

M. Fenzl<sup>1,4</sup>, W. Schnizer<sup>2</sup>, B. Hartmann<sup>3</sup>, B. Villiger<sup>1</sup>, O. Knüsel<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Swiss Olympic Medical Center, CH-7310 Bad Ragaz

<sup>2</sup> Agnes-Bernauer-Strasse 170, D-80687 München

<sup>3</sup> Balneologie, Universitätsklinikum Freiburg, D-79189 Bad Krozingen

<sup>4</sup> Klinik Valens, CH-7317 Valens

# Unterschiede in der maximalen Sauerstoffaufnahme bei körperlichen Belastungen im Wasser oder an Land

## Zusammenfassung

Im Rahmen von Trainingsmethoden zur Verbesserung der Ausdauerleistung, die im Wasser durchgeführt werden, hat sich seit einigen Jahren das Aquajogging und neuerdings auch Training an Geräten eingebürgert. Der experimentellen Literatur wurden Daten entnommen, welche einen Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) im Wasser und an Land bei folgenden Bewegungsformen erlaubten: Schwimmen, Aquajogging und Wasserfahrrad. Dabei fanden sich 45 Studien (16 Schwimmen, 22 Aquajogging, 7 Wasserfahrrad). Beim Schwimmen und Aquajogging wurden unter Maximalbelastung durchschnittlich 86,4% bzw. 83,5% der Referenzbelastung Land erreicht, beim Wasserfahrrad waren dies 98,5%. Eine Aufschlüsselung nach dem Trainingszustand ergab folgendes Bild beim Schwimmen: 89,4% (trainiert) bzw. 79,2% (wenig trainiert). Zu den wichtigsten Faktoren in der Erklärung der verringerten  $\text{VO}_2\text{max}$ -Werte im Wasser gehören Übungsgrad in der Bewegungsform und Trainingszustand. Ein hohes technisches Fertigkeitenniveau sowie eine gute Ausdauerleistungsfähigkeit vermindern die  $\text{VO}_2\text{max}$ -Differenzen im Wasser/Land-Vergleich. Bei im Wasser und an Land gleicher Bewegungsform (z.B. Fahrradergometer) ist mit ähnlichen  $\text{VO}_2\text{max}$ -Werten zu rechnen. Hier lassen sich die an Land gewonnenen  $\text{VO}_2\text{max}$ -Werte direkt auf die Wassersituation übertragen.

### Schlüsselwörter:

Maximale Sauerstoffaufnahme, maximale aerobe Kapazität, Aquajogging, Schwimmen, Immersion und körperliche Belastung

## Abstract

Over the last few years, aqua jogging and endurance training using machines have become training methods in the water to improve aerobic performance. In this review, meaningful maximal oxygen uptake ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) data were gathered in swimming, aqua jogging and water cycling from the literature. 45 studies (16 swimming, 22 aqua jogging, and 7 water cycling) were found. Compared to the land based values,  $\text{VO}_2\text{max}$  of swimming reached 86.4%, aqua jogging 83.5%, and water cycling 98.5%. Analysis of the fitness level resulted in the following differences between swimmers: 89.4% (well trained) compared to 79.2% (untrained). The most important influences for the reduced  $\text{VO}_2\text{max}$  in water are familiarity of the task and fitness level. Proficiency in technique and a good endurance capability diminish the  $\text{VO}_2\text{max}$  difference between water and land. Similar movement patterns in water and on land (e.g. cycling) show comparable  $\text{VO}_2\text{max}$  values. In this case a transfer of land-based  $\text{VO}_2\text{max}$  values to the water condition is allowed.

### Key words:

Maximal oxygen uptake, maximal aerobic capacity, Deep water running, swimming, water cycling, water exercise

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 53 (4), 172–178, 2005

## Einleitung

Innerhalb der Bewegungstherapie und der Methoden körperlichen Trainings werden zunehmend auch Bewegungsformen im Wasser populär. Begriffe wie Aqua-Training, Aqua-Fitness oder Aqua-Jogging sind geläufige Alternativen zu Übungen und Training an Land. Selbst Fitnessgeräte finden heute im Wasser Verwendung (z.B. Wasserfahrrad). Zu den vorteilhaften Eigenschaften des Trainings im Wasser gehört die Gewichtsentlastung, welche gelenkschonende und verletzungsfreie Bewegungsaktivitäten erlaubt. Beliebt ist das Aufbautraining im Wasser nach Verletzungen und Operationen am Bewegungsapparat ebenso wie ein Ausdauertraining bei Sportlern, die einen Teil ihres Programms im Wasser absolvieren.

