

水球競技の体力科学

高木英樹*

A review of physical strength studies in water polo

TAKAGI Hideki

キーワード：水球、運動強度、トレーニング効果

Water polo, intensity of exercise, training effect

I はじめに

競技としての水球 (Water Polo) は、1870 年にロンドンのメトロポリタン水泳協会 (Metropolitan Swimming Association) が、当時余興として人気のあった水中でのフットボールを、“Football in the water” としてルール化した事に起源を発する。その後、1888 年にイングランドのアマチュア・スイミング協会 (Amateur Swimming Association) が “Water Polo” として、今日とほぼ同様のルールを制定し、競技としての水球が英国全土に広まっていった⁶⁷⁾。その後水球は、英国と関係の深い人物を介して、アメリカ合衆国、ベルギー、フランス、ドイツ、ハンガリーを中心にアメリカ大陸やヨーロッパ大陸に普及していく。そして 1900 年の第 2 回パリ・オリンピックにおいては、団体競技として初めて、水球がオリンピック種目に採用されるなど、水球は早くから国際競技として発展した⁶⁸⁾。

日本では 1907 年の第二回関東総合游泳大会において、はじめて水球の試合が行われたとの記録がある。その後、横浜や神戸に居留していた欧米人によって日本への水球導入が進み、1925 年の第 2 回明治神宮競技大会において正式種目として採用された⁶⁹⁾。今日では小学生から社会人に至る幅広い年齢層に楽しまれ、各カテゴリーでの全国大会が開催されている。

水球は、最もタフなスポーツの一つに数えられるが、その醍醐味は、なんといっても「水中の格

闘技」とも言われるほど激しい水中でのコンタクトプレーにある。足のつかない (規定では水深 2m 以上) 水中で、プレーヤー同士が体を密着させながら、ボールをめぐる激しくせめぎ合うさまは、まさに格闘技である。よって競技として水球を遂行するには、基本的な泳力に加え、対人プレーにおける力と技が重要となる。さらに球技としてのシュートやパスに関する技術と戦術も兼ね備えなければならない、鍛錬を必要とする要因が多い。

しかしながら、トレーニング計画を立てる上で、裏づけとなる水球に関する先行研究は他の球技と比べると数少ない。さらにこれまでの知見を網羅して、現場の指導に有用と思われる情報を取りまとめた文献もごく僅かしかない⁴⁹⁾。

そこで、本稿では過去の水球に関する研究の中で、特に運動生理学的研究をレビューし、水球のトレーニング処方に役立つ基礎的なデータを集積して、競技力向上に資するための具体的な提言を行うことを目的とする。

II 水球競技の概要

水球を端的に説明すれば「ハンドボールを水中で行う」ゴール型球技と言える。試合は 6 名のフィールドプレーヤーと 1 名のゴールキーパーによって行われ、水面上に浮んだゴール (幅 3m、高さ 0.9m) にボールをシュートして、得点を競い合う。試合は 8 分のピリオドを 4 回行い、ロスタイ

* 筑波大学大学院人間総合科学研究科 Graduate school of comprehensive human studies, University of Tsukuba

ムや休憩時間を入れると試合時間は約1時間弱におよび、その間選手は足の届かないプール（水深2m以上で、コートは縦30m(男子)/25m(女子)、横20m)の中で、立ち泳ぎあるいは各種泳法を用いて、泳ぎ続ける事になる。

ボールは、投げるのも、受けるのも片手しか認められておらず、両手で扱うと反則となる。またボールを持っているプレーヤーに対するアタックは許容されており、身体接触が非常に多い。2名の審判が水上からジャッジを行うが、特に水中では見えない場合が多く、しばしば審判の目の届かない水中での激しいポジション争いが行われる。

水中でシュートした際の初速度は、成人男子の平均で約20m/s前後であり⁶⁶⁾、世界トップクラスの選手では24.5m/sに達する¹²⁾。これはハンドボールにおけるスタンディングシュート速度(17.2m/s～23.6m/s)とほぼ等しい^{19,55)}。

シュートやパスを行う際には、水中で「巻き足」と呼ばれる動作を行い、沈まないように身体を安定させている。「巻き足」とは、立位姿勢で下肢を大きく開脚し、膝頭をできる限り水面に近い位置に保ちながら、膝関節を中心として、下腿が円錐形を描くよう左右交互に旋回させ、主に足部で鉛直上方への推力を発揮させる動作である。この巻き足動作は、水球では頻繁に用いられるが、他のスポーツには見られない非常に特異的な動作である。また水球では、状況判断しながら泳ぐ必要があるため、顔を上げたまま泳ぐ「ヘッドアップクロール」を用いたり、停止状態から急発進するための「出足」と呼ばれる、競泳にはない水球独自の泳法も用いられる⁶⁶⁾。

また2000年のシドニーオリンピックから、女子水球も正式種目として採用され、それ以後世界的に見て女子水球の発展は目覚ましい。基本的なルールは男子と同じであるが、コートに関しては、男子が縦30mに対して女子は25mと若干短くなっている。またボールに関しても、男子が周径68～71cmに対して女子は65～67cmとやや小さい。しかし水中でのコンタクトの多さは男子と変わらず、女子にとっては過酷なボールゲームであるとも言える。なお本論文では、特に表記のない場合には、すべて男子のデータとして取り扱うものとする。

Ⅲ 水球選手の身体的特性

1. 形態および体組成

先行研究における水球選手の形態的特性に関するデータ^{2,3,8,11,13,20,27,28,34,35,41,53,64,70,76)}を取りまとめ、表1に示す。

日本人水球代表選手の体格に着目すると、平均値において1962年の調査⁷⁶⁾では、身長171.42cm、体重65.2kgであったのが、1978年⁷⁰⁾には身長174.6±3.3cm、体重70.2±4.9kgとなり、さらに2003年⁶⁴⁾では、身長180.1±5.6cm、体重83.2±10.8kgと、年代を追って、身長、体重とも増加している。しかしながら、ヨーロッパのトッププレーヤーと比べると、依然見劣りするのが現状と言える。

1991年の世界選手権に出場した男子選手全員を対象として、ポジション別（ゴールキーパー、フローター^{注1)}、フローターバック^{注2)}、他のフィールドプレーヤー）に身体的特性を比較したMazza *et.al*²⁸⁾の結果によれば、身長はフローターバック(189.2cm)、ゴールキーパー(189.1cm)、フローター(188.8cm)、他のフィールドプレーヤー(184.0cm)の順に高く、他のフィールドプレーヤーのみが有意に低い値を示した。さらに体重に関しては、フローターバック(91.4kg)、フローター(90.2kg)、ゴールキーパー(86.2kg)、他のフィールドプレーヤー(82.7kg)の順に重く、身長と同様に他のフィールドプレーヤー群は他の3群に比べ有意に低い値を示したと報告している。

ソマトタイプに関しては、Mazza *et.al*²⁸⁾が1991年の世界選手権に出場した男子190名、女子109名を対象として調査を実施し、ソマトスコアを算出している。その結果、男子の平均値は2.5-5.3-2.4と内胚型型を示し、女子は3.6-3.9-2.8と中間型に近いスコアを示した。

体脂肪率とBMIに関しては、いずれも男性のデータのみであるが、イタリア1部リーグ²⁾、クロアチア1部リーグ²⁷⁾、ギリシアの1部リーグ⁵³⁾の選手を対象にした調査によると、体脂肪率は9.4～16.8%の範囲で、BMIは、23.9～26.7の範囲であったと報告されている。

骨密度に関する調査²⁴⁾によると、水球選手は、上肢の骨密度、骨投影面積、単位面積骨密度に関しては、コントロール群より有意に大きい。一方、下肢の単位面積骨密度は、コントロール群より有意に小さかった。一方、ハンドボール選手の場合には、上・下肢ともすべての指標に於いて、コント

Table 1 Physical characteristics of water polo players

Category	Sex	Number of athlete	Age (y)	Height (cm)	Body mass (kg)	Body composition	References
Japanese National team candidates (Rome Olympic Games)	Male	16		171.42	65.2		Toyoda et al. (1962)
Mexico Olympic Games participants	Male	71		179.9±6.9	77.8±8.5	Somatotype 3.0-5.3-2.3	Hebbelinc et al. (1975)
Japanese National team candidates (Munich Olympic Games)	Male	26	20.7	174.6±3.3	70.2±4.9		Goya (1978)
Israeli top-level players	Male	23	19.4±3.5	176.7±7.6	72.8±7.6	Body fat 11.2±3.5%	Dlin et al. (1984)
French National team	Male	8	20.8±2.5	177.4±3.5	74.3±6.0	Body fat 12.1±3.9%	Cazorla and Montpetit (1988)
1991 World Championship participants	Male	190	25.2±3.8	186.5±6.5	86.1±8.4	Somatotype 2.5-5.3-2.4	Mazza et al. (1994)
	Female	109	23.7±3.4	171.3±5.9	64.8±7.2	Somatotype 3.6-3.9-2.8	
Hungarian World Cup winning team	Male	9	23.1±2.7	184.5±3.6	83.9±7.0	Body fat 10.7±1.8%	Csende et al. (1998)
Singapore National team	Male	13	22.5±7.2	178.5±3.9	71.0±8.4	Body fat 13.7±3.8	Aziz et al. (2002)
Japanese National team candidates (Busan Asian Games)	Male	26	23.5±3.3	180.1±5.6	83.2±10.8		Takahashi et al. (2003)
Greek first division players	Male	24	22.8±3.2	182.7±4.0	85.1±8.2	Somatotype 3.0-5.1-2.0	Platanou et al. (2003)
Italian 1st division professional team	Male	10	21.0±4.3	183.2±0.1	80.1±7.1	Body fat 13.7±4.3% BMI 24.0±2.1	Andreoli et al. (2004)
Croatian top club team in 1980	Male	95	21.2±4.0	185.8±5.3	85.2±7.3	Body fat 11.1±3.0% BMI 24.7±1.7	Lozoviva and Pavicic (2004)
Croatian top club team in 1995	Male	65	21.8±3.8	189.6±5.0	85.9±6.9	Body fat 9.4±2.4% BMI 23.9±1.4	
Greek top professional players	Male	19	25.5±5.0	184.5±4.3	90.7±6.4	Body fat 16.8±4.4% BMI 26.7±1.7	Tsekouras et al. (2005)
Australian Senior elite players	Male	19	22.7±3.4	189.0±6.5	88.8±8.3		Mujika et al. (2006)
	Female	22	23.4±2.9	174.1±5.1	68.8±7.8		

ロール群より有意に大きな値を示した。このことから、水球選手の場合、骨量や骨密度が下肢から上肢へと再配分されている²⁴⁾と報告している。

2. 筋組成

水球選手を対象として、筋線維タイプに関して報告しているのは、イスラエルのトップ水球選手

23 名を対象として、外側広筋の遅筋線維の割合を計測した Dlin *et al.*¹³⁾ の 1 例しか見当たらない。

結果は、水球選手の遅筋線維の割合は、44.9±12.2%で、コントロールグループ (44.6±13.0) と差は認められなかった。またこの値は、他の団体競技選手の値⁴⁷⁾とほぼ同等であったと報告している。

3. 柔軟性

水球選手の柔軟性とパフォーマンスとの関連に着目して実施された研究⁴⁾は数少ないが、肩関節の可動域と障害との関係を検討した研究^{16, 57)}はいくつか見られる。

Bloomfield *et al.*⁴⁾は、オーストラリアの水球選手（平均年齢 18.5 歳）21 名に対して、筋力や柔軟性がシュート速度に与える影響を検討した。その結果、体幹部、股関節、肩関節のいずれも可動域の大きさとシュート速度には相関が認められなかったとしている。

Elliott¹⁶⁾は、英国の男子エリート水球選手 13 名を対象として、肩関節の柔軟性と痛みとの関連を検討した。その結果、水球選手はコントロールグループと比較して、利き腕、非利き腕とも水平屈曲可動域が有意 ($p < 0.001$) に大きかった。また水球選手の場合、内旋可動域に関しては、利き腕が非利き腕に対して有意 ($p < 0.01$) に小さかったとしている。さらに利き腕の肩の柔軟性と痛みとの関係を検討したが、両者間には有意な相関は認められなかったと報告している。

Witwer and Sauers⁵⁷⁾は、アメリカの男女大学水球選手 31 名を対象として、利き腕側と非利き腕側の肩関節に関して、肩甲骨の上方回旋角度や内旋／外旋可動域などを計測した。その結果、利き腕側の肩の最大外旋角度は、非利き腕側の肩より有意に大きな角度を示し、内外旋動作の可動域も同様の傾向を示した。このような現象は、野球の投手においても認められ、Mihata *et al.*³³⁾によれば、投球動作による繰り返しの外力が肩関節包を弛緩させ、それにより利き腕側の肩関節動揺性と外旋可動域の増加が起こると説明している。Elliott¹⁶⁾や Witwer and Sauers⁵⁷⁾は、前述のような利き腕と非利き腕との間で可動域の差は、スイマーには認められず、水球選手の特徴であると指摘している。

IV 水球選手の運動生理学的特性

1. 最大酸素摂取量

水球選手を対象として、酸素摂取量を測定したデータ^{8, 11, 13, 18, 35, 39, 44, 53, 54)}を取りまとめて、表 2 に示す。

男子トップクラスの先行研究結果を総括すると、体重あたりの最大酸素摂取量は、57ml/kg/min 前後であり、平均値の最高は、ギリシア代表選手を対象に分析した³⁹⁾ 70.2ml/kg/min であった。また女

子に関しては、先行研究例が少なく、Rechichi *et al.*⁴⁴⁾のデータのみとなるが、 46.4 ± 5.1 ml/kg/min であった。

しかし、表 2 中の値を直接比較するには、最大酸素摂取量を推定する際の運動条件や測定方法が異なるために、注意が必要となる。水球選手は水中環境下での運動に適応しているため、本来の有酸素的作業能力を推定するには、実際の自由水泳中に酸素摂取量を測定することが望ましいが、それらの条件が満たされていたのは、Cazorla and Monpetit⁸⁾と Platanou and Geladas³⁹⁾の研究のみである。実際に得られた結果を見ても、両者の結果はトレッドミルやエルゴメータを用いて計測した他の研究者の値より高くなっていた。

他の種目と最大酸素摂取量を比較すると、男子の場合、競泳⁵⁶⁾が $56.8 \sim 79.9$ ml/kg/min、ホッケー⁴⁵⁾が $60.7 \sim 64.1$ ml/kg/min、ラグビーユニオン（15 人制）¹⁵⁾が $43.2 \sim 62.0$ ml/kg/min、バスケットボール²⁹⁾が 60.7 ± 8.6 ml/kg/min、サッカー²¹⁾が $55.0 \sim 67.6$ ml/kg/min、ハンドボール⁴³⁾が 58.7 ± 0.9 ml/kg/min と、水球選手は競泳や他の球技と同等の値を示した。

また女子に関しても、他の種目と比較すると、水球が 46.4 ± 5.1 ml/kg/min であったのに対して、競泳⁵⁶⁾が $49.8 \sim 66.0$ ml/kg/min、ホッケー⁴⁵⁾が $42.9 \sim 59.3$ ml/kg/min、バスケットボール¹⁾が 50.3 ± 5.6 ml/kg/min と、こちらも同程度の値を示しており、男女とも有酸素的能力に関しては水球選手の優劣を判定することはできない。

2. 乳酸性作業閾値とスイミングエコノミー

Platanou and Geladas³⁹⁾は、ギリシアのトップ水球選手を対象として 4×200m の乳酸カーブテストにより、LT 強度に相当する泳速度 ($V@LT$) の推定を試みた。その結果、国内レベル選手の場合、1.25m/s であったのに対して、国際レベルの選手は 1.31m/s と、有意 ($p < 0.05$) に国際レベルの選手の $V@LT$ が高かったと報告している。また、同様の方法で、ポジション別（フローター、フローターバック、ライトウィング）に $V@LT$ を比較したところ、有意な差は認められなかったと報告している⁴⁰⁾。

一定泳速を保って泳いだ時の酸素摂取量を比較したスイミングエコノミーに関する Cazorla and Monpetit⁸⁾の報告によると、1.1m/s の泳速で泳いだ

Table 2 Oxygen consumption and heart rate peak values of water polo players

Category	Sex	Number of athlete	VO2max (l/min)	VO2max (ml/kg/min)	Peak heart rate (bpm)	Assessment method	References
Canadian adult players	Male	14	4.07	53.3	189	Douglas bag method during cycle ergometry	Goodwin and Cumming (1966)
Israeli 'top-level' players	Male	23		53.3±5.6	194.0±8.5	Douglas bag method during cycle ergometry	Dlin et al. (1984)
Australian state or National level players	Male	8	4.90±0.15		184±3	Breath-by-breath method during maximal tethered swimming	Pinnington (1988)
French National team	Male	8	4.48±0.29	60.8±3.0	190	Douglas bag method during free swimming	Cazorla and Montpetit (1988)
Japanese top high-school players	Male	7	3.81±0.48	51.3±6.9	179.0±9.7	Breath-by-breath method during cycle ergometry	Muraoka (1993)
Hungarian World Cup winning team	Male	9	4.18±1.15		182.1±18.8	Breath-by-breath method during treadmill running	Csende et al. (1998)
Under 20 Western Australian Institute of Sport squad	Male	12	4.18±0.53	56.6±4.5	177±12	Breath-by-breath method during maximal tethered swimming	Rechichi et al. (2000)
Australian state or National level players	Female	13	3.25±0.34	46.4±5.1	178±5		
Australian National-level players	Male	16	4.95±0.39	57.1±5.5	193±10	Breath-by-breath method during arm-and-leg ergometer	Tumilty et al. (2000)
Greek top professional players	Male	19	5.2±0.4	57.9±7.0	174.0±6.0	Indirect method after the maximal 400m freestyle	Tsekouras et al. (2005)
Hungarian Olympic champion team	Male	15		57.8±12.3		Breath-by-breath method during treadmill running	Pavlik et al. (2005)
Greek top National players	Male	15	4.9±0.8	57.1±9.3	186.8±7.2	Breath-by-breath method after the maximal 400m freestyle	Platanou and Geladas (2006)
Greek International players	Male	15	5.5±0.6	70.2±7.0	179.9±6.3		

場合、競泳選手の単位距離あたりの酸素摂取量が 55.4 ± 4.0 l/km であったのに対して、水球選手は 67.2 ± 8.0 l/km と 21% も効率が悪かった。このような大きな差が生じるのは、競技者のストロークテクニックの優劣や身体的特性が流体抵抗や推進力に大きな影響を及ぼすため⁵⁰⁾で、水球選手のストロークテクニックが競泳選手に比べて劣っていることを示唆するものである。

3. 無酸素性パワー

水球競技では、立ち泳ぎをしながら、相手選手とポジション争いをする格闘技の要素が大きく、特に下肢に加えて、上肢のパワーが重要と考えら

れる。しかし、水球選手を対象として、上肢および下肢の無酸素性パワーを測定したデータ^{3, 49, 52, 73, 77)}は、あまり多くないが、それらを取りまとめて、表3に示す。

男子の場合、上肢のピークパワーは約 480～650W、下肢は約 800～1100W の範囲にあった。この値を他の種目^{5, 9, 14, 32, 43)}と比較すると、上肢パワーに関しては、競泳選手³²⁾の約 680～830W や槍投げ選手⁵⁾の 720W に比べてやや劣っていた。

一方、下肢パワーに関しては、ハンドボール選手⁴³⁾の 1172W や槍投げ選手⁵⁾の 1208W とほぼ同等であった。しかし、被験者レベルや測定時の時間、設定負荷など、測定方法が異なるため、最大

Table 3 Anaerobic power values of upper/lower body of water polo players, and the reference values of other sports

Category	Sex	Number of athlete	Upper body peak power (W)	Relative upper body peak power (W/kg)	Upper body mean power (W)	Lower body peak power (W)	Relative lower body peak power (W/kg)	Lower body mean power (W)	Assessment method	References
Romanian water polo player	Male	17						485	Cycle ergometer 1min	Szogy and Cherebetiu (1974)
Japanese collegiate water polo player	Male	11				804±109			Combi Power Max 6-10sec	Yaguchi et al. (1986)
	Male	24	653±93			1102±133			Combi Power Max 10sec	
Japanese top-collegiate water polo players	Female	12	309±45			754±99			0.615kp/kg(arms) 0.1kp/kg(legs)	Yanagi et al. (1994)
Canadian National water polo team	Male	28	497		353				N/A	Smith (1998)
Singapore National water polo team	Male	12	479±79.8	6.9±1.1		1048±168	14.6±1.5		Cycle ergometer 10sec	Aziz et al. (2002)
French sprint swimmer	Male	8	828±70	10.7±1.4						
French middle-distance swimmer	Male	9	678±29	9.7±1.2					Monark 864 6sec 112.7N-130.3N	Mercier et al. (1993)
French district volleyball player	Male	18		10.42±1.1			15.8±1.4		Monark 864 6sec 78.4N(legs) 58.8N(arms)	Driss et al. (1998)
Brazilian National level athlete	Male	4-swimmer 3-water polo		6.71±0.88			7.44±1.96		Monark cycle ergometer 30sec	Colantonio (2003)
French International handball player	Male	7				1172±47	14.8±0.7		Cycle ergometer 6sec	Rannou et al. (2001)
Trained Javelin Throwers	Male	10	720±133	8.48±1.1		1208±272	14.19±2.2		Monark 864 7sec 1.5%Body weight	Bouhliel et al. (2006)

酸素摂取量同様、結果を直接比較するには注意が要する。

次に無酸素パワーと水球のパフォーマンスとの関連を検討した研究を紹介する。伊坂や柳ら^{58,60,78)}は、独自に作成した水中浮上力測定器を用いて大学水球選手を対象として、腕と脚の無酸素パワー（10秒間の腕クランキング運動およびペダリング運動時）と水中での浮上力との関連を検討した。

その結果、男女水球選手（男子 24 名、女子 12 名）を対象とした研究では、腕の無酸素パワーとスカーリングによる水中浮上力、また脚の無酸素パワーと巻き足による水中浮上力との双方に有意な相関関係が認められ、さらに男子が女子に対してすべての測定項目において有意に大きな値を示したとしている⁷⁸⁾。

一方、女子のみを対象として、脚のパワーと巻き足による浮上力との関連を調べた研究⁵⁸⁾では、両者の間には、有意な相関関係が認められなかったとしている。その理由として、巻き足は、パワー

のみならず、柔軟性や技術など様々な要因が関与するため、経験年数の浅い女子ではパワーとの関連が低くなった⁵⁸⁾と推察している。

また伊坂⁶⁰⁾は、同上の測定機器によるトレーニング実験より、脚によって発揮される無酸素パワーを向上させることによって、巻き足による浮上力が向上する可能性を示唆している。

4. 心臓超音波検査（心エコー）

先行研究における水球選手を対象とした心臓の超音波検査^{7, 35, 36, 51, 59)}の結果をまとめて、表 4 に示す。

水球選手は、非常に高い運動強度で、全身持久力と筋パワーの双方を鍛錬するようなトレーニングを行っているため、左心室壁厚が非鍛錬者群やパワートレーニング群と比較して、有意に厚いことが報告されている^{7, 35, 36)}。

また、世界トップクラスの水球選手群と持久的トレーニング群とを比較した報告³⁵⁾によると、体重当たりの最大酸素摂取量に関しては、水球選手

Table 4 Echocardiographic assessment of water polo players

Subjects	Sex	Number of athlete	Age (yr)	BSA (m ²)	Resting heart rate (bpm)	WT/BSA ^{0.5} (mm/m)	EDD/BSA ^{0.5} (mm/m)	LVM/BSA ^{1.5} (g/m ³)	WT/EDD	SH.FR (%)	References
American collegiate water polo players	Male	21	25.0	2.03		15.0	38.4	100.6	0.39		Spirito et al. (1994)
Italian highly competitive players	Male	20	19.7	1.86	65.6	14.9	37.0	93.6	0.4	38.2	Caso et al. (2000)
Greek National team of 1999 World Cup	Male	18	24.3	2.00	62	16.6	38.6	116.4	0.43	33.5	Zakynthinos et al. (2001)
Hungarian junior elite players	Male	26	17.6	2.10	56.7	14.3	37.0	89.6		38.8	Petridis et al. (2003)
Hungarian Olympic champion team	Male	11	22.0	2.22	55.1	16.8	37.9	116		44.5	
Hungarian 2000 Olympic champion team	Male	15	23.0	2.20	55.1	16.8	37.8	114.2	0.44	36.4	Pavlik et al. (2005)

BSA: Body Surface Area

WT: Left ventricular wall Thickness

EDD: Left ventricular End Diastolic Diameter

LVM: Left Ventricular Muscle mass

SH.FR: Shortening fraction

群 (57.8ml/kg/min) より持久的トレーニング群 (70.9ml/kg/min) の方が有意に高かったにもかかわらず、安静時脈拍においては、逆に水球選手群 (57.8bpm) の方が持久的トレーニング群 (59.3bpm) より、やや低かった。このことは、左心室筋量に関して、水球選手群 (378g) が持久的トレーニング群 (299g) より有意に高いことと関連すると考えられる。さらに他の競技選手に関する測定結果⁵¹⁾と比較しても、水球選手群の左心室筋量の値は、かなり高いと報告している。

5. 筋力

筋力と水球パフォーマンスとの関連、特に筋力とシュート速度に着目した研究について紹介する。シュート速度と有意な相関が認められた筋力項目は、舟崎⁷²⁾の報告では、ベンチプレスとリストカール、Bloomfield *et al.*⁴⁾の報告では、握力と肩伸展、肩内旋、体幹屈曲の各筋力、宮城⁶¹⁾の報告では、握力、背筋力、非利き脚の膝伸展および膝屈曲筋力、さらにハイクリーン、ジャーク、フルスクワットとの相関が高かったと報告している。よってシュート速度向上を目指したトレーニング処方を行う場合は、上記の筋力項目に着目して、強化するのが効果的と考えられる。

また水球選手の筋力と障害との関連を検討するために McMaster *et al.*³¹⁾は、アメリカの男子水球ナショナルチームメンバー15名を対象として、肩関節の内転/外転、内旋/外旋動作時の等速性筋力

を測定した。

その結果、エリート水球選手では内転/外転動作時の筋出力を比較すると、2:1で内転時が外転時の出力を大きく上回っていた。また内旋/外旋動作時の筋出力に関しては、1:0.6で内旋時が外転時をかなり上回っていた。よって水球選手は、内転/外転、内旋/外旋の両動作とも一方が大きく、コントロール群よりアンバランスであると指摘している。McMaster *et al.*³¹⁾は、このアンバランスが障害に結びつく可能性を示唆し、内転や内旋と比較して筋力の劣る外転および外旋時の筋力強化の必要性を唱えている。

V 水球ゲーム中の運動パターンおよび運動強度

1. ゲーム中の運動パターン

水球のゲーム中のエネルギー消費量を見積もるために、実際のゲームにおける選手の動きを分析した報告を紹介する。

Smith⁴⁸⁾は、カナダ国内リーグの8試合を対象とし、選手をフィールドプレーヤーとゴールキーパーに分類して、それぞれが試合中、実際に運動している時間と休んでいる時間の割合を分析したところ、フィールドプレーヤーの場合は、実動時間34分に対して、休止時間が20分で、試合時間に対する実動時間の割合は73%だったとしている。一方、ゴールキーパーの場合は、フィールドプレーヤーより休止時間が長く、実動時間16分、休止時間39分で実動割合は、34%に過ぎなかったと報告

している。

この値を他の球技と比較すると、オーストラリア国内バスケットボールリーグを分析した結果²⁹⁾によると、平均実動割合は 56.1%であった。またラグビーユニオン (15 人制)³⁰⁾の場合は、実動時間と休止時間の割合は、1:1 から 1:1.9 の割合で、同等あるいは休止時間の方が長かった。よって、水球のフィールド選手における実動時間割合は、かなり高いといえる。

試合中の運動パターンについて、さらに詳細に分析した結果⁴⁸⁾によると、選手 1 人につき、1 回の平均運動持続時間は、20 秒以下であり、さらにダッシュなど高強度での運動時間は 7~14 秒であった。その他、大まかに運動パターンを分類すると、浮いて留まっている時間が試合時間全体に占める割合は 16%、ゆっくりとしたクロールが 5%、中程度のクロールが 12%、スプリントクロールが 8%、相手選手とのコンタクトのある攻防が 13~15%、攻防への準備動作が 24%という割合であった。また Platanou³⁸⁾は、FINA カップに出場した計 48 名の運動パターンを分析した結果、ポジションによって異なることを示した。特に、フローター

とフローターバックとの間には、スイム、立ち泳ぎ、ボールの保持などの時間が試合時間に占める割合が有意に ($p<0.05$) 異なり、スイムに関しては、フローターの方が多く、立ち泳ぎとボール保持に関しては、フローターバックの方が多いことを示した。

一方、ゴールキーパーの運動パターンに関しては、Smith⁴⁸⁾と Platanou and Thanopoulos⁴²⁾が分析を行っており、両者の結果を表 5 に示す。両者の分類法には若干差異があるが、数値に関しては、ほぼ同様の割合を示した。最も割合が高かったのが、ゆっくりとしたスカーリングをしている時間で、全体の 6 割以上を占めた。

2. ゲーム中の移動距離および移動速度

ゲーム中の移動距離および移動速度に関するデータ^{22, 65, 74)}をまとめて、表 6 に示す。

泳距離に関しては、1 試合平均で約 1600~2000m、泳速度の平均は約 0.6~0.7m/s で、最も出現頻度が多かった泳速度は、0.3~0.5m/s であった。ユニバーシアード大会を対象とした高木⁶⁵⁾の報告によれば、頻度が多かった 0.4m/s 以下の速度での移動は、主に立ち泳ぎによるものと考えられるが、

Table 5 Notational analysis results for water polo goalkeepers

Category	Sex	N	Easy sculling (%)	Ready sculling for jumping (%)	Passing (%)	Fast swimming (%)	Jumping (%)	Hands up (%)	References
Canadian International and National goal keepers	Male	5	66	27		6	< 1	< 1	Smith (1991)
Greek first division goal keepers	Male	15	63.32	19.32	3.78	0.57	0.59	0.44	Platanou and Thanopoulos (2002)

Table 6 Average of swimming distance and velocity during the particular water polo games

Analyzed match	Swimming distance (m)			Swimming velocity (m/s)			Sex	N	References
	Maximum	Average	SD	Maximum	Average	Appeared frequently velocity			
Japanese intercollegiate games (1982)	2211.5	1907.1	257.3	2.40	0.70	0.3	Male	6	Tsubakimoto (1986)
Universiade Games in Kobe (1985)	1835.0	1620.0	178.0	2.50	0.70	0.3-0.4	Male	70	Takagi (1987)
European Championships in Bonn (1989)	1971.0	1776.3	114.4	2.67	0.64	less than 0.5	Male	24	Hohmann (1992)

実際に泳いだ距離に換算した場合、一番長い距離を泳ぐのに用いられていた速度帯は、1.2～1.4m/sであった。この速度は、100m 泳に換算すると 70～80 秒で泳ぐ速度に相当し、強度的にそれほど高くない。しかし最高泳速は、約 2.4～2.7m/s に達しており、瞬間的には 50m 自由形世界記録を大きく上回る速度で移動していることを報告している。

3. ゲーム中の運動強度およびエネルギー需要

1) 心拍応答

心拍数をパラメータとして、水球ゲーム中の運動強度の推定を試みた研究^{18, 23, 37, 39-41, 73, 76)}がいくつか報告されている。オーストラリアの水球選手を対象に、試合中の心拍数をモニターした Pinnington *et al.*³⁷⁾の報告によれば、試合中の平均心拍数は約 162～175bpm の範囲で、最大心拍数は平均 186±1bpm に達していた。また村岡ら⁷³⁾は、高校一流水球選手を対象に、競技中の心拍数を測定した結果、平均心拍数が 170±10bpm で、2 分間のインターバルを挟んだ後も 120±8bpm までしか低下しないまま次のピリオドに臨んでいることを観察した。さらにオランダ女子水球選手を対象とした Hollander *et al.*²³⁾の分析によると、試合中の最大心拍数の平均は 189.2±9.3bpm で、1 試合を通した平均心拍数は、最大心拍数の 82.8%に達していたと報告している。

他の球技と比較すると、サッカー¹⁷⁾では 157±19bpm、バスケットボール²⁹⁾では 169±9bpm (87±2%HRpeak)、ホッケー⁶⁾では 158.6±8bpm、ハン

ドボール²⁶⁾では 155.6±13.0bpm (85% HRpeak)、ラグビーリーグ (13 人制)¹⁰⁾では 166±10bpm と、他の球技より水球の方がやや高いといえる。

次に、ゲーム中の心拍数について、最高心拍数 (HRpeak) に対する割合で分割分類し、その頻度を調べた報告^{29, 39, 41)}を表 7 にまとめて示す。Platanou^{39, 41)}によれば、最高心拍数の 95%を超える極めて高強度の運動が行われている時間が、試合時間の 15～20%に達することが明らかとなった。また試合内容との関連では、2 点差以内で試合展開が白熱した試合と 2 点差以上の点差がついた試合とで心拍数の頻度分布を比較すると、2 点差以内の試合のほうが、90%をこえる高強度の頻度が高いと報告している。

この心拍数の分布に関して、バスケットボールにおける報告²⁹⁾と比較すると、水球とほぼ同様であるが、90～95%運動強度の割合が水球よりやや多い傾向を示した。

2) 血中乳酸濃度

実際の試合中の血中乳酸濃度を測定した報告^{23, 25, 40, 46)}をまとめて表 8 に示す。

まず女子選手を対象とした報告^{23, 25)}では、ピリオド間の休憩時に測定した血中乳酸値は 3.5～5.8mM の範囲にあり、ピリオドの進行に伴う有意な変化は認められなかった。一方、男子選手を対象とした報告では、非常にばらつきが大きい。スペインの選手を対象とした報告⁴⁶⁾では、各ピリオド後の乳酸値は 5.0～9.5mM であったのに対して、ギリシアの選手を対象とした報告⁴⁰⁾では、3.0～

Table 7 Percentage of total playing time spent at various exercise intensities during the water polo and basketball games

Category	Sex	N	Percentage of heart rate to the peak value				References
			<85%	85-90%	90-95%	>95%	
Greek National league (within 2 goals difference)	Male	24	33.0±16.5	21.1±8.0	24.5±9.4	21.4±10.6	Platanou and Nikolopoulos (2003)
Greek National league (more than 2 goals difference)	Male	24	47.8±24.7	19.4±6.4	18.2±10.5	14.6±5.5	
Greek top water polo club players	Male	13	41.6±3.9	20.2±1.4	20.5±1.9	17.7±3.3	Platanou and Geladas (2006)
Australian National Basketball League	Male	8	25	23	36	15	McInnes et al. (1995)

Table 8 Mean blood lactate values during the water polo games

Category	Sex	N	Period				References
			1st	2nd	3rd	4th	
Dutch Major League water polo players	Female	19	5.39±2.30	5.84±1.87	5.19±1.96	4.94±2.14	Hollander et al. (1994)
Spanish International water polo field players	Male	9	7.12±2.57	9.45±2.37	9.04±2.46	8.05±2.56	Rodorigues (1994)
Spanish International water polo goalkeepers	Male	2	5.47	5.06	5.71	5.05	
English university and National league water polo players	Female	8	3.48±0.4	4.26±0.5	4.26±0.7	4.61±0.5	Konstantaki et al. (1998)
Greek first division water polo players	Male	30	3.91±1.89	4.22±1.80	3.70±1.80	3.47±1.90	Platanou and Geladas (2006)

4.0mM の範囲にあり、両者の数値には倍ほどの差がある。これらの値に関しては、ゲームレベルや選手のポジション、さらには出場時間等が異なるため、直接比較することはできないと思われる。

それを裏付けるデータとして、特にフィールドプレーヤー (8.1~9.5mM) とゴールキーパーと (5.1~5.7mM) では、明らかに異なることが示された⁴⁶⁾。

他の球技における試合後の血中乳酸値を測定した報告を参照すると、バスケットボール²⁹⁾では 6.8±2.8mM、ラグビーリーグ (13 人制)¹⁰⁾では 7.2±2.5mM であった。

3) エネルギー需要と供給機構

Hohmann と Frase²²⁾は、ゲーム中の泳速度を分析し、事前の 2 スピードテストによって得られた血中乳酸濃度と泳速度との関係式を用いて、試合中の運動強度を推定した。その結果、泳速度から判定すると、6mM に相当する非常に強度の高い速度を越えた時間は、全体の 10.8±2.2%に過ぎず、試合中の多くの時間が 2mM 以下の低強度の泳速度で泳ぐ割合が多いとしている。

一方、Platanou と Geladas⁴⁰⁾は、心拍数と 4×200m 泳の乳酸カーブテストとの関係から、試合時間の 58.7%に相当する時間において、乳酸性作業閾値 (LT) を超える高い強度で運動をしていると事を明らかにした。さらに白熱した試合展開の場合、最高心拍数の 95%相当以上の超高強度での運動時間の割合が 20%を越える事を示した。

両者の結果は相反するが、水球の試合中、時間的には泳速度が 0.4m/s 以下の立ち泳ぎをしている

時間が最も多いため、泳速度だけで判定すると、Hohmann と Frase²²⁾のように強度を過小評価する可能性がある。しかし実際には立ち泳ぎをしている間も相手とのコンタクトがあるため、運動強度はかなり高く、最大心拍数の 80%以上で運動している時間が全ゲーム時間の 62.6%を占める²³⁾。また試合中は、間欠的に 2.5m/s を超える高強度の運動を繰り返し行っており、血中乳酸値は約 11mM 以上に達する例も報告されている⁴⁶⁾。

しかしどの報告も試合進行に伴う、血中乳酸濃度には大きな変動は認められなかった。よって水球選手は、高強度の運動によって乳酸が大量に産生されても、それを除去する乳酸緩衝能力が重要であると示唆される。

VI 水球選手のパフォーマンステスト

選手選考の基準作成やタレント発掘を目的として、水球選手のパフォーマンスを測定するテストがいくつか作成されている。

日本水泳連盟では、水球委員会科学研究部が 4 項目 (シャトルスイム、ポストタッチ、スプリント、遠投) からなるパフォーマンステストを策定し、実際の選手選考の参考にしている。それぞれの測定項目の内容を簡潔にまとめると、

- 1) シャトルスイム 持久的能力を評価するために、シャトルランを改良したテストで、10m 間隔のコースロープ間をシグナル音に合わせて往復する。泳速 0.8m/s からスタートし、約 1 分毎に泳速が 0.05m/s 漸増するようにシグナル

音の間隔が短縮される。最終的にシグナル音に追いつけなくなるまでの総シャトル回数を測定し、得点とするものである。

- 2) ポストタッチ 水中での移動に関する俊敏性を評価するために、ゴールポスト間をポストにタッチしながら 5 往復するのに要した時間を計測するものである。
- 3) スプリント 速泳能力を評価するために、スタート地点のコースロープに頭をつけた状態から、出足でスタートし、25m を泳ぎきるのに要した時間を計測し、泳速度に換算する。
- 4) 遠投 足のつかない水中でできる限りボールを遠くに投げ、その距離を測定するものである。

以上の測定項目に関して、その有効性を検討した報告⁶⁴⁾によると、従来の選考基準で、A：代表レギュラー選手、B：代表控え選手、C：代表落選選手の3つのグループに分け、それぞれの測定値の平均を比較したところ、4 種目すべてにおいて、各グループの平均値間に有意な差が認められ、本テストが水球選手のタレント発掘のためのバッテリーテストとして有効であるとしている。

西オーストラリアスポーツ機構では、Multistage Shuttle Swim Test (MSST) と呼ばれる、シャトルスイムを日本より早く導入し、水球選手の持久的能力を評価するバッテリーテストとして活用している。テスト内容は、ほぼ日本と同様で、10m のコースロープ間をシグナルに合わせて往復し、その回数で評価する（詳細は Rechichi *et al.*⁴⁴⁾を参照）。MSST の信頼性を検討した報告⁴⁴⁾によれば、MSST のパフォーマンスと最大酸素摂取 ($r=0.825$, $p<0.0001$) や 400m 泳記録 ($r=0.767$, $p<0.0001$) には高い相関関係が認められ、MSST を持久的能力評価のために用いることの妥当性を確認したとしている。

さらに、同じオーストラリアの AIS (Australia Institute of Sports) は、Water Polo Intermittent Shuttle Test (WIST) と称するバッテリーテスト作成している。テスト内容は、Rechichi *et al.*⁴⁴⁾のテストより、コースロープの間隔を 7.5m に短縮し、持久的能力に加え、方向変換能力なども合わせて評価しようとしている（詳細は Mujika³⁴⁾を参照）。WIST の信頼性を検討した報告³⁴⁾によれば、WIST のパフォーマンスは極めて再現性 ($r=0.98$, $p<0.0001$) が高く、テスト終了後の最高心拍数 ($r=0.96$) や血中乳酸濃度 ($r=0.84$) に関しても、再現性が確認さ

れたとしている。また WIST のパフォーマンスとコーチの主観的な評価得点との相関を検討した結果、フローターを除いた選手間では、両者に高い正の相関関係 ($r=0.83$, $p<0.0027$) が認められ、選手のコンディションや適性を評価するうえでの WIST の有効性が認められたとしている。

持久的能力以外で、水球選手にとって重要な能力を評価する方法として、Tumilty *et al.*⁵⁴⁾は、水中での浮上能力測定を提案している。プールサイドおよび水底に滑車を設置し、その滑車を介してケーブルの一端を選手の腰に固定し、もう一端をダイナモメーターに接続する。ケーブルには常に 10N の張力が作用している状態で、選手は最大努力で水上にジャンプし、そのときの出力を測定するものである。このテストは、特にゴールキーパーのバッテリーテストとして有効であると思われる。

VII トレーニングへの応用とまとめ

これまでの分析結果より、1 試合における泳距離は、約 1600~2000m の範囲にあることから、持久的能力を強化するためのスイムトレーニングでは、メインとなるトレーニング距離を 2000m 程度に設定し、少なくとも総泳距離が 4000m 前後になるようなプログラムを立てることが望ましい。具体的には、メインとなるインターバルトレーニングでは、200m×10 本、あるいは 100m×20 本を心拍数が 170~180bpm 程度となるスピードで泳ぎ、休息時間を 30 秒程度とするなどのプログラムが考えられる。しかし水球では、間欠的に、95%@HRpeak のような超最大負荷がかかるため、基礎的な持久力に加えて、耐乳酸性能力を高めるプログラムも必要となる。具体的には、ほぼ最大努力で、短い距離 (15~25m) を比較的長い休息 (1 分から 1 分半) 取りながら、繰り返して泳ぐプログラムが考えられる。さらに、1 時間弱の試合時間中、血中乳酸値がどんどん上昇して運動続行不能とならぬよう、運動強度と休息時間を調整し、乳酸緩衝能力を高めるようなトレーニングを工夫する必要がある。

またピリオド間の休息時間の有効活用に関して検討した高橋ら^{62, 63)}の報告によると、2 分間のインターバルでは、スイム、キック、完全休息の順で、乳酸除去率が高かったとしている。よって実際の試合において、全身を使った Active rest を積極的に導入するべきであると思われる。

以上、これまでの水球競技に関する体力科学的な研究成果をまとめたが、実際の試合中のエネルギー需要量を正確に推定し、トレーニング処方に反映させようとする試みは行われているものの、未だ十分とは言えない。さらに 85%HRpeak に相当する高い強度の運動を継続しながら、ディフェンダーを振り切ったシュートなど、超最大強度の運動を遂行するための能力を向上させるためには、どんなトレーニングを行うべきか、さらに検討する必要があると思われる。

注

- 注 1 フローター：攻撃の際に、敵陣ゴール正面に位置し、攻撃の拠点となるプレーヤーを指し、サッカーのセンターフォワードに相当する。
- 注 2 フローターバック：防御の際に、敵のフローターをマークしディフェンスの要となるプレーヤーを指し、サッカーのフルバックに相当する。

参考文献

- Alonso, M. R., Garcia, B. F., Landaluze, J. P. and Terrados, N. (2003): Blood lactate and heart rate during national and international women's basketball. *J Sports Med Phys Fitness* 43(432-436).
- Andreoli, A., Melchiorri, G., Volpe, S. L., Sardella, F., Iacopino, L. and Lorenzo, A. D. (2004): Multicompartment model to assess body composition in professional water polo players. *J Sports Med Phys Fitness* 44(1): 38-43.
- Aziz, A. R., Lee, H. C. and Teh, K. C. (2002): Physiological characteristics of Singapore national water polo team players. *J Sports Med Phys Fitness* 42(3): 315-319.
- Bloomfield, J., Blanksby, B. A., Ackland, T. R. and Allison, G. T. (1990): The influence of strength training on overhead throwing velocity of elite water polo players. *Aust J Sci Med Sport* 22(3): 63-67.
- Bouhlef, E., Chelly, M. S., Tabka, Z. and Shephard, R. (2007): Relationships between maximal anaerobic power of the arms and legs and javelin performance. *J Sports Med Phys Fitness*. 47(2): 141-146.
- Boyle, P. M., Mahoney, C. A. and Wallace, W. F. M. (1994): The competitive demands of elite male field hockey. *J Sports Med Phys Fitness* 34(3): 235-241.
- Caso, P., D'Andrea, A., Galderisi, M., Liccardo, B., Severino, S., Simone, L. D., Izzo, A., D'Andrea, L. and Mininni, N. (2000): Pulsed doppler tissue imaging in endurance athletes: relation between left ventricular preload and myocardial regional diastolic function. *American Journal of Cardiology* 85(9): 1131-1136.
- Cazorla, G. and Montpetit, R. R. (1988): Metabolic and cardiac responses of swimmers, modern pentathletes, and water polo players during freestyle swimming to a maximum. (Ed.) Ungerechts, B. E., Wilke, K. and Reischle, K. (In) *Swimming Science V. Human Kinetics*, Champaign, IL, pp.251-257.
- Colantonio, E., Barros, R. V. and Kiss, M. A. P. D. M. (2003): Oxygen uptake during wingate tests for arms and legs in swimmers and water polo players. *Rev Bras Med Esporte* 9(3): 141-144.
- Coutts, A., Reaburn, P. and Abt, G. (2003): Heart rate, blood lactate concentration and estimated energy expenditure in a semi-professional rugby league team during a match: a case study. *J Sports Sci*. 21(2): 97-103.
- Csende, Z., Mészaáros, J., Tihanyi, J. and Zsiedegh, M. (1998): Body composition and cardiorespiratory characteristics of world class waterpolo and kayak athlete. *Coaching and Sport Science Journal* 3(3): 9-13.
- Darras, N. G. (1999): Maximum shooting velocity in water polo direct shot and shot with fairs of the international level athletes participating in the 10th FINA world cup. (Ed.) Keskinen, K. L., Komi, P. V. and Hollander, A. P. (In) *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*. University of Jyväskylä, Jyväskylä, pp.185-190.
- Dlin, R. A., Dotan, R., Inbar, O., Rotstein, A., Jacobs, I. and Karlsson, J. (1984): Exaggerated systolic blood pressure response to exercise in a water polo team. *Med Sci Sports Exerc* 16(3): 294-298.
- Driss, T., Vandewalle, H. and Monod, H. (1998): Maximal power and force-velocity relationships during cycling and cranking exercises in volleyball players. Correlation with the vertical jump test. *J Sports Med Phys Fitness*. 38(4): 286-293.
- Duthie, G., Pyne, D. and Hooper, S. (2003): Applied

- physiology and game analysis of rugby union. *Sports Med* 33(13): 973-991.
- 16) Elliott, J. (1993): Shoulder pain and flexibility in elite water polo players. *Physiotherapy* 79(10): 693-697.
 - 17) Eniseler, N. (2005): Heart rate and blood lactate concentrations as predictors of physiological load on elite soccer players during various soccer training activities. *J Strength Cond Res.* 19(4): 799-804.
 - 18) Goodwin, A. B. and Cumming, G. R. (1966): Radio telemetry of the electrocardiogram, fitness tests, and oxygen uptake of water-polo players. *Can Med Assoc J* 95(9): 402-406.
 - 19) Gorostiaga, E. M., Granados, C., Ibanez, J. and Izquierdo, M. (2005): Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *Int J Sports Med* 26(3): 225-232.
 - 20) Hebbelink, M., Carter, L. and De Garay, A. (1975): Body build and somatotype of Olympic swimmers, divers and water polo players. (Ed.) Lewillie, L. and Clarys, J. P. (In) *Swimming II*. University Park Press, Baltimore, MD, pp.285-305.
 - 21) Hoff, J. (2005): Training and testing physical capacities for elite soccer players. *J Sports Sci* 23(6): 573-582.
 - 22) Hohmann, A. and Frase, R. (1991): Analysis of swimming speed and energy metabolism in competition water polo games. *Proceedings of FINA First World Water Polo Coaches Seminar*, Athens, pp.208-213.
 - 23) Hollander, A. P., Dupont, S. H. J. and Volkerijk, S. M. (1994): Physiological strain during competitive water polo games and training. (Ed.) Miyashita, M., Mutoh, Y. and Richardson, A. B. (In) *Medicine and Science in Aquatic Sports*. Karger, Basel, pp.178-185.
 - 24) Kavouras, S. A., Magkos, F., Yannakoulia, M., Perraki, M., Karipidou, M. and Sidossis, L. S. (2006): Water polo is associated with an apparent redistribution of bone mass and density from the lower to the upper limbs. *Eur J Appl Physiol* 97(3): 316-321.
 - 25) Konstantaki, M., Trowbridge, E. A. and Swaine, I. L. (1998): The relationship between blood lactate and heart rate responses to swim bench exercise and women's competitive water polo. *J Sports Sci* 16(3): 251-256.
 - 26) Loftin, M., Anderson, P., Lytton, L., Pittman, P. and Warren, B. (1996): Heart rate response during handball singles match-play and selected physical fitness components of experienced male handball players. *J Sports Med Phys Fitness.* 36(2): 95-99.
 - 27) Lozovina, V. and Pavicic, L. (2004): Anthropometric changes in elite male water polo players: survey in 1980 and 1995. *Croat Med J* 45(2): 202-205.
 - 28) Mazza, J. C., Ackland, T. R., Bach, T. M. and Cosolito, P. (1994): Absolute body size. (Ed.) Carter, J. E. L. and Ackland, T. R. (In) *Kinanthropometry in aquatic sports: a study of world class athletes*. Human Kinetics, Champaign, IL, pp.15-54.
 - 29) McInnes, S. E., Carlson, J. S., Jones, C. J. and McKenna, M. J. (1995): The physiological load imposed on basketball players during competition. *J Sports Sci* 13: 387-397.
 - 30) McLean, D. A. (1992): Analysis of the physical demands of international rugby union. *J Sports Sci.* 10(3): 285-296.
 - 31) McMaster, W. C., Long, S. C. and Caiozzo, V. J. (1991): Isokinetic torque imbalances in the rotator cuff of the elite water polo player. *Am J Sports Med* 19(1): 72-75.
 - 32) Mercier, B., Granier, P., Mercier, J., Trouquet, J. and Prefaut, C. (1993): Anaerobic and aerobic components during arm-crank exercise in sprint and middle-distance swimmers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 66(5): 461-466.
 - 33) Mihata, T., Lee, Y., McGarry, M. H., Abe, M. and Lee, T. Q. (2004): Excessive humeral external rotation results in increased shoulder laxity. *Am J Sports Med.* 32(5): 1278-1285.
 - 34) Mujika, I., McFadden, G., Hubbard, M., Royal, K. and Hahn, A. (2006): The water-polo intermittent shuttle test: A match-fitness test for water-polo players. *J Sport Physio Perform* 1: 27-39.
 - 35) Pavlik, G., Kemeny, D., Kneffel, Z., Petrekanits, M., Horvath, P. and Sido, Z. (2005): Echocardiographic data in Hungarian top-level water polo players. *Med Sci Sports Exerc* 37(2): 323-328.
 - 36) Petridis, L., Kubátová, J. and Petridou, K. (2003): A swim-test and echocardiographic results on male

- junior water polo players. *Physical Education and Sport* 1: 1-10.
- 37) Pinnington, H. C., Dawson, B. and Blanksby, B. A. (1988): Heart rate responses and the estimated energy requirements of playing water polo. *J Hum Movement Stud* 15: 101-118.
 - 38) Platanau, T. (2004): Time-motion analysis of international level water polo players. *J Hum Movement Stud* 46: 319-331.
 - 39) Platanou, T. and Geladas, N. (2006): The influence of competitiveness on match exercise intensity in elite water polo players. (Ed.) Vilan-Boas, J. P., Alves, F. and Marques, A. (In) *Biomechanics and Medicine in Swimming X*. University of Porto, Porto, pp.163-165.
 - 40) Platanou, T. and Geladas, N. (2006): The influence of game duration and playing position on intensity of exercise during match-play in elite water polo players. *J Sports Sci.* 24(11): 1173-1181.
 - 41) Platanou, T. and Nikolopoulos, G. (2003): Physiological demands of water polo games with different levels of competitiveness. (Ed.) Chatard, J. C. (In) *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*. University of Saint-Etienne, Saint-Etienne, pp.493-497.
 - 42) Platanou, T. and Thanopoulos, V. (2002): Time analysis of the goalkeepers' movements in water polo. *Kinesiology* 34(1): 94-102.
 - 43) Rannou, F., Prioux, J., Zouhal, H., Gratas-Delamarche, A. and Delamarche, P. (2003): Physiological profile of handball players. *J Sports Med Phys Fitness* 41(3): 349-353.
 - 44) Rechichi, C., Dawson, B. and Lawrence, S. R. (2000): A multistage shuttle swim test to assess aerobic fitness in competitive water polo players. *J Sci Med Sport* 3(1): 55-64.
 - 45) Reilly, T. and Borrie, A. (1992): Physiology applied to field hockey. *Sports Med* 14(1): 10-26.
 - 46) Roderigues, F. A. (1994): Physiological testing of swimmers and water polo players in Spain. (Ed.) Miyashita, M., Mutoh, Y. and Richardson, A. B. (In) *Medicine and Science in Aquatic Sports*. Karger, Basel, pp.172-177.
 - 47) Saltin, B. and Gollnick, P. D. (1983): Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. (Ed.) D., P. L., H., A. R. and R., G. S. (In) *Handbook of physiology: Skeletal muscle*. American Physiological Society, Bethesda, MD, pp.555-631.
 - 48) Smith, H. K. (1991): Physiological fitness and energy demands of water polo: time-motion analysis of field players and goaltenders. (Ed.) FINA First World Water Polo Coaches seminar, FINA, Athens, pp.183-207.
 - 49) Smith, H. K. (1998): Applied physiology of water polo. *Sports Med* 26(5): 317-334.
 - 50) Smith, H. K., Monpetit, R. R. and Perrault, H. (1988): The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance. *Eur J Appl Physiol* 58: 182-188.
 - 51) Spirito, P., Pelliccia, A., Proschan, M. A., Granata, M., Spataro, A., Bellone, P., Caselli, G., Biffi, A., Vecchio, C. and Maron, B. J. (1994): Morphology of the "athlete's heart" assessed by echocardiography in 947 elite athletes representing 27 sports. *Am J Cardiol* 74: 802-806.
 - 52) Szöggy, A. and Cherebetiu, G. (1974): A 1-min bicycle ergometer test for determination of anaerobic capacity. *Eur J Appl Physiol* 33: 171-176.
 - 53) Tsekouras, Y. E., Kavouras, S. A., Campagna, A., Kotsis, Y. P., Syntosi, S. S., Papazoglou, K. and Sidossis, L. S. (2005): The anthropometrical and physiological characteristics of elite water polo players. *Eur J Appl Physiol* 95(1): 35-41.
 - 54) Tumilty, D., Logan, P., Clews, W. and Cameron, D. (2000): Protocols for the physiological assessment of elite water polo players. (Ed.) Gore, C. J. (In) *Physiological tests for elite athletes*. Human Kinetics, Champaign, IL, pp.411-421.
 - 55) van den Tillaar, R. and Ettema, G. (2007): A three-dimensional analysis of overarm throwing in experienced handball players. *J Appl Biomech* 23(1): 12-19.
 - 56) Van Handel, P. J., Katz, A., Morrow, J. R., Troup, J. P., Daniels, J. T. and Bradley, P. W. (1988): Aerobic economy and competitive performance of U.S. elite swimmers. (Ed.) Ungerechts, B. E., Wilke, K. and Reischle, K. (In) *Swimming Science V. Human Kinetics*, Champaign, IL, pp.219-227.

- 57) Witwer, A. and Sauers, E. (2006): Clinical measures of shoulder mobility in college water-polo players. *J Sport Rehabil* 15(1): 45-57.
- 58) Yanagi, H., Amano, K., Sakai, T. and Hara, A. (1995): Vertical force exerted during eggbeater kick in water polo. (Ed.) Komi, P. V. (In) *XV th Congress of the International Society of Biomechanics Abstract Book*. University of Jyväskylä, Jyväskylä, pp.1016-1017.
- 59) Zakyntinos, E., Vassilakopoulos, T., Mavrommati, I., Filippatos, G., Roussos, C. and Zakyntinos, S. (2001): Echocardiographic and ambulatory electrocardiographic findings in elite water-polo athletes. *Scand J Med Sci Sports* 11(3): 149-155.
- 60) 伊坂忠夫 (1991): 水球競技のトレーニングの科学ー立ち泳ぎの運動の強化策. (Ed.) トレーニング科学研究会 (In) *競技力向上のスポーツ科学 3*. 朝倉書店, 東京, pp.78-87.
- 61) 宮城進 (1986): 水球競技におけるシュート力についてーボールスピード向上のための要因ー. *仙台大学紀要* 18: 85-93.
- 62) 高橋淳一郎, 高橋宗良, 黒田瑞城 (1999): 水球競技におけるインターバル時の積極的休息時間と血中乳酸濃度の関係. *スポーツ方法学研究* 12(1): 105-110.
- 63) 高橋淳一郎, 青木純一郎 (1998): 水球競技のインターバルにおける Active rest が血中乳酸濃度の減少に及ぼす影響. *体力科学* 47: 173-180.
- 64) 高橋淳一郎, 藤本秀樹, 南隆尚, 榎本至, 小森康加, 高橋宗良 (2003): 水球トップ選手の競技レベルとパフォーマンステストの関係. *スポーツ方法学研究* 16(1): 83-90.
- 65) 高木英樹 (1987): 水球のゲーム分析ー泳距離と泳速度についてー. *筑波大学体育研究科修士論文集* 9: 93-96.
- 66) 高木英樹 (2007): 水球競技のバイオメカニクス. *バイオメカニクス研究* 11(2): 68-82.
- 67) 高木英樹, 真田久 (2005): 英国における水球 (Water Polo) 競技の始まりとルールの変遷に関する研究. *筑波大学体育科学系紀要* 28: 79-90.
- 68) 高木英樹, 真田久 (2006): 水球 (Water Polo) の伝播と各国の受容に関する研究. *筑波大学体育科学系紀要* 29: 53-65.
- 69) 高木英樹, 真田久 (2007): 日本におけるウォーターポロ(水球)の伝播と普及に関する研究. *筑波大学体育科学系紀要* 30: 75-84.
- 70) 合屋十四秋 (1978): 水球選手の体力と技術の測定について. *水泳研究紀要* 2: 1-15.
- 71) 若吉浩二, 榎田幸徳, 土肥徳秀, 平岡亮, 瓜田吉久, 手塚一志, 福林徹, 上牧裕, 下條仁士 (1987): 水球選手の運動障害についてー膝関節障害を中心としてー. *体力科学* 36(2): 85-94.
- 72) 舟崎紘史 (2006): 水球競技におけるシュートスピードの向上について. 第 6 回 *International Swimming Research Symposium*, 東京, pp.21.
- 73) 村岡康博, 山内美代子, 洲雅明, 堀田昇 (1993): 高校一流選手の試合中の心拍数からみた水球の競技特性. *健康科学* 15: 51-56.
- 74) 谷口有子, 中村好男, 宮下充正 (1986): 有酸素性および無酸素性作業能力からみた大学生の体力. *東京大学教育学部紀要* 26: 285-293.
- 75) 椿本昇三, 坂田勇夫, 阿江通良 (1986): 水球のゲーム分析ーDLT 法によるー. *体育の科学* 36: 712-716.
- 76) 入沢雅典, 柴田義晴 (1989): 水中におけるボールゲームの運動強度についてー小学校高学年を対象としてー. *日本体育学会第40回大会号*: 745.
- 77) 豊田章, 平井淳, 勝村龍一 (1962): 水球競技の医学的研究. *東京教育大学体育学部紀要* 2: 179-186.
- 78) 柳等, 酒井達郎, 斉藤好史, 当麻成人, 原朗, 清原伸彦 (1994): 水球選手の無酸素性パワーと立ち泳ぎの浮上力. (編) 永田昆 第 12 回 *バイオメカニクス論文集*. 第 12 回日本バイオメカニクス学会大会実行委員会, 所沢, pp.236-240.