

水中環境における身体の位置感覚に関する基礎的研究
～指導者とその享受者の動きに対する認識の差を埋めるために～

速水 達也

目 次

要約	1
はじめに	2
目的	3
方法	4
結果	9
考察	13
今後の課題・展望	16
まとめ	18
引用文献	18
助成期間中の業績	19
謝辞	19

水中環境における身体の位置感覚に関する基礎的研究
～指導者とその享受者の動きに対する認識の差を埋めるために～

速水 達也

要約

大学競泳選手に対する泳技術獲得における泳動作の指導は、指導者が運動者の泳ぎを観察し口頭による動作の伝達や陸上での動作の確認が主流である。水の密度は空気の約 800 倍と大きく、ヒトが水浸することによって身体は陸上環境と異なる影響を受ける。それには水の物理的影響による皮膚の感覚受容器や筋や関節における感覚受容器への影響が挙げられる。このような水中環境での運動時には運動者自身の運動感覚が陸上環境と異なることが容易に想像でき、これが指導者と運動者の間における泳動作に対する感覚の誤差を生み出している可能性がある。従って、陸上環境での動作と水中環境での動作がどの程度一致しているのかについて調査し、その差異についての知識を有することは、より効果的な泳法指導を行う上で重要である。本研究はヒトが水中環境において運動者自身の身体における関節位置覚をどの程度認識しているのかについて明らかにするために、肘関節の屈曲動作を用いた水中環境での肘関節の関節位置覚を調査した。そのため、本研究では先行研究では実施されていない同側の上肢における肘関節の関節位置覚に着目し、指定した角度への肘関節屈曲動作と、あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作を実施し、それぞれ陸上環境と水中環境で比較した。

対象者は日常的にトレーニングを行っている健康な大学男子競泳選手 14 名であった。実験 1 では、対象者は 30°、60°、90° の指定された角度までの肘関節屈曲動作を視覚および聴覚を遮断した状態で実施した。実験 2 では、対象者は 30°、60°、90° それぞれに設定された角度計を用いてあらかじめ角度を認識し、その直後にそれぞれの角度を再現する肘関節屈曲再現動作を実施した。実験 1 および実験 2 とともに、側方から撮影したビデオカメラを用いたデジタイズによる肘関節角度を算出し、さらに上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋活動を記録した。それぞれの測定項目に関して、実験 1 では絶対値を陸上環境と水中環境で比較し、実験 2 ではあらかじめ認識した際と再現した際の誤差を陸上環境と水中環境で比較した。

その結果、指定した角度への肘関節屈曲動作では、水中環境における肘関節屈曲角度は陸上環境と比較して有意に小さい値を示し、さらに肘関節屈曲時間の延長、上腕二頭筋の平均化筋活動の減少、上腕三頭筋の平均化筋活動の増加が認められた。また、あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作では、水中環境及び陸上環境における肘関節屈曲再現角度の誤差、肘関節屈曲再現時間の誤差、上腕二頭筋の平均化筋活動の誤差は同等であり、上腕三頭筋の平均化筋活動においては 30° の試技において水中環境が陸上環境と比較して高い値を示したが、その差はわずか 1%未満であった。

以上のことから、水中環境における肘関節屈曲角度は陸上環境と比較して過小評価することが明らかとなった。また、本研究の対象者となった大学男子競泳選手では水中環境における肘関節屈曲角度の過小評価は陸上と比較して約 10° であった。筋活動を比較した結果からは、水中環境では陸上環境と大きく異なる関節角度の調節戦略を用いている可能性が示唆された。また、水中環境および陸上環境ともに、それぞれの環境においてあらかじめ角度を認識させた場合にはほぼ同等の肘関節の屈曲角度を再現できることが明らかとなった。そして、水中環境および陸上環境ともに、それぞれの環境においてあらかじめ角度を認識させた場合には、約 5° の過大評価をもって肘関節の屈曲角度が再現された。これらのことから、運動者は指導者の助言に対して実際の水中での泳動作の際には比較的小さな動作を行っている可能性が高く、指導者はこのことを考慮に入れた泳動作の指導を実施することが望ましいと考えられた。また、水中環境において泳動作の指導を実施することで、運動者は忠実に泳動作を再現できる可能性が示唆された。

今後の課題として、対象者によって関節角度や筋活動の様子が一樣ではないため、個人の特性を考慮に入れた詳細な検討が必要であると考えられた。

● はじめに

野村ら (1986) は、水を用いた活動全般をアクアフィットネスと定義し、それには水中ウォーキングや水中筋力トレーニング、水中ストレッチなどを行う水中運動や、水や海水、さらには温泉水を用いた水治療、そして近代 4 泳法やシンクロナイズドスイミング、水球、ダイビングなどの競技スポーツで構成されるとした。これをもとに今日の水泳・水中運動のそれらは広く日本社会に普及し、水中運動、水治療、競技スポーツとして様々な形で実施されている (野村ら, 2005)。

これまで競泳競技をはじめ、水球競技、シンクロ競技、そして健康増進運動やリハビリテーションを目的とした水中ウォーキングなどの水中運動といった、水中環境での様々な競技種目や健康増進・リハビリテーション運動における泳動作やその他の動作における技術指導は、指導者が選手や運動実施者といった対象者の動作を直接的に観察し、その動作を口頭や模倣による動作の伝達や、陸上環境において動作を確認するといった方法が主流となっている。一般に泳動作を習得するためには、水中環境での上肢や下肢の動作を運動者自身が認識しなければならず、泳動作を習得するために幾度となく同じ動作の反復練習がおこなわれる。また、泳動作を指導する指導者は、与えられ、限られた時間内に運動者の泳動作を習得させなければならない。そこで、上肢や下肢など身体を部位ごとに分けたドリルワークといったものを泳指導の方法に盛り込むことでそれらに対応している。ドリルワークの目的は泳動作の修正と習得であり、また泳動作中の身体各部の位置を確認しながら行うための練習である。とくにスカーリング動作については上肢の関節位置覚を確認する方法としてウォーミングアップなどで盛んに取り入れられている (鈴木ら, 2006)。しかし、水中環境では密度が空気の約 800 倍も大きい水という液体が全身をつつみ込み、水中環境での動作に伴って身体が受ける抵抗力は、その動作速度の 2 乗に比例して大きくなっていく。さらに、水中環境に水浸した物体は重力とは反対方向に物体の体積に相当する水の重さ分の浮力という力を受ける。このように、ヒトが水浸することによって身体は陸上環境と異なる影響を受け、それらには水の抵抗力や浮力といった物理的影響による皮膚の感覚受容器や筋・腱の感覚受容器への影響が考えられる。小野寺ら (2005) は、水圧・浮力・水温が水泳のパフォーマンスに大きな影響を与えている可能性が高いと報告した。従って、このような陸上環境とは大きく異なる水中環境においては、ヒトの身体の関節位置覚は、水浸せず客観的に動作を観察して技術指導を行っている運動指導者の動作イメージとは大きくかけ離れたものである可能性が高い。水中環境での動作時には運動者自身の関節位置覚は陸上環境のそれと大きく異なることが容易に想像でき、これが運動指導者と運動実施者の間における泳動作に対する関節位置覚、さらには動作イメージの誤差を生み出していると考えられる (鈴木ら, 2006)。この誤差を修正し、泳動作をより理想とするものへと近づけていくためには、水中環境において運動者自身の身体がどの位置にあるかを運動者自身が認識する関節位置覚を向上させることが必要となるであろう。従って、陸上環境での動作と水中環境での動作がどの程度一致しているかについて調査し、その差異についての知識を得ておくことは、これまで以上に的確かつ効率的な泳動作の指導やその他の動作における技術指導を実施するためにも重要である。

ヒトの関節位置覚とは、生体が体幹や上肢、下肢の関節における屈曲もしくは伸展などの状態を感受し、その位置や動作を察知する感覚である。これは関節における感覚受容器であるパチニ小体やルフィニ終末、自由神経終末、また、筋肉や腱における感覚受容器である筋紡錘やゴルジ腱器官といった各深部感覚器官によってもたらされ、これらの深部感覚器官が受けた刺激が求心性線維を通り脊髄後角から中枢神経系へ伝達され脳内で処理・統合された結果である。またこれには皮膚からの感覚入力 (表在感覚) によ