Die physikalischen Eigenschaften des Wassers (z.B. Auftrieb, hydrostatischer Druck, Viskosität, Temperatur) bedeuten für Bewegungsaktivitäten eine Veränderung der Arbeitsbedingungen,

die sich in den funktionellen Reaktionen des Organismus niederschlagen. Es besteht inzwischen eine umfangreiche Literatur zu den metabolischen und kardiorespiratorischen Effekten bei körperlichen Belastungen im Wasser. Was die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_2\text{max}$ ) angeht, ist verschiedentlich auf eine Reduktion des Wertes im Wasser gegenüber demjenigen an Land hingewiesen worden. Das ist für die Leistungsdiagnostik von Interesse, zumal in der Trainingssteuerung die Dosierung häufig von Funktionswerten aus maximalen Belastungen abgeleitet wird. Die Befunde in der Literatur sind aber nicht widerspruchsfrei. Für die  $\text{VO}_2\text{max}$ -Unterschiede spielen eine ganze Reihe von Einflussgrößen eine Rolle, von denen die Eigenschaften des Wassers einen Teil ausmachen.

Wir diskutieren in dieser Übersichtsarbeit den Wasser/Land-Vergleich von  $\text{VO}_2\text{max}$  aufgrund einer Literaturrecherche. Dabei wurde das traditionelle Schwimmen, das Aquajogging sowie das Wasserfahrrad berücksichtigt.

## Methoden

Eingeschlossen wurden Publikationen, die folgende Kriterien erfüllten: Daten zu  $VO_2\max$  und Transparenz von Versuchsplanung und -durchführung, welche die Beurteilung von  $VO_2\max$  im Wasser/Land-Vergleich erlaubten. Das heisst, bei jeder Bewegungsform musste einem Belastungstest im Wasser ein Test an Land gegenüberstehen. Zudem war es wünschenswert, Informationen zu erhalten zur Wassertemperatur, zu Geschlecht, Alter und Trainingsstatus der Probanden. Studien an Patienten bzw. mit klinischem Aspekt wurden nicht berücksichtigt.

Die Studien wurden in der Literaturlbank Medline gesucht sowie auch über die sportwissenschaftlichen Datenbanken Sporfor und Sportlit abgerufen. Die Freitextsuche erfolgte an Hand von möglichst sensitiv eingegebenen Schlagwörtern (water exercise, swimming, head out water immersion, Deep water running, oxygen uptake, aerobic power, maximal aerobic capacity). Um ältere Literatur ausfindig zu machen, wurden zusätzlich die Referenzlisten der gefundenen Arbeiten nach weiteren brauchbaren Artikeln durchgegangen.

Die statistische Beurteilung der Ergebnisse erfolgte mit dem Programm SPSS 11.1 für Windows, wobei das Signifikanzniveau auf  $p \leq 0.05$  festgelegt wurde. Bei den Mittelwertvergleichen wurde der Wilcoxon-Test verwendet. Grundlage waren die in den Publikationen angeführten Mittelwerte, weil die Befunde einzelner Probanden meist nicht mitgeteilt werden. Da bei Bewegungsaktivitäten im Wasser die Bedeutung des Körpergewichts für  $VO_2\max$  zurücktritt, wurden in den Tabellen 1–3 die  $VO_2\max$ -Werte in L/min angeführt.

## Ergebnisse

Es konnten insgesamt 45 Einzelstudien in 31 Publikationen lokalisiert werden, davon 7 mit weiblichen, 32 mit männlichen und 6 mit Probanden beiderseitigen Geschlechts. Alle teilnehmenden Personen waren gesund und jüngeren oder mittleren Alters (durchschnittlich  $25.6 \pm 5.6$ ). 28 Studien wurden mit Ausdauertrainierten, 4 Studien mit Trainierten und Untrainierten sowie 14 Studien mit Untrainierten absolviert, wobei die Bezeichnung untrainiert auch geringe technische Geübtheit in der jeweiligen Bewegungsform einschliesst. Es fanden sich 16 Arbeiten zum Schwimmen, 22 Studien zu Aquajogging, davon 20 zu Deep water running (DWR) und 2 zu Shallow water running (SWR) und 7 Arbeiten zum Wasserfahrrad. Aquajogging und Schwimmen stand als Referenz-

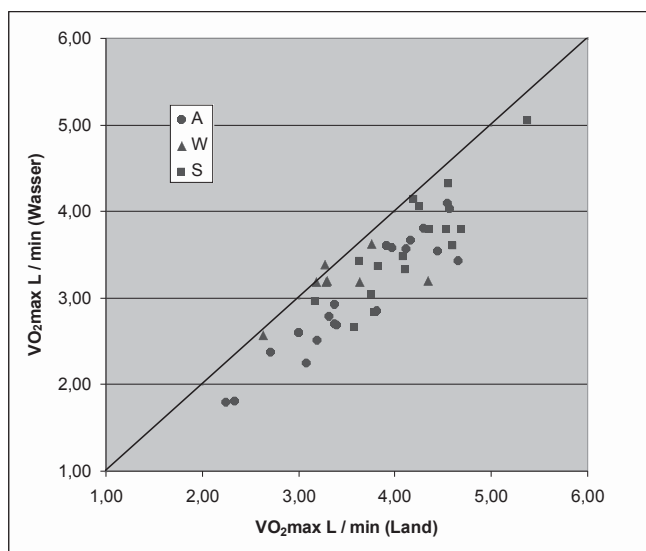


Abbildung 1: Vergleich der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2\max$ ) von Belastungsformen im Wasser (Aquajogging/DWR [A], Wasserfahrrad [W] und Schwimmen [S]) mit Referenzbelastungen an Land (Laufen, Fahrrad). Die Daten entstammen den Tabellen 1–3. Jeder Punkt entspricht dem Mittelwert eines Probandenkollektivs.

methode an Land eine Laufbelastung (Laufband) gegenüber, während die Fahrradbelastung im Wasser und an Land mit technisch ähnlichen Geräten durchgeführt wurde. Ausnahmen sind zwei Studien, wo Wasserfahrrad mit Laufband und eine Studie, wo Schwimmen mit Fahrradbelastung, verglichen wurde (Tab. 1–3).

In der Abbildung 1 sind  $VO_2\max$  aus den Belastungen im Wasser denen des Landtests gegenübergestellt. Ein Zeichensymbol repräsentiert jeweils den Durchschnittswert eines Probandenkollektivs. Die Abbildung gibt zu erkennen, dass die überwiegende Zahl der Werte deutlich unterhalb der Identitätslinie liegt. Das heisst, die im Wasser erzielten  $VO_2\max$ -Werte erreichten überwiegend nicht die an Land beobachteten Werte.

Der Mittelwertvergleich (Tab. 1–3) lässt eine Differenzierung der Belastungsarten zu. Die Werte für Schwimmen betragen im Mittel 86,4% (74,3% bis 98,6%), für Deep water running 83,5% (73,1% bis 91,8%) und für die Fahrradbelastungen 98,5% (96,7% bis 100,3%) des Wertes vom Landtest. Eine Klassifizierung nach hohem und geringerem Trainingsstatus bzw. geringerem technischem Niveau ergibt folgendes Bild: Schwimmen 89,4% (trainiert) vs. 79,2% (wenig trainiert); Deep water running 85,5% (trainiert) vs. 78,9% (wenig trainiert). Wegen der meist gemischt trainiert/untrainiert zusammengesetzten Versuchsgruppen wurde bei den Fahrradstudien auf eine Aufschlüsselung verzichtet.

## Diskussion

Bewegungsformen, wie sie im Rahmen eines Ausdauertrainings herangezogen werden, verlangen den Einsatz eines relativ grossen Anteils der Skelettmuskulatur in dynamischer Belastung sowie deren intensitätsmässig geeignete Aktivierung, um die angestrebten funktionellen und morphologischen Trainingswirkungen zu erreichen. Dabei können Maximalbelastungen, die zu einer sehr hohen Beanspruchung z.B. der Funktionen des kardiorespiratorischen Systems und des Energiestoffwechsels führen, sowohl in der Leistungsdiagnostik eine Rolle spielen, als auch als Bezugsgrösse für die Dosierung eines Trainings verwendet werden. Da solche Maximalbelastungen in erster Linie von der Kapazität sauerstofftransportierender und -umsetzender Systeme abhängig sind, kann die  $VO_2\max$  als Mass für die körperliche Leistungsfähigkeit im Sinne der allgemeinen aeroben Ausdauer herangezogen werden (Hollmann und Hettinger, 2000).

Schwimmen, Laufen und Radfahren gehören zu den in der Praxis wichtigen Bewegungsformen, die im Rahmen eines Ausdauertrainings eingesetzt werden. Auch Laufen und das Fahrrad lassen sich mehr und mehr im Wasser beobachten. Insbesondere das Aquajogging, das als Deep water running (DWR) frei schwebend im Wasser oder als Shallow water running (SWR) mit Bodenkontakt vorkommt, ist in Mode gekommen. Die in der Literaturrecherche erfassten und in den Tabellen 1–3 zusammengestellten Publikationen bieten ein umfangreiches Datenmaterial zur Beurteilung von  $VO_2\max$  im Wasser/Land-Vergleich der Bewegungsarten Schwimmen, Aquajogging und Wasserfahrrad sowie deren Referenzbelastungen an Land (Laufband, Fahrradergometer). In der Recherche liess sich die bei körperlichen Belastungen im Wasser mehrfach beschriebene Reduktion von  $VO_2\max$  im Grundsatz bestätigen. Allerdings ergab sich eine Abhängigkeit von der Bewegungsart. Der Wasser/Land-Vergleich wies für das Aquajogging (DWR) und das Schwimmen mit etwa 15% eine ähnlich grosse  $VO_2\max$ -Differenz aus (Tab. 1 und 3). Bei den beiden Fahrradbelastungen waren die  $VO_2\max$ -Werte praktisch identisch (Tab. 2).

Als Ursachen der im Wasser verminderten  $VO_2\max$  sind eine Reihe von Erklärungsmodellen anzuführen, die in unterschiedlichem Masse zum Tragen kommen. Letztlich beruht das auf Faktoren, die in den Eigenschaften des Wassers und der im Organismus ausgelösten physiologischen Reaktionen gründen als auch personenbezogene und bewegungsspezifische Eigenschaften betreffen. Im Folgenden wird auf potenzielle Einflussfaktoren eingegangen: Aktivierte Muskelmasse, Trainingszustand, Übungsgrad, Auftrieb im Wasser, Viskosität des Wassers, hydrostatischer Druck, thermische Bedingungen und Art der Referenzbelastung an Land.

Autoren	Temp.	Bewegungsart	Kollektiv	Vpn	Alter	VO <sub>2</sub> max	VO <sub>2</sub> max
	Wasser	Wasser/Land				Wasser	Land
	°C		m/w; t/u	n	Jahre	l/min	l/min
Brown et al. (1996)	29	DWR / Laufen	m, u			2.92	3.38
Brown et al. (1996)	29	DWR / Laufen	w, u			1.80	2.34
Butts et al. (1991a)	29	DWR / Laufen	m, t	12	20.6	4.09	4.55
Butts et al. (1991a)	29	DWR / Laufen	w, t	12		2.79	3.32
Butts et al. (1991b)	29	DWR / Laufen	w, t	12	15.4	2.60	3.00
Dowzer et al. (1999)	29	DWR / Laufen	m, t	15	40.9	2.85	3.82
Frangolias and Rhodes (1995)	28	DWR / Laufen	m / w, t	13	28.0	3.60	3.92
Frangolias et al. (1996)	28	DWR / Laufen	m, t	15		3.56	4.12
Frangolias et al. (1996)	28	DWR / Laufen	m, u	6		3.54	4.45
Frangolias et al. (2000)	28	DWR / Laufen	m, t	10		3.66	4.17
Glass et al. (1995)	28.5	DWR / Laufen	m, t	10		3.58	3.97
Glass et al. (1995)	28.5	DWR / Laufen	w, t	10		2.37	2.71
Mercer et al. (1994)		DWR / Laufen	m / w, u	23		2.70	3.38
Michaud et al. (1995a)	29–30	DWR / Laufen	m, t	6	25.5	3.80	4.30
Michaud et al. (1995b)	27–29	DWR / Laufen	m / w, u	10		1.79	2.25
Nakanishi et al. (1999a)	32.5	DWR / Laufen	m, u	20	28.0	2.68	3.40
Nakanishi et al. (1999b)	32.5	DWR / Laufen	m, u			2.51	3.20
Nakanishi et al. (1999b)	32.5	DWR / Laufen	m / u			2.25	3.08
Svedenhag and Seger (1992)	25	DWR / Laufen	m, t	10	26.4	4.03	4.57
Town and Bradley (1991)		DWR / Laufen	m / w, t	9	20.2	3.42	4.66
Mittelwerte ± Standardabweichung						3.03 ± 0.70	3.63 ± 0.73
						p < 0.001	
Town and Bradley (1991)		SWR / Laufen	m / w, t	9	20.2	4.30	4.50
Dowzer et al. (1999)	29	SWR / Laufen	m, t	15	40.9	3.17	3.82

Table 1: Liste der in der Literaturrecherche erfassten Studien zur maximalen Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>max) bei körperlichen Belastungen im Wasser (Aquajogging) und an Land (Laufen) mit ausgewählten Daten (m = männlich, w = weiblich, t = ausdauertrainiert, u = untrainiert bzw. wenig geübt, DWR = Deep water running, SWR = Shallow water running, Vpn = Versuchspersonen).

Es ist einsichtig, dass ein VO<sub>2</sub>max-Test in einer möglichst bewegungsspezifischen Untersuchung (z.B. Läufer auf Laufband) absolviert werden sollte. Nur dann können die trainierten Muskelgruppen mit den spezifischen Bewegungsmustern erschöpfend belastet und verglichen werden. Bei Bewegungsarten, die einem Wasser/Land-Vergleich unterzogen werden, ist das aber häufig nicht optimal zu realisieren. Das gilt z.B. für das Schwimmen, dessen Referenzbelastung an Land, der Literaturrecherche nach, bis auf eine Ausnahme mit dem Laufband erfolgte. Schon ähnlicher sind sich Laufen im Wasser und an Land, und praktisch identische technisch-biomechanische Bedingungen sind in den Fahrrad-Tests gewährleistet. Bereits aus der Unterschiedlichkeit zu den Referenzbelastungen sind Auswirkungen auf VO<sub>2</sub>max-Differenzen zu erwarten.

Die Bedeutung des Trainingszustandes und des bewegungstechnischen Übungsgrads für VO<sub>2</sub>max ist allgemein anerkannt. Der Übungsgrad versteht sich als eine dem Trainingsstatus einer Bewegungsform zugeordnete Grösse. Sie betrifft die Qualität der Bewegungskoordination bzw. der bewegungsspezifischen Technik, die auch bei exzellent trainierten zentralen und peripheren Funktionen mehr oder weniger gut ausgebildet sein kann. Die Verbindung beider Faktoren schafft die Voraussetzungen für eine hohe VO<sub>2</sub>max. Am Beispiel Schwimmen lässt sich zeigen, dass mangelnde Technik zur Erhöhung der VO<sub>2</sub>max-Differenz im Wasser/Land-Test beiträgt. Andererseits sind die Fahrrad-Tests ein Beleg dafür, dass bei vergleichbarer Technik und Übungsgrad keine auffälligen VO<sub>2</sub>max-Differenzen auftreten.

Wenn im Wasser Bewegungsaktivitäten ausgeübt werden, sind der Auftrieb und die Viskosität bzw. der Wasserwiderstand im Spiel, welche gegenüber Luftumgebung für die Bewegungsorgane neue Bedingungen schaffen. Der Auftrieb führt je nach Eintauch-

tiefe zu Entlastungen vom Körpergewicht und folglich zu Reduzierung von Haltearbeit bzw. von Aktivität der Antigravitationsmuskulatur. Die Viskosität bedeutet Bewegungswiderstand, der mit der Bewegungsgeschwindigkeit zunimmt. Auftrieb und Viskosität des Wassers stellen zwei Variablen dar, die interagieren, und deren Manipulation (Eintauchtiefe bzw. Bewegungsgeschwindigkeit) den energetischen Aufwand für die Bewegungsaktivität und somit auch von VO<sub>2</sub>max im Wasser beeinflusst.

Der Faktor hydrostatischer Druck interessiert vor allem deshalb, weil durch ihn eine Reihe von physiologischen Veränderungen im kardiopulmonalen System induziert wird und somit die sauerstoffversorgenden Funktionen tangiert werden. Es fragt sich, ob hier mit limitierenden Einflüssen auf VO<sub>2</sub>max zu rechnen ist. Bei körperlicher Arbeit im Medium Wasser ist zunächst daran zu denken, dass nicht nur von der Bewegungsaktivität selbst, sondern bereits in Ruhe physiologische Effekte auftreten. Das ist am Modell der thermoneutralen (34–35 °C) Wasserimmersion, wo Auftrieb und hydrostatischer Druck zur Geltung kommen und thermoregulatorische Vorgänge keine Rolle spielen, eingehend studiert worden (Lit. s. Epstein, 1992). Auslöser einer Reihe von kardiopulmonalen Funktionsänderungen ist die vom hydrostatischen Druck verursachte Blutvolumenverschiebung aus dem Venenbereich (Peripherie, Abdomen) in den Thorax. Die Blutverteilung führt im Sinne eines verbesserten venösen Rückstroms zu einer Erhöhung des intrathorakalen Blutvolumens. Zu den wichtigsten dadurch bedingten Änderungen im Herz-Kreislauf-System gehören eine Erhöhung des zentralen Venendruckes, eine Druckzunahme im rechten Vorhof und in der Pulmonalarterie, eine Erhöhung von Schlagvolumen und Herzzeitvolumen bei einer Tendenz zu verringerter Herzfrequenz und unverändertem Blutdruck sowie eine Abnahme der peripheren Gefässwiderstände. Die Kreislauf-

Autoren	Temp.	Bewegungsart	Kollektiv	Vpn	Alter	VO <sub>2</sub> max	VO <sub>2</sub> max
	Wasser	Wasser / Land				Wasser	Land
	°C		m/w; t/u	n	Jahre	l/min	l/min
Christie et al. (1990)	32.5	Rad / Rad	m, t / u	10	28.0	3.39	3.28
Connelly et al. (1990)	32.5	Rad / Rad	m, t / u	9	29.0	2.57	2.63
Dressendorfer et al. (1976)	30	Rad / Rad	m, t / u	7	27.0	3.18	3.29
Perini et al. (1998)	30	Rad / Rad	m, t	7	22.0	3.62	3.76
Sheldahl et al. (1987)	31	Rad / Rad	m, u	12	26.0	3.19	3.18
Mc Ardle et al. (1976)	33	Rad / Rad	m, t	6	26.0	3.20	3.30
Mittelwerte ± Standardabweichung						3.19 ± 0.35	3.24 ± 0.36
p > 0.05							
Dressendorfer et al. (1976)	30	Rad / Laufen	m, t / u	7	27.0	3.18	3.63

Tabelle 2: Liste der in der Literaturrecherche erfassten Studien zur maximalen Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>max) bei körperlichen Belastungen im Wasser (Wasserfahrrad) und an Land (Fahrrad, Laufen) mit ausgewählten Daten (m = männlich, w = weiblich, t = ausdauertrainiert, u = untrainiert bzw. wenig geübt, Vpn = Versuchspersonen).

Autoren	Temp.	Bewegungsart	Kollektiv	Vpn	Alter	VO <sub>2</sub> max	VO <sub>2</sub> max
	Wasser	Wasser / Land				Wasser	Land
	°C		m/w; t/u	n	Jahre	l/min	l/min
Åstrand and Saltin (1961)		Schw / Laufen	m, t	7	22–48	3.79	4.69
Dixon and Faulkner (1971)		Schw / Laufen	m, t	6		4.05	4.26
Dixon and Faulkner (1971)		Schw / Laufen	m, u	6		2.66	3.58
Holmér (1972)	25–27	Schw / Laufen	w, t	12	15.3	2.96	3.17
Holmér (1972)	25–27	Schw / Laufen	w, t	5	19.0	4.32	4.56
Holmér (1972)	25–27	Schw / Laufen	m / w, u	4	28.2	3.03	3.76
Holmér et al. (1974a)	25–27	Schw / Laufen	m, t	12		5.05	5.38
Holmér et al. (1974a)	25–27	Schw / Laufen	w, t	11		3.42	3.64
Holmér et al. (1974b)	27–29	Schw / Laufen	m, t	5	18–39	3.79	4.54
Holmér and Bergh (1974)	34	Schw / Laufen	m, t	5	21.4	3.60	4.60
Magel and Faulkner (1967)		Schw / Laufen	m, t	17	20.0	4.14	4.20
Magel and Faulkner (1967)		Schw / Laufen	m, u	4		2.83	3.79
Magel et al. (1975)		Schw / Laufen	m, u	30		3.47	4.08
Mc Ardle et al. (1971)	27–28	Schw / Laufen	m, t	5	19.4	3.36	3.83
Mc Ardle et al. (1978)		Schw / Laufen	m, u	19	21.1	3.32	4.11
Mittelwerte ± Standardabweichung						3.59 ± 0.61	4.15 ± 0.53
p < 0.05							
Åstrand and Saltin (1961)		Schw / Rad	m, t	7	22–48	3.79	4.36

Tabelle 3: Liste der in der Literaturrecherche erfassten Studien zur maximalen Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>max) bei körperlichen Belastungen im Wasser (Schwimmen) und an Land (Laufen, Fahrrad) mit ausgewählten Daten (m = männlich, w = weiblich, t = ausdauertrainiert, u = untrainiert bzw. wenig geübt, Schw = Schwimmen, Vpn = Versuchspersonen).

regulation in der thermoneutralen Wasserimmersion unter Ruhebedingungen bedeutet für das Herz im Vergleich zum Aufenthalt an Land eine erhöhte Vorlast mit daraus folgender erhöhter Ejektion (Frank-Starling-Mechanismus) und für die Peripherie eine gesteigerte Durchblutung.

Dies ist auch die Grundsituation für eine körperliche Belastung im Wasser. Gegenüber einer vergleichbaren Belastung an Land verlaufen Pulmonalarteriendruck, Schlagvolumen und Herzzeitvolumen auf einem höheren Niveau, wie Christie et al. (1990) am Modell des Wasserfahrrads zeigen konnten. Die Belastungsherzfrequenzen weisen im submaximalen Bereich und bei Wassertemperaturen von etwa 30–33 °C ein vergleichsweise zu Landbedingungen ähnliches Verhalten auf, die Herzfrequenzen bei Maximalbelastungen sind aber reduziert. Sowohl im submaximalen als auch im maximalen Arbeitsbereich gehen die Herzfrequenzen mit abnehmender Wassertemperatur zurück. Die Blutdrucke sind auf dem Wasserfahrrad in ihrem Anstiegsverhalten nicht auffällig

unterschiedlich zu denen bei körperlichen Belastungen an Land. Insgesamt gesehen, bedeutet die Kreislagsituation im Wasser für die Sauerstoffversorgung der arbeitenden Muskulatur günstige Voraussetzungen.

Vergleichbare kardiopulmonale und hämodynamische Untersuchungen wurden auch für das Schwimmen und seine Referenzbelastung Laufband (Land) durchgeführt. Der hydrostatische Immersionseffekt am Venensystem sowie die horizontale Körperposition beim Schwimmen begünstigen die diastolische Füllung des Herzens, woraus das erhöhte Schlagvolumen resultiert. Der mittlere Blutdruck ist vergleichsweise zum Laufen an Land erhöht (Holmér et al., 1974b) sowie die maximale Herzfrequenz, wie das auch bei anderen Bewegungsaktivitäten im Wasser beobachtet wird, reduziert. Das maximale Herzzeitvolumen, das wesentliche Kriterium für VO<sub>2</sub>max, ist ähnlich (Dixon und Faulkner, 1971) oder etwas geringer (Holmér et al., 1974b) als die bei maximalem Laufen gefundenen Werte. Diese Befunde wurden an gut trainier-

ten Schwimmern erhoben. Dixon und Faulkner (1971) berichteten über Befunde, wonach Freizeitschwimmer geringere Herzzeitvolumina und Schlagvolumina bei maximalem Schwimmen gegenüber maximalem Laufen aufwiesen. Die zirkulatorischen Unterschiede in diesen Studien könnten mit Unterschieden im Trainingsstatus erklärt werden.

Auch die respiratorischen Komponenten werden im Wasser bereits in Ruhe beeinflusst. Der in der Wasserimmersion erhöhte Druck auf den Thorax und das erhöhte intrathorakale Blutvolumen beeinträchtigen Atemmechanik und Compliance der Lunge, so dass gegen erhöhte Strömungswiderstände mehr an Inspirationskraft aufgewendet werden muss. Vitalkapazität, expiratorisches Reservevolumen, Residualvolumen und funktionelle Residualkapazität sind vermindert. Diese Veränderungen sind Basis der Ventilation bei körperlichen Belastungen im Wasser, für die z.B. das Atemminutenvolumen (AMV) eine Kenngröße darstellt. Mit zunehmender Arbeitsintensität steigt das AMV ähnlich dem Verhalten an Land, die Maximalwerte sind im Wasser aber geringer, was Folge der erwähnten pulmonalen mechanischen und strömungsbedingten Restriktionen sein dürfte. Beim Schwimmen tragen die horizontale Schwimmlage sowie die Kopplung von Atmung und Rhythmus der Armarbeit zu zusätzlich ventilatorischen Behinderungen bei. Die maximalen Atemminutenvolumina gehen im Vergleich zum Aquajogging viel stärker zurück. Trotzdem bleibt die adäquate Oxygenation des Blutes erhalten (Holmér et al., 1974b). Auch tritt die z.B. für intensive Laufbelastungen (Land) typische Hyperventilation nicht mehr auf. Als Folge davon sinkt im Wasser/Land-Vergleich das Atemäquivalent als Zeichen einer verbesserten Atemökonomie.

Fast man die Befunde zusammen, so ist es unwahrscheinlich, dass im Vergleich von Wasser- mit Landbelastungen das kardiopulmonale System als ein limitierender Faktor für Aufnahme von Sauerstoff und seinem Transport zur Arbeitsmuskulatur auftritt. Die Einschränkungen im respiratorischen System bei Belastungen im Wasser scheinen nicht auffällig mit dem pulmonalen Gasaustausch zu interferieren. Auch bei niedriger Gesamtventilation im Vergleich zum Laufen (Land) ist die alveoläre Ventilation ausreichend für eine adäquate Sättigung des arteriellen Blutes. Ebenfalls scheint das maximale Herzzeitvolumen unter den Bedingungen der Wasserimmersion nicht negativ beeinflusst zu sein. Ein geringeres Herzzeitvolumen weist allenfalls auf einen geringeren Trainingszustand oder eine geringere aktivierte Muskelmasse hin.

In der Frage des Einflusses eines thermischen Faktors (Wassertemperatur) auf den Energiemetabolismus und damit auf  $\text{VO}_2\text{max}$  ist angesichts der vergleichsweise zu Luft hohen Wärmeleitfähigkeit und spezifischen Wärme des Wassers auch an negative Auswirkungen zu denken. Auf eine Beeinträchtigung von  $\text{VO}_2\text{max}$  bei körperlichen Belastungen in kaltem Wasser wird in der Literatur hingewiesen. Daraus resultiert das Problem, ob und inwieweit die in der jetzigen Literaturrecherche dokumentierten  $\text{VO}_2\text{max}$ -Differenzen im Wasser/Land-Vergleich durch die Wassertemperaturen tangiert sind.

Die Wärmebilanz des Organismus wird neben der Wassertemperatur von Intensität und Dauer der Muskelarbeit (s. metabolische Wärme) sowie vom Grad der thermisch isolierenden subkutanen Fettschicht bestimmt. Auf diese Weise kann Wärme in der Bilanz akkumulieren, verloren gehen oder ausgeglichