
10）Krishna. G. G., Danovitch, G. M. and Sowers, J. R. ; Catecholamine responses to central volume expansion produced by head-out water immersion and saline infusion., J. Clin. Endocrinol. Metab, 56, 998-1002,（1983）
11）Larsen, A. S., Johansen, L.B., Stadeager, C., Warberg,J., Christensen, N. J. and Norsk, P. ; Volume-homeostatic mechanisms in humans during graded water immersion, J. Appl. Physiol, 77, 2832-2839,（1994）
12）L., B. Rowell : Human circulation-regulation during physical stress-, Oxford University press, New York, 137-173,（1986）
13）小野寺昇，宮地元彦，矢野博己；血圧からみた高年齢者の水中運動プログラムの安全性と妥当性，デサントスポーツ科学，Vol 17，53-61，（1996）
14）小野寺昇；水中運動と健康増進，体育の科学，50，510-516，（2000）
15）須藤明治，赤嶺卓哉，田口信教，酒匂　崇；腰痛に対し水中運動療法の及ぼす効果――般腰痛者とスポーツ選手腰痛者における調査より―，体力科学，41，386-392，（1992）
16）須藤明治；水中運動処方Ⅰ，文化書房博文社，25-51，（1999）
17）須藤明治，角田直也，八木良訓；高齢の腰痛患者に対する水中運動の効果，柔道整 復・接骨医学，9，13-18，（2000）
18）須藤明治，角田直也，田口信教；水中環境下での脚筋力トレーニングは筋血流制限下のトレーニングと言えるのか．デサントスポーツ科学，22，193-203，（2001）
19）須藤明治，角田直也，井尻成幸，八木良訓；高齢・低筋力者における水中運動の効果，国士舘大学体育研究所，21，65-73，（2003）
20）須藤明治，角田直也，高里久三，平良朝幸，大道敦，山木良訓；久米島海洋深層水を用いた浸水時の筋・循環動態に及ぼす影響，海洋深層水研究，Vol.4，No.1，11-18，（2003）
21）須藤明治，角田直也，田口信教，小宮節朗，井尻

成幸；高血圧者における水中浸漬時の水圧が筋組織血液動態に及ぼす影響について、デサントスポーツ科学，25，94-102，(2004)
22）須藤明治，赤崎房生，八木良訓，井尻幸成，小宮節朗，角田直也，渡辺　剛；浸水時の血圧に及ぼす水圧の影響，　国士舘大学体育研究所，22，51-58，(2004)
23）須藤明治，宇佐美彰朗，角田直也，渡辺　剛；生活習慣病を有する高齢者の運動効果～水中運動と陸上運動の検討～，国士舘大学体育研究所，23，51-58，(2005)
24）須藤明治；アクア・メディカル・サイエンス，環境工学社，(2005)
25）須藤明治，角田直也，渡辺　剛；水中運動後の陸上時の筋組織血液動態、国士舘大学体育研究所，24，(2006)
26）須藤明治，角田直也，渡辺　剛；アクアマッサージ中の筋組織血液動態の変化、国士舘大学体育研究所，25，(2007)
27）須藤明治，角田直也，渡辺　剛；海洋深層水を用いた水中運動の効果、国士舘大学体育研究所，26，(2008)
28）須藤明治，角田直也，渡辺　剛；運動後に行った足浴時の筋組織血液動態の変化、国士舘大学体育研究所，27，(2009)