る影響も受け、これらをも同時に処理・統合された結果である（森井ら, 2009）。ヒトの生体における関節位置覚を調査した研究は多く見受けられ、肘関節や肩関節、膝関節を用いたものなど様々であるが（森井ら, 2009; 鈴木ら, 2006; Bock et al., 1994; 杉原ら, 2004; Paschalis et al., 2009）、特に本研究で対象となる水中環境での運動では、競泳競技では上肢が特に重要視される部分である。これは、クロール、背泳ぎ、平泳ぎ、バタフライといった近代 4 泳法において、平泳ぎを除く 3 泳法においては上肢の動作によって発揮される推進力が下肢の動作によって発揮される推進力と比較して非常に多いと言われていることに由来する（Mosterd et al., 1964）。Deschodt et al. (1999) は、クロール泳における全体の推進力のうち約 7 割以上が上肢の動作によって発揮されていると報告した。そこで、本研究では水泳における泳法指導でも特に重要視される上肢について、先行研究でも用いられ最も単純な動作の一つと考えられる肘関節の屈曲動作を用いることとした。

肘関節を用いてヒトの関節位置覚を調査した先行研究は数多く見受けられるが（Soechting, 1982; Walsh et al., 2005; Brockett et al., 1997）、中でも水中環境における肘関節の関節位置覚を調査したものはわずかである。森井ら（2009）は、健康成人男女 10 名を対象に、座位による肩関節屈曲 0° 、肘関節屈曲 0° からの肘関節屈曲動作を、任意の位置に静止した右側の肘関節の角度に反対側である左側の肘関節の角度を合わせる試技を、陸上環境および水中環境で実施した。その結果、水中環境は陸上環境と比較して誤差が大きくなったと報告した。Bock et al. (1994) は、森井ら（2009）と同様の試技を実施し、水中環境では肘関節の屈曲角度が陸上環境と比較して過度に見積もられたと報告した。このように、陸上環境と比較して水中環境における肘関節の関節位置覚は大きく異なってくることが明らかとなっている。しかし、競泳競技における泳動作の習得には左右が同じような関節位置覚を持っていることよりも、指導者による泳動作の指導や運動者自身が保有する動作イメージとの誤差が課題であり、鈴木ら（2006）が実施したように、同側における関節位置覚が重要であると考えられる。鈴木ら（2006）は、水泳競技経験のある大学生男女 17 名を対象に、肩関節の 180° 外転位からの内転動作による角度再現試験を開眼および閉眼にて実施し、水中環境での誤差が陸上環境と比較して大きかったと報告した。鈴木ら（2006）は推進力が大部分を占める上肢の動作のうち（Mosterd et al., 1964; Deschodt et al., 1999）、肩関節に着目し、さらに 180° 外転位から内転動作を採用して実施したが、実際の水泳運動ではけのび姿勢を基本姿勢とし、そこからの肩関節の伸展動作や肘関節の屈曲動作が行われ泳動作が開始される。従って、本研究では肘関節の屈曲動作に着目し、指定した角度への肘関節屈曲動作と、あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作を実施し、それぞれ陸上環境と水中環境で肘関節屈曲角度を比較することとした。本研究を実施することで、水泳における泳技術習得を目的とした指導方法に関して新たな知見を得、より効果的な指導方法について提案できるものと考えられる。

● 目的

以上のことから、本研究ではヒトが水中環境において運動者自身の身体における関節位置覚をどの程度認識しているのかについて明らかにするために、肘関節の屈曲動作を用いた水中環境での肘関節の関節位置覚を調査することを目的とした。また本研究では先行研究では実施されていない同側の上肢における肘関節の関節位置覚に着目し、指定した角度への肘関節屈曲動作と、あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作を実施し、それぞれ陸上環境と水中環境で比較することとした。

● 方法

実験 1. 指定した角度への肘関節屈曲動作

a. 対象者

本実験における対象者は、健常な大学男子競泳選手 14 名であった。全対象者それぞれにおける年齢、身長、体重、体脂肪率、競泳歴、ベストタイムを 2010 年に発表された国際水泳連盟 (FINA) のポイントへ変換したものとそれらの平均値および標準偏差を表 1 に示す。全ての対象者は事前に本研究に関するインフォームドコンセントを受け、書面による参加の同意を得た。また、本研究は慶應義塾大学研究審査倫理委員会の承諾を得た上で実施した。

表 1. 対象者の特徴

Subject	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Fat (%)	Career (yr)	FINA'10 point of best swim time
a	21	177.0	73.5	13.5	17	846
b	21	176.5	71.0	10.0	18	837
c	22	179.0	74.5	13.0	17	848
d	21	178.0	75.0	11.0	18	628
e	22	168.0	64.5	13.0	18	644
f	18	174.0	70.0	11.5	15	698
g	20	173.1	72.9	12.0	14	632
h	18	169.0	71.0	14.0	15	713
i	20	171.0	62.5	11.0	14	758
j	22	175.5	68.9	10.0	19	822
k	21	171.0	66.0	12.0	18	798
l	20	171.0	69.0	12.0	17	701
m	21	173.4	67.0	9.0	17	597
n	21	172.0	62.5	9.5	16	573
Average	20.6	173.5	69.2	11.5	16.6	721.1
SD	1.2	3.2	4.0	1.5	1.5	93.9

SD: 標準偏差 (Standard deviation)

b. 実験試技

実験は筑波大学屋内プール内の実験用水槽にて行った。実験時の気温および水温は、それぞれ陸上環境設定時には気温 $25.9 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$ 、水中環境設定時には安静時中立水温付近の水温 (測定値 $33.7 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$)、気温 $26.3 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ であった。対象者は異なる日程において陸上環境および水中環境における実験を対象者ごとにランダムな順序にて実施した。それぞれの実験時、対象者は実験用水槽内にて座位安静姿勢として上半身は解剖学的肢位を基準に肩関節屈曲、肩関節外転、肩関節外旋、肘関節屈曲、

手関節掌屈それぞれ 0° の状態をとり、この姿勢を試技開始姿勢とした。対象者は試技開始姿勢から 30, 60, 90° それぞれ角度の肘関節の屈曲動作をランダムな順序で各 5 回ずつ行った (図 1)。各試技において、対象者は任意のタイミングで肘関節の屈曲動作を開始し、対象者自身の判断で屈曲終了を決定した。本実験においては、実際の泳動作中には運動者が自分自身の泳動作を視覚により確認できないことが多いことを考慮に入れ (鈴木ら, 2006), さらに筋肉や関節の深部感覚および皮膚からの表剤感覚による感覚入力の影響に焦点を当てることを目的に、視覚による影響を削除するため、対象者は実験中、アイマスクの着用によって視覚を遮断した状態で試技を行った。また同様に、聴覚による影響についても削除するため、耳栓を用いることによって聴覚を遮断した状態で試技を行った。全ての対象者は右腕にて試技を実施した。

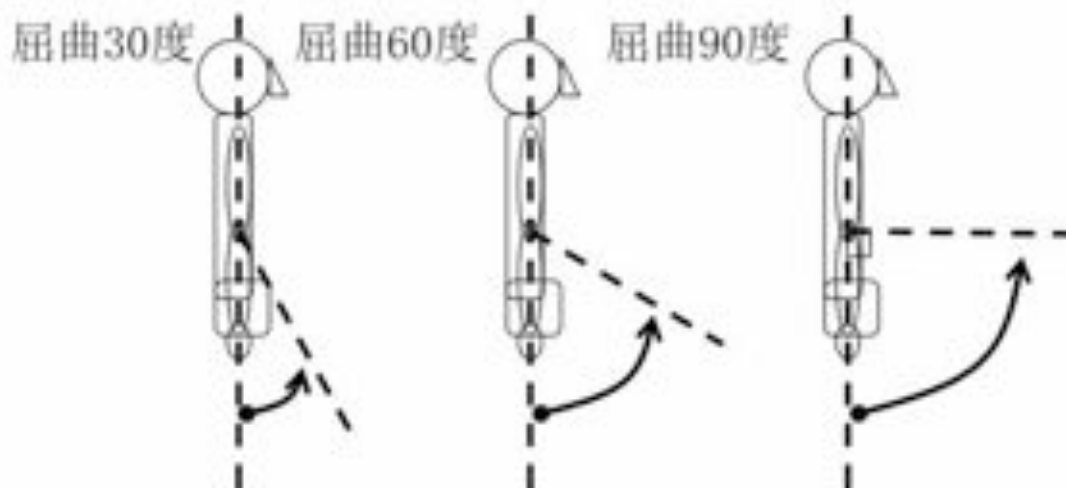


図 1. 各試技における試技開始姿勢からの屈曲角度イメージ

c. 測定および分析項目

・動画撮影

全ての試技は、実験用水槽に座した対象者の右側方より市販の水中ビデオカメラ (WATER-1100C, WIRELESS TSUKAMOTO CO., LTD.) にて撮影した。取得した各試技の動画から、あらかじめデジタイズ点として 1 cm 四方のマーカーを記しておいた肩峰と肘関節中心との中点、肘関節中心、肘関節中心と手関節との中点をデジタイズし、2 次元 DLT 法を用いて各試技の肘関節屈曲角度を算出した。(図 2)

・筋活動測定

全ての試技において、右側の上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋活動を、S&ME 社製の DL-140 および DL-720, ADInstruments 社製の Powerlab を用いて記録した。筋活動の導出には双極表面皿型電極を使用し、隙き間パテ及び医療用防水シートにて防水加工を施した (図 2)。筋活動の収録時におけるサンプリング周波数は 2 kHz に設定した。収録した波形は 10 Hz のハイパスフィルタおよび 500 Hz のローパスフィルタを掛けノイズを除去し、窓関数を 100 msec に設定した二乗平均平方根 (RMS: root mean square) を求めた。全対象者は実験試技の開始前に各筋における 5 sec のアイソメトリック収縮による最大筋随意収縮 (MVC: maximal voluntary contraction) を行い、収録された筋活動の波形は同様に 10 Hz のハイパスフィルタおよび 500 Hz のローパスフィルタを掛けノイズを除去し、窓関数を 100 msec に設定した二乗平均平方根 (RMS: root mean square) を求め、1 sec あたりの平均値のピーク値を算出した。各試技の RMS 波形は、MVC による試技から算出された RMS の 1 sec あたりの平均値のピーク値の値を

100%とした時の割合 (%MVC) として表した. %MVC で表記された波形は, 各試技ごとにノイズなどの混入の有無を確認し, ノイズなどの影響が見られた場合にはそのデータを分析対象から除外した. その後, 採用された波形は全て肘関節の屈曲開始時刻から屈曲終了時刻までを平均化 (mEMG) した.

・加速度測定

全ての試技において, 解剖学的肢位における手関節前面部 (前腕部手関節側) に加速度センサを貼付けし, 試技中の手関節前面部の加速度を測定した. 加速度センサは 3 軸加速度センサ (KXM52-1050 モジュール) を用い, アクリルケース内に封のうし, 防水処置を施した (図 3). 加速度データはサンプリング周波数 2 kHz で収録し, 収録画面上において肘関節屈曲開始前および屈曲終了後に静止安定状態にあるか否かの判定をするために用いた.



図 2. マーキングポイントおよび双極表面皿形電極を貼付けた様子



図 3. アクリルケースに封のうし, 防水処置を施した加速度センサを試技側手関節前面部に貼付けた様子

・皮膚温測定

実験中は上腕後面部における皮膚表面の温度を計測した. 皮膚温測定にはサーミスタ (103 JT- 025) を用い, サンプリング周波数 2 kHz で筋活動及び加速度センサと同様に収録した (図 4). 収録されたデータは収録画面上にてモニターし, 実験中の温度皮膚表面温度に変化がないことを確認した

d. 統計処理

静止時の安定状態を確認するために測定した手関節前面部の加速度データおよび実験中の皮膚表面における温度変化がないことを確認するために測定した上腕後面部における温度データを除く, 上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋活動データ, ならびに右側側面から撮影された動画によって算出された肘関節屈曲角度のデータは, 全て各対象者における 5 試技の平均値を求め, さらにそこから全対象者における平均値 (Mean) を算出した. 同時に, 全対象者における標準偏差 (Standard deviation: SD) についても

算出した。各統計的検定における有意水準を 5% 未満に設定し、算出された全ての値は各試技毎に水中環境と陸上環境での t 検定を用いて評価を行った。



図 4. 皮膚表面温度の測定に用いたサーミスタ

実験 2. あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作

a. 対象者

本実験における対象者は、健常な大学男子競泳選手 14 名であり、実験 1 の対象者と同様の対象者を採用した（実験 1, 表 1）。

b. 実験試技

実験は実験 1 と同様に、筑波大学屋内プール内の実験用水槽にて行った。実験時の気温および水温は、それぞれ陸上環境設定時には気温 $25.9 \pm 0.9^{\circ}\text{C}$ 、水中環境設定時には安静時中立水温付近の水温（測定値 $33.7 \pm 1.4^{\circ}\text{C}$ ）、気温 $26.3 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ であった。対象者は異なる日程において陸上環境および水中環境における実験を対象者ごとにランダムな順序にて実施した。それぞれの実験時、対象者は実験用水槽内にて座位安静姿勢として上半身は解剖学的肢位を基準に肩関節屈曲、肩関節外転、肩関節外旋、肘関節屈曲、手関節掌屈それぞれ 0° の状態をとり、この姿勢を試技開始姿勢とした。対象者は試技開始姿勢から $30, 60, 90^{\circ}$ それぞれ角度がついた角度計の一端を上腕前面部に当てられ、対象者自身の任意のタイミングによって肘関節の屈曲動作を開始し、前腕部が角度計の反対端に触れた時点で 5 sec 間の静止を行った。その間に、対象者は肘関節の屈曲角度を認識し、5 sec 経過後に実験者の合図により試技開始姿勢に戻った。さらにその後、約 5 sec 間の試技開始姿勢をとり、実験者の合図があつてから対象者の任意のタイミングで再度認識した角度まで肘関節の屈曲動作を行い、対象者が自分自身の判断で屈曲動作の終了を決定した。試技はランダムな順序で各 3 回ずつ行った（図 5）。本実験においても実験 1 と同様に、実際の泳動作中には運動者が自分自身の泳動作を視覚により確認できないことが多いことを考慮に入れ（鈴木ら, 2006）、さらに筋肉や関節の深部感覚および皮膚からの表剤感覚による感覚入力の影響に焦点を当てることを目的に、視覚による影響を削除するため、対象者は実験中、アイマスクの着用によって視覚を遮断した状態で試技を行った。また同様に、聴覚による影響についても削除するため、耳栓を用いることによって聴覚を遮断した状態で試技を行った。全ての対象者は右腕にて試技を実施した。



図 5. 実験 2 において用いた 30° , 60° , 90° それぞれの角度に合わせた角度計
(左から 30° , 60° , 90°)

*: 各角度計の一端の辺は上腕前面に当てられ, 角度のついた部分の頂点はおよそ肘関節にあてられた. 対象者の任意のタイミングで肘関節の屈曲動作を開始し, 前腕部が角度計の反対側の一端の辺に当たった時点で屈曲動作を終了し, その角度を対象者は認識し. さらにその後, 一旦試技開始姿勢に戻った後, 任意のタイミングで認識した角度までの肘関節屈曲再現動作を行い, 対象者の判断で屈曲動作を終了した.

c. 測定および分析項目

・動画撮影

全ての試技は, 実験 1 と同様に, 実験用水槽に座した対象者の右側方より市販の水中ビデオカメラ (WATER-1100C, WIRELESS TSUKAMOTO CO., LTD.) にて撮影した. 取得した各試技の動画から, あらかじめデジタイズポイントとして 1 cm 四方のマーカーを記しておいた肩峰と肘関節中心との中点, 肘関節中心, 肘関節中心と手関節との中点をデジタイズし, 2 次元 DLT 法を用いて各試技のあらかじめ角度を与えた際に静止した肘関節屈曲角度および肘関節屈曲角度再現動作の再静止した角度をそれぞれ算出した. (実験 1, 図 2)

・筋活動測定

全ての試技において, 右側の上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋活動を, S&ME 社製の DL-140 および DL-720, ADInstruments 社製の Powerlab を用いて記録した. 筋活動の導出には双極表面皿型電極を使用し, 隙き間パテ及び医療用防水シートにて防水加工を施した (実験 1, 図 2). 筋活動の収録時におけるサンプリング周波数は 2 kHz に設定した. 収録した波形は 10 Hz のハイパスフィルタおよび 500 Hz のローパスフィルタを掛けノイズを除去し, 窓関数を 100 msec に設定した二乗平均平方根 (RMS: root mean square) を求めた. 全対象者は実験試技の開始前に各筋における 5 sec のアイソメトリック収縮による最大筋随意収縮 (MVC: maximal voluntary contraction) を行い, 収録された筋活動の波形は同様に 10 Hz のハイパスフィルタおよび 500 Hz のローパスフィルタを掛けノイズを除去し, 窓関数を 100 msec に設定した二乗平均平方根 (RMS: root mean square) を求め, 1 sec あたりの平均値のピーク値を算出した. 各試技の RMS 波形は, MVC による試技から算出された RMS の 1 sec あたりの平均値のピーク値の値を 100%としたとした時の割合 (%MVC) として表した. %MVC で表記された波形は, 各試技ごとにノイズなどの混入の有無を確認し, ノイズなどの影響が見られた場合にはそのデータを分析対象から除外した. その後, 採用された波形は全て, あらかじめ角度を認識する際の肘関節の屈曲開始時刻から屈曲終了時刻までと, 認識した角度までの肘関節屈曲再現動作を行う際の肘関節の屈曲開始時刻から屈曲終了時刻までを平均化 (mEMG) した.

・加速度測定

全ての試技において、解剖学的肢位における手関節前面部（前腕部手関節側）に加速度センサを貼付けし、試技中の手関節前面部の加速度を測定した。加速度センサは 3 軸加速度センサ（KXM52-1050 モジュール）を用い、アクリルケース内に封のうし、防水処置を施した（実験 1, 図 3）。加速度データはサンプリング周波数 2 kHz で収録し、収録画面上において認識および再現時の肘関節屈曲開始前および屈曲終了後に静止安定状態にあるか否かの判定をするために用いた。

・皮膚温測定

実験中は上腕後面部における皮膚表面の温度を計測した。皮膚温測定にはサーミスタ（103 JT- 025）を用い、サンプリング周波数 2 kHz で筋活動及び加速度センサと同様に収録した（実験 1, 図 4）。収録されたデータは収録画面上にてモニターし、実験中の温度皮膚表面温度に変化がないことを確認した。

d. 統計処理

静止時の安定状態を確認するために測定した手関節前面部の加速度データおよび実験中の皮膚表面における温度変化がないことを確認するために測定した上腕後面部における温度データを除く、上腕二頭筋および上腕三頭筋の筋活動データ、ならびに右側側面から撮影された動画によって算出された肘関節屈曲角度のデータは、全て各対象者における各試技における認識時と再現時の誤差を求め、3 試技の平均値を算出した。さらにそこから全対象者における平均値（Mean）を求めた。同時に、全対象者における認識時と再現時の誤差の標準偏差（Standard deviation: SD）についても算出した。各統計的検定における有意水準を 5% 未満に設定し、算出された全ての値について、水中環境時の誤差の値と陸上環境時の誤差の値を t 検定を用いて比較評価を行った。

● 結果

実験 1. 指定した角度への肘関節屈曲動作

a. 肘関節屈曲角度

図 6 に各試技の陸上環境および水中環境における肘関節屈曲角度の平均値を示した。30° 試技（Trial 30）における陸上環境の肘関節屈曲角度は $38.5 \pm 8.2^\circ$ で、水中環境では $30.9 \pm 8.6^\circ$ であった。60° 試技（Trial 60）においては陸上環境が $58.5 \pm 9.0^\circ$ で、水中環境では $49.3 \pm 9.7^\circ$ であった。90° 試技（Trial 90）においては陸上環境が $79.1 \pm 9.6^\circ$ で、水中環境では $68.6 \pm 10.4^\circ$ であった。全ての試技において陸上環境と水中環境の間で有意な差が認められた（Trial 30: $p = 0.024$, Trial 60: $p = 0.015$, Trial 90: $p = 0.010$ ）。また、全ての試技において水中環境は陸上環境と比較して肘関節の屈曲角度が小さく、その差はいずれの試技角度においても約 10° であった。

b. 肘関節屈曲時間

図 7 に各試技の陸上環境および水中環境における肘関節屈曲時間を示した。Trial 30 における陸上環境の肘関節屈曲時間は $3.3 \pm 1.0 \text{ sec}$ で、水中環境では $3.8 \pm 1.3 \text{ sec}$ であった。Trial 60 においては陸上環境が $4.4 \pm 1.4 \text{ sec}$ で、水中環境では $5.3 \pm 1.8 \text{ sec}$ であった。Trial 90 では陸上環境が $4.0 \pm 1.5 \text{ sec}$ で、水中環境では $5.1 \pm 2.1 \text{ sec}$ であった。全ての試技において陸上環境と水中環境

の間で有意な差は認められなかったが、水中環境は陸上環境と比較して肘関節屈曲時間が長くなる傾向が見て取れた。

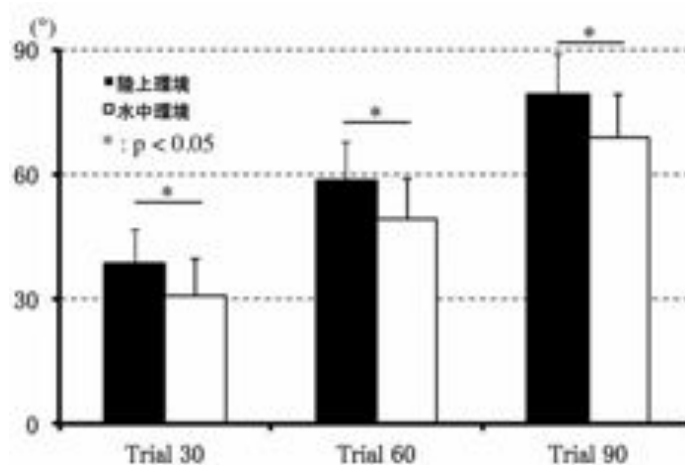


図 6. 各試技の陸上環境および水中環境における肘関節屈曲角度 (mean ± SD)

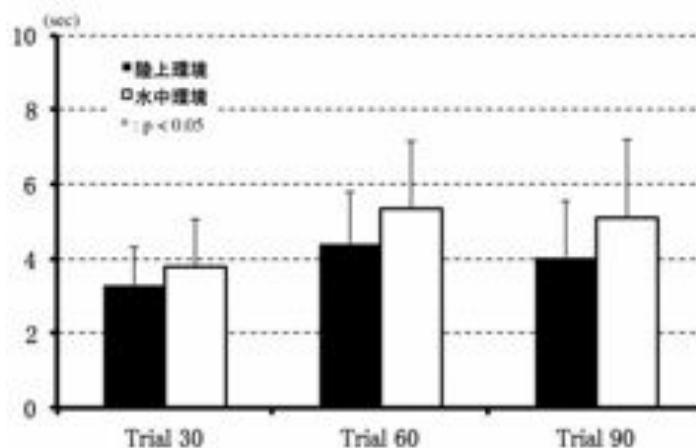


図 7. 各試技の陸上環境および水中環境における肘関節屈曲時間 (mean ± SD)

c. 上腕二頭筋の筋活動

図 8 に、肘関節屈曲動作の開始から終了までの間における上腕二頭筋の平均化筋活動の値を示した。Trial 30 における陸上環境の上腕二頭筋の平均化筋活動は $1.59 \pm 0.85\%$ で、水中環境では $0.66 \pm 0.56\%$ であった。Trial 60 においては陸上環境が $2.30 \pm 1.35\%$ で、水中環境では $0.82 \pm 0.95\%$ であった。Trial 90 では陸上環境が $2.72 \pm 1.39\%$ で、水中環境では $1.05 \pm 1.31\%$ であった。全ての試技において陸上環境と水中環境の間で有意な差が認められ (Trial 30: $p = 0.002$, Trial 60: $p = 0.002$, Trial 90: $p = 0.003$)、陸上環境は水中環境と比較して大きな平均化筋活動の値を示した。

d. 上腕三頭筋の筋活動

図 9 に、肘関節屈曲動作の開始から終了までの間における上腕三頭筋の平均化筋活動の値を示した。Trial 30 における陸上環境の上腕三頭筋の平均化筋活動は $1.89 \pm 0.97\%$ で、水中環境では $4.91 \pm 2.32\%$ であった。Trial 60 においては陸上環境が $1.61 \pm 0.78\%$ で、水中環境では $3.13 \pm 1.69\%$ であった。Trial 90 では陸上環境が $1.65 \pm 0.89\%$ で、水中環境では $2.38 \pm 1.05\%$ であった。Trial 30

および Trial 60 において陸上環境と水中環境の間に有意な差が認められ (Trial 30: $p < 0.000$, Trial 60: $p = 0.006$), 水中環境は陸上環境と比較して大きな平均化筋活動の値を示した. また, Trial 90 においても水中環境は陸上環境と比較して大きな平均化筋活動の値を示す傾向にあった ($p = 0.061$).

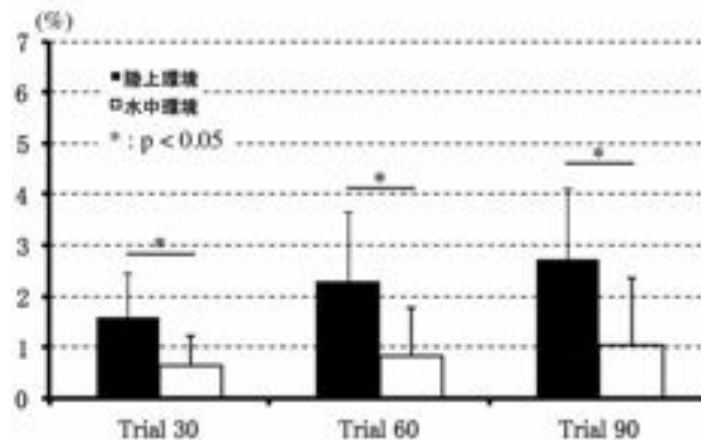


図 8. 各試技の陸上環境および水中環境における上腕二頭筋の平均化筋活動 (mean $\pm$ SD)

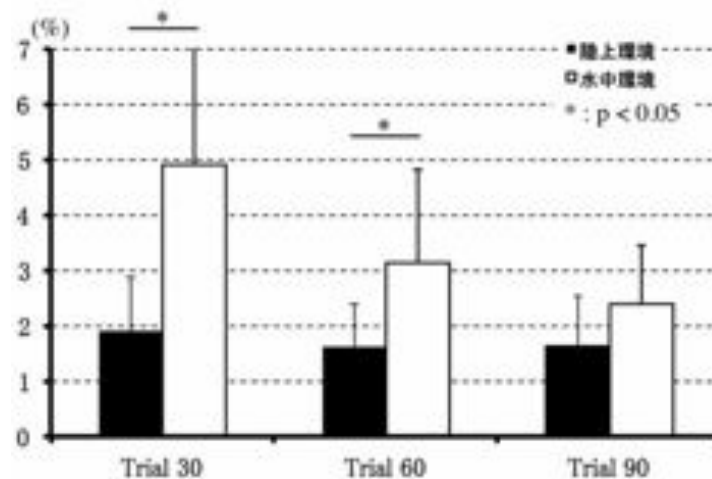


図 9. 各試技の陸上環境および水中環境における上腕二頭筋の平均化筋活動 (mean $\pm$ SD)

実験 2. あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作

a. 肘関節屈曲再現角度の誤差

図 10 に各試技の陸上環境および水中環境における肘関節屈曲再現角度の誤差の平均値を示した. 30° 試技 (Trial 30) における陸上環境の肘関節屈曲再現角度の誤差は $6.5 \pm 2.7^\circ$ で, 水中環境では $5.3 \pm 4.5^\circ$ であった. 60° 試技 (Trial 60) においては陸上環境が $4.8 \pm 3.2^\circ$ で, 水中環境では $4.7 \pm 5.9^\circ$ であった. 90° 試技 (Trial 90) においては陸上環境が $2.2 \pm 4.0^\circ$ で, 水中環境では $3.0 \pm 5.1^\circ$ であった. 全ての試技において陸上環境と水中環境の間に有意な差は認められなかった.

b. 肘関節屈曲再現時間の誤差

図 11 に, 各試技の陸上環境および水中環境における肘関節屈曲再現時間の誤差を示した. Trial 30 における陸上環境の肘関節屈曲再現時間の誤差は -0.57 ± 0.80 sec で, 水中環境では $-0.57 \pm$

1.09 sec であった. Trial 60 においては陸上環境が -0.24 ± 0.87 sec で, 水中環境では -0.02 ± 1.26 sec であった. Trial 90 では陸上環境が -1.59 ± 1.15 sec で, 水中環境では -0.73 ± 1.28 sec であった. 全ての試技において陸上環境と水中環境の間で有意な差は認められなかった.

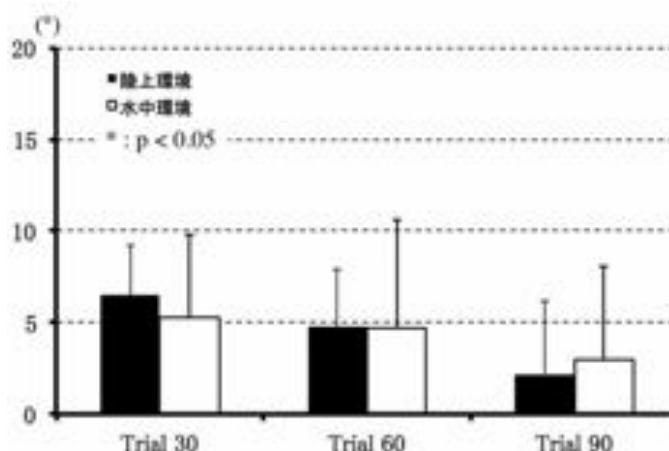


図 10. 各試技の陸上環境および水中環境における肘関節屈曲再現角度の誤差 (mean $\pm$ SD)

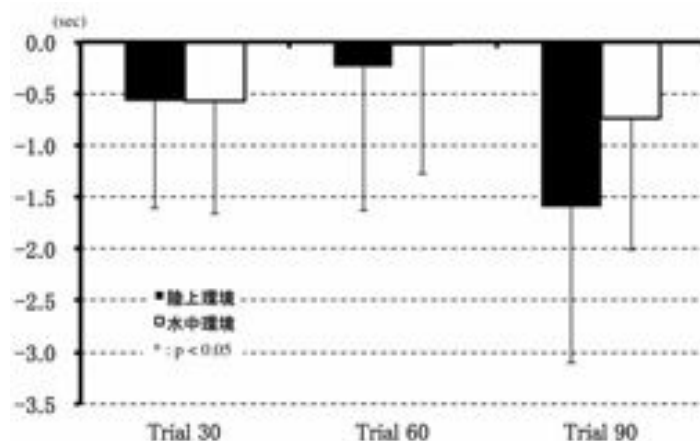


図 11. 各試技の陸上環境および水中環境における肘関節屈曲再現時間の誤差 (mean $\pm$ SD)

c. 上腕二頭筋の筋活動

図 12 に, 肘関節屈曲再現動作の開始から終了までの間における上腕二頭筋の平均化筋活動の誤差の値を示した. Trial 30 における陸上環境の上腕二頭筋の平均化筋活動は $-0.07 \pm 0.53\%$ で, 水中環境では $-0.003 \pm 0.09\%$ であった. Trial 60 においては陸上環境が $-0.19 \pm 0.60\%$ で, 水中環境では $-0.03 \pm 0.11\%$ であった. Trial 90 では陸上環境が $0.06 \pm 0.44\%$ で, 水中環境では $0.14 \pm 0.51\%$ であった. 全ての試技において陸上環境と水中環境の間で有意な差は認められなかった.

d. 上腕三頭筋の筋活動

図 13 に, 肘関節屈曲再現動作の開始から終了までの間における上腕三頭筋の平均化筋活動の誤差の値を示した. Trial 30 における陸上環境の上腕三頭筋の平均化筋活動は $-0.09 \pm 0.72\%$ で, 水中環境では $0.81 \pm 0.99\%$ であった. Trial 60 においては陸上環境が $0.21 \pm 0.44\%$ で, 水中環境では $0.50 \pm 0.77\%$ であった. Trial 90 では陸上環境が $0.35 \pm 0.54\%$ で, 水中環境では $0.53 \pm 0.64\%$ であった. Trial 30 において陸上環境と水中環境の間で有意な差が認められ ($p = 0.01$), 水中環境は陸

上環境と比較して大きな平均化筋活動の誤差の値を示した。

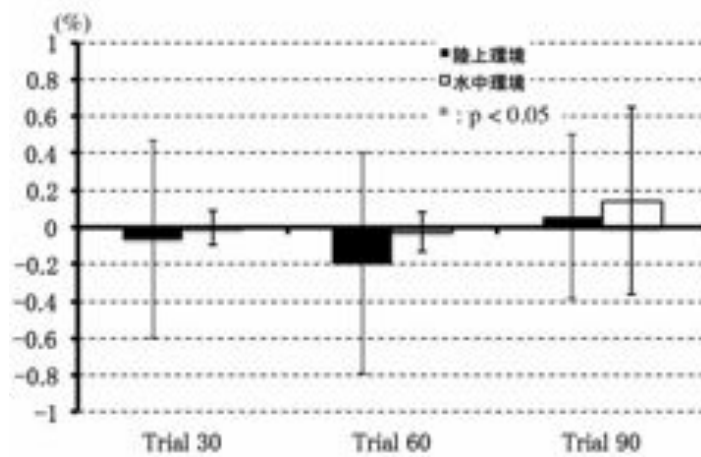


図 12. 各試技の陸上環境および水中環境における肘関節屈曲再現時の上腕二頭筋筋活動の誤差 (mean $\pm$ SD)

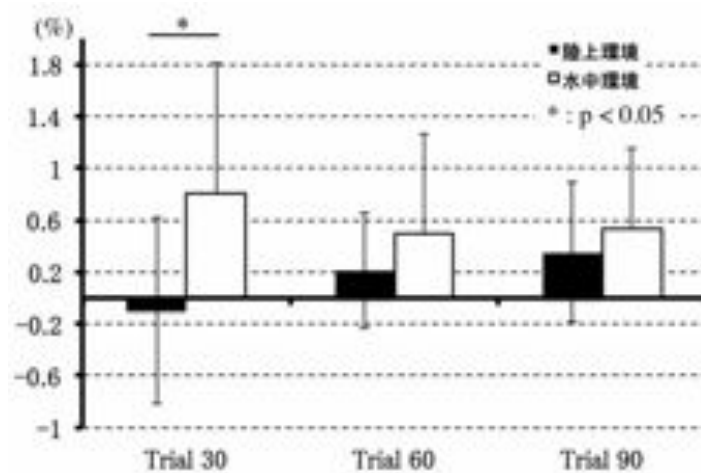


図 13. 各試技の陸上環境および水中環境における肘関節屈曲再現時の上腕三頭筋筋活動の誤差 (mean $\pm$ SD)

● 考察

本研究では、ヒトが水中環境において運動者自身の身体における関節位置覚をどの程度認識しているのかについて明らかにするために、肘関節の屈曲動作を用いた水中環境での肘関節の関節位置覚を調査した。このため、本研究では先行研究では実施されていない同側の上肢における肘関節の関節位置覚に着目し、指定した角度への肘関節屈曲動作と、あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作を実施し、それぞれ陸上環境と水中環境で比較した。その結果、指定した角度への肘関節屈曲動作では、水中環境における肘関節屈曲角度は陸上環境と比較して有意に小さい値を示し、さらに肘関節屈曲時間の延長、上腕二頭筋の平均化筋活動の減少、上腕三頭筋の平均化筋活動の増加が認められた。また、あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作では、水中環境及び陸上環境における肘関節屈曲再現角度の誤差、肘関節屈曲再現時間の誤差、上腕二頭筋の平均化筋活動の誤差は同等であり、上腕三頭筋の平均化筋活動においては Trial 30 において水中環境が陸上環境と比較して高い値を示した。

a. 実験 1. 「指定した角度への肘関節屈曲動作」について

実験 1 にて実施した、指定した角度への肘関節屈曲動作では、水中環境における肘関節屈曲角度は陸上環境におけるそれと比較して全ての設定角度において小さな値を示した。実験 1 では、指定した角度について最終的に実際の角度に対する各試技の肘関節屈曲角度の整合性については対象者に教示することは行わなかった。そのため、陸上環境および水中環境いずれの環境における試技においても、各対象者それぞれにおいて最終的な目標である肘関節屈曲角度は同一であったと言える。従って、結果に示した 30° 、 60° 、 90° それぞれの試技における肘関節屈曲角度の絶対値は意味を持たないが、陸上環境と水中環境の比較により肘関節屈曲角度に対する関節位置覚を比較することができる。このことから、ヒトは水中環境における肘関節の関節位置覚が陸上環境と比較して小さく見積もられることがと考えられた。本実験においては対象者を日常的にトレーニングを実施している競泳選手に限定したため、その他の一般の成人に対してあてはまるか否かは不明であるが、日常的に水浸し、水中環境に慣れている者における結果であるため、おおよそヒトは水中環境において陸上環境と比較して関節位置覚が小さく見積もられると推察できる。またさらに、小さく見積もられた肘関節の屈曲角度は指定した角度に関わらず 30° 、 60° 、 90° いずれの角度においても陸上環境と水中環境の間で約 10° の違いであった。このことから、ヒトにおける水中環境での肘関節の関節位置覚は、関節の角度の大きさに関係なくおしなべて約 10° 程度の過小評価をしていると考えられる。

ヒトの位置感覚は、主に筋受容器の影響を受けると言われている (Gandevia, 1985)。特に、骨格筋内に筋線維の方向に沿って存在し筋の物理的伸張を感知する筋紡錘は求心性の I a および II 神経線維と遠心性の γ および β 神経線維の支配を受けており、先行研究では筋紡錘への振動刺激によって関節の位置覚が狂わせられるとの報告がされている (Craske, 1976)。水中環境における肘関節の屈曲動作は、空気の約 800 倍と大きい水の密度に由来する水圧、浮力、抵抗といった物理的特性による影響を受け、それらの影響は筋受容器である筋紡錘さらには腱内に存在するゴルジ腱器官といった腱受容器におよぶ。それら感覚受容器において検出された刺激は脊髄後角から中枢神経系へ伝達され、脳内で処理・統合され、その結果として関節角度調節機能が狂わせられたと考えられた。また、関節位置覚には関節における感覚受容器や皮膚における感覚受容器、中でも有毛部皮膚は運動感覚への影響が大きいとも言われており (Macefield et al., 1990)、空気の約 800 倍の密度を持つ水中環境での屈曲動作の際には少なからず動作に伴って水流が生じ、さらに水深が変化することによって水圧、抵抗、浮力などが変化する。これらの影響が結果的に本研究における肘関節の関節位置覚に影響を与えたと考えられた。本研究の結果からは水浸による各感覚受容器への影響についてそのメカニズムの詳細を明らかにすることはできないが、上腕二頭筋の平均化筋活動の値は水中環境で陸上環境と比較して小さな値を示し、さらに上腕三頭筋の平均化筋活動の値は水中環境で陸上環境と比較して大きな値を示した。上腕二頭筋は肘関節の屈曲動作時における主動筋として作用し、また上腕三頭筋は上腕二頭筋の拮抗筋である。このため、肘関節の屈曲動作による関節位置覚について調査する際は、主にその主動筋である上腕二頭筋と拮抗筋である上腕三頭筋における各筋の筋張力などの相互作用によって肘関節の屈曲角度が決定されることが考えられる。従って、本研究ではこれら 2 つの筋活動を同時に調査した。その結果として、全ての試技において陸上環境と水中環境で肘関節の屈曲動作の主動筋となる上腕二頭筋とその拮抗筋である上腕三頭筋の平均化筋活動が大きく異なる結果を示したことから、水中環境では陸上環境と大きく異なる関節角度の調節戦略を用いていることが考えられた。またこの調節戦略は、水浸することによる水の物理的特性である浮力、抵抗、水圧などが身体の各感覚受容器に影響を及ぼしたことが主な原因であり、それらの最終的な結果として水中

環境は陸上環境と比較して肘関節の屈曲角度が小さく見積もられたのではないかと考えられた。このような、水中環境において変化した身体周辺の環境に対して異なる肘関節の屈曲戦略を用いることを選択した結果、肘関節屈曲時間が水中環境において陸上環境と比較して長くなった原因であると考えられた。

b. 実験 2. 「あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作」について

実験 2 にて実施した、あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作では、水中環境における肘関節屈曲再現角度の誤差は陸上環境におけるそれと同等であった。実験 2 においては、あらかじめ角度を認識させる際には陸上環境は陸上環境にて、水中環境では水中環境にてそれぞれ作成した角度計を用いて実施した。また、あらかじめ角度を認識させた後、直ちに肘関節の屈曲再現動作を実施し、さらにランダムに実施した各角度それぞれ 3 回ずつの試技は、全て毎回あらかじめ角度を認識させる試行を実施した。従って、実験 2 においては陸上環境および水中環境ともに、あらかじめ角度を認識させた後の記憶問題については同程度であったと仮定した。なお、あらかじめ角度を認識させるために作成した角度計は、肘関節の前面において皮膚表面から直接あてて実施したため、 30° 、 60° 、 90° それぞれの試技における肘関節屈曲角度の絶対値は意味を持たないが、再現屈曲を行った際の誤差を算出、それを陸上環境および水中環境にて比較することは可能である。このことから、ヒトは水中環境においても陸上環境においても、あらかじめ角度を認識させた場合にはほぼ同等の肘関節の屈曲角度を再現できることが考えられた。本実験においては対象者を日常的にトレーニングを実施している競泳選手に限定したため、その他の一般の成人に対してあてはまるか否かは不明であるが、日常的に水浸し、水中環境に慣れている者における結果であるため、おおよそヒトは水中環境においても陸上環境と同等にあらかじめ認識した関節位置覚を再現することができると推察できる。またさらに、肘関節屈曲再現角度はあらかじめ認識させた角度と比較して、陸上環境および水中環境ともに小さい角度 (30°) では約 5° 程度、大きい角度 (90°) では約 3° 程度大きい値を示した。このことから、陸上環境および水中環境ともに、肘関節の関節位置覚は角度を再現する際にはほんのわずかではあるが過大評価をすることが推察できる。

実験 2 においても実験 1 と同様に、肘関節屈曲動作に関する主動筋である上腕二頭筋と、その拮抗筋である上腕三頭筋の筋活動を測定し、平均化筋活動を求めた。この結果から、肘関節屈曲動作の主動筋である上腕二頭筋においては屈曲再現動作を行った際の誤差は陸上環境と水中環境でほぼ同等であったが、拮抗筋である上腕三頭筋は特に小さい角度 (30°) において水中環境における誤差は陸上環境における誤差と比較して大きい値を示した。このことから、実験 1 と同様に、水中環境では陸上環境と異なる関節角度の調節戦略を用いていることが考えられた。しかしながら、水中環境の誤差と陸上環境の誤差の「差」は値にして約 1% もしくはそれ以下であり非常に小さく、また本実験においては水中環境と陸上環境において誤差の比較を行ったのみであり、あらかじめ角度を認識する際の各変数と角度を再現する際の各変数の比較を行っていない。従って、陸上環境と水中環境で角度調節に関する戦略が異なるとは断言できず、このことは肘関節屈曲再現時間の誤差が陸上環境と水中環境で同等であったことにも表れていると考えられるが、水中環境と陸上環境では角度を認識する際と、角度を再現する際の角度調整戦略が異なっている可能性がある。

c. 水中環境における泳技術習得を目的とした指導方法に関する知見と提案

本研究では大学男子競泳選手を対象にした水中環境での肘関節における関節位置感覚が陸上環境と比較してどの程度異なるのかを明らかにするために、実験 1 においては 30° 、 60° 、 90° の角度を指定

して肘関節屈曲動作を実施し、実験 2 においては 30° 、 60° 、 90° それぞれの角度について、作成した角度計を用いてあらかじめ認識させた肘関節屈曲角度の再現動作を実施した。そして、それぞれの実験において肘関節の屈曲角度を評価した。その結果、実験 1 においては水中環境では陸上環境と比較して肘関節の屈曲角度は過小評価されることが明らかとなった。また、それは平均で指定した角度の大きさに関係なく約 10° の過小評価であった。さらに、肘関節屈曲時間、肘関節屈曲動作の主動筋である上腕二頭筋および拮抗筋の上腕三頭筋の平均化筋活動の結果から、水中環境と陸上環境では肘関節屈曲動作に関して全く異なる角度調節戦略を用いている可能性が考えられた。次に、実験 2 においては水中環境と陸上環境では再現角度の誤差に差が認められなかったが、水中環境および陸上環境ともに再現時には約 3° から 5° 程度の過大評価をすることが明らかとなった。実験 1 と同様に肘関節屈曲時間、肘関節屈曲動作の主動筋である上腕二頭筋および拮抗筋の上腕三頭筋の平均化筋活動について、その誤差を陸上環境と水中環境で比較したところ、肘関節屈曲再現動作時の角度調節戦略が異なる可能性は示唆されたが、それぞれの結果における値が非常に小さいことから陸上環境と水中環境ではほぼ同等であることが伺えた。以上のことから、泳技術習得に関する水泳の指導においては、陸上環境における泳指導の際、運動者自身が陸上環境にて泳動作を模倣する際、自身の泳動作などを確認するためにビデオによる映像などを参考にする際、など、陸上環境にて行われる泳技術習得のための取り組みに関しては実際の泳動作を実施する水中環境では身体の動作が小さくなることを考慮に入れて泳技術の指導を実施することが効果的であると考えられる。つまり、運動者は指導者の助言に対して実際の水中での泳動作の際には比較的小さな動作を行っている可能性が高く、指導者はこのことを考慮に入れた泳動作の指導を実施することが望ましいと思われる。また、できることなら泳動作の指導や泳動作の模倣、さらには自身の泳動作などをビデオによる映像などを用いることによって確認する際には、陸上環境ではなく水中環境においてそれらを実施することで、運動者は忠実に泳動作を再現することが可能になるものと考えられる。このような点を考慮に入れて泳技術習得のための指導方法および練習方法を改善していくことで、これまで以上に効果的に運動者のパフォーマンスを向上させていくことが可能になるであろう。

● 今後の課題・展望

本研究においてはその対象者を日常的にトレーニングを実施している健常な大学男子競泳選手に限った。これは、本研究の課題が一般的にも対象者の経験や環境わずかな変化においても変化を起こしやすい運動感覚を採り上げたためであり、さらにその中でも位置覚を対象としており、そしてそれを水中環境に応用しているためである。従って、水に対する対象者の経験や、さらにはその中でも日常的に厳密に運動の調整を意識しているか否かにも結果が影響される。そこで、対象者を健常な大学男子競泳選手に限定することで、様々な経歴を持つ対象者を用いることによって生じるデータの不安定さをできる限り押さえることを条件とした。このことから、本研究の結果は健常な大学男子競泳選手によるものであり、広く一般にも当てはまるか否かについては今後さらに対象者を各種設定した実験を今回と同様に実施していくことで明らかになってくるものと考えられる。しかしながら、本研究の結果は水中環境においても緻密さ、精密さ、厳密さを要求される競泳選手を対象とした結果であるため、一般の成人においてはこれがさらに顕著に表れる可能性が考えられる。今後の課題である。

これまで同側の上肢における肘関節の関節位置覚に着目し、陸上環境と水中環境で比較をおこなった研究は見られない。従って、本研究の結果は本研究の対象者となった競泳をはじめ、健康増進運動やリハビリテーションなどの手段として用いられている水中運動に対しても有益な一情報である。上記のように今

後さらに対象者を増やしていくことが必要であろう。また、本研究で取り扱った肘関節の他にも、肩関節、股関節、膝関節、さらには全身を使った複雑な動作についても同様に研究を実施していくことで、さらなる発展が期待できる。

本研究では、より一般的な知見を得ることを目的としたため、全ての対象者のデータを平均化し結果として示した。しかしながら、そのデータ内容は個人によって様々である。図 14 に、実験 1 における各対象者のそれぞれの試技角度における陸上環境と水中環境の差を示す。この図から、平均的には本研究の実験 1 で示した結果の通り、水中環境は陸上環境と比較して肘関節屈曲角度は過小評価されるが、個々の対象者によっては必ずしも結果が一樣ではなく、陸上環境が水中環境と比較して肘関節屈曲角度を過小評価している対象者も見受けられる。このことから、今後競泳選手においては水泳歴や競技成績などをはじめとする個人の特性を考慮に入れたさらに詳細な分析を行う必要があると考えられる。そうすることで、競泳においては対象者をカテゴリー分けし、それぞれ異なる水中環境での関節位置覚を明らかにすることができ、さらなる指導方法の提案が可能となると考えられる。また、このような分析を今後実施していくことで、幼少期における選手の発掘を行うための手段としても確立できる可能性があり、今後の研究成果が期待される場所である。

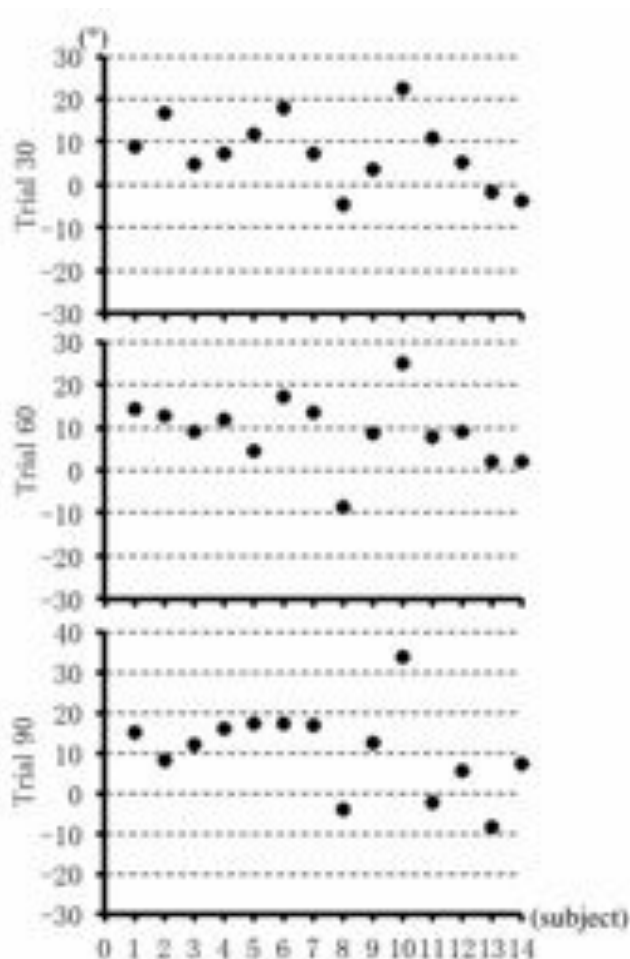


図 14. 実験 1 における各対象者の各試技における陸上環境および水中環境の肘関節屈曲角度の差 (mean)

*: 陸上環境から水中環境を差し引いた値であるため、図の正の値は陸上環境が水中環境と比較して肘関節屈曲角度が大きく、図の負の値は水中環境が陸上環境と比較して肘関節屈曲角度が大きい。

● まとめ

本研究はヒトが水中環境において運動者自身の身体における関節位置覚をどの程度認識しているのかについて明らかにするために、肘関節の屈曲動作を用いた水中環境での肘関節の関節位置覚を調査した。そのため、本研究では先行研究では実施されていない同側の上肢における肘関節の関節位置覚に着目し、指定した角度への肘関節屈曲動作と、あらかじめ認識させた角度への肘関節屈曲再現動作を実施し、それぞれ陸上環境と水中環境で比較した。その結果、以下のようにまとめられた。

- ・水中環境における肘関節屈曲角度は陸上環境と比較して過小評価する。
- ・本研究の対象者となった大学男子競泳選手では水中環境における肘関節屈曲角度の過小評価は陸上と比較して約 10° であった。
- ・水中環境では陸上環境と大きく異なる関節角度の調節戦略を用いている可能性が示唆された。
- ・水中環境および陸上環境ともに、それぞれの環境においてあらかじめ角度を認識させた場合にはほぼ同等の肘関節の屈曲角度を再現できる。
- ・水中環境および陸上環境ともに、それぞれの環境においてあらかじめ角度を認識させた場合には、約 5° の過大評価をもって肘関節の屈曲角度が再現される。
- ・運動者は指導者の助言に対して実際の水中での泳動作の際には比較的小さな動作を行っている可能性が高く、指導者はこのことを考慮に入れた泳動作の指導を実施することが望ましい。
- ・水中環境において泳動作の指導を実施することで、運動者は忠実に泳動作を再現できる可能性がある。
- ・対象者によって関節角度や筋活動の様子が一様ではなく、個人の特性を考慮に入れた詳細な検討が必要である。

● 引用文献

- (1) Bock O. Joint position sense in simulated changed-gravity environments. *Aviat Space Environ Med.* 65(7): 621-6, 1994.
- (2) Brockett C, Warren N, Gregory JE, Morgan DL, Proske U. A comparison of the effects of concentric versus eccentric exercise on force and position sense at the human elbow joint. *Brain Res*, 771(2): 251-258, 1997.
- (3) Craske B. Perception of impossible limb positions induced by tendon vibration. *Science*. 196: 71-3, 1976.
- (4) Deschodt VJ., Arsac LM., Rouard AH. Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *Eur J Appl Physiol*, 80: 192-199, 1999.
- (5) Gandevia SC. Illusory movements produced by electrical stimulation of low-threshold muscle afferents from the hand. *Brain*. 108: 965-81, 1985.
- (6) Macefield G., Gandevia SC., Burke D. Perceptual responses to micro-stimulation of single afferents innervating joints, muscles and skin of the human hand. *J Physiol*. 429: 113-29, 1990.
- (7) 森井和枝, 相馬光一, 浅沼満, 丸岡知昭, 別府政敏. 水中環境が体性感覚に及ぼす影響. *神奈川県士会会報*, 37:52-57, 2009.
- (8) Mosterd WL., Jongbloed J., Analysis of the stroke of highly trained swimmers. *Int Z Angew Physiol*, 20: 288-293, 1964.

- (9) 野村武男. 水泳とポジティブヘルス. Health Sciences, 2(4): 36-43, 1986.
- (10) 野村武男, 金田晃一. アクアエクササイズ. 臨床スポーツ医学, 22(Suppl.): 150-7, 2005.
- (11) 小野寺昇. 水圧・浮力・水温と水泳パフォーマンスに関する最新知見. 日本水泳・水中運動学会年次大会, 2005.
- (12) Paschalis V, Nikolaidis MG, Giakas G, Jamurtas AZ, Koutedakis Y. Differences between arms and legs on position sense and joint reaction angle. J Strength Cond Res, 23(6): 1652-1655, 2009.
- (13) Soechting JF. Does position sense at the elbow reflect a sense of elbow joint angle or one of limb orientation? Brain Res, 248(2): 392-395, 1982.
- (14) 杉原敏道, 郷貴大, 高橋玲子, 三島誠一, 武田貴好, 有馬慶美. 角度設定する際の各速度の相違による膝関節位置覚への影響. 理学療法科学, 19(2): 75-79, 2004.
- (15) 鈴木淳也, 駒形大介, 野口智博. 水中における身体的位置感覚と動作の調整能力に関する研究. 桜門体育学研究, 41: 45-54, 2006.
- (16) Walsh LD, Allen TJ, Gandevia SC, Proske U. Effect of eccentric exercise on position sense at the human forearm in different postures. J Appl Physiol, 100(4): 1109-1116, 2005.

● 助成期間中の業績

本助成期間中に実施した学会発表を以下に紹介する.

- (1) 金田晃一, 速水達也, 仰木裕嗣. 肘関節屈曲動作による水中環境と陸上環境の位置感覚の比較. 第64回日本体力医学会学会大会, 千葉, 9, 2010.
- (2) 金田晃一, 速水達也, 仰木裕嗣, 椿本昇三. 肘関節屈曲動作を用いた大学男子競泳選手の水での関節位置覚. 2010年日本水泳・水中運動学会年次大会, 新潟(新潟医療福祉大学), 11, 2010.

● 謝辞

本研究を実施するにあたり, 筑波大学屋内プール内実験用水槽を快くお貸し頂きました筑波大学人間総合科学研究科の椿本昇三教授に厚く御礼申し上げます. また, 本研究を行うにあたり, 日本学術振興会特別研究員の金田晃一先生には多大なる御人力を賜り, 誠に感謝しております. このほか, 実験に際してお手伝い頂きました筑波大学水泳研究室の実験補助者の方々にも合わせて厚く御礼申し上げます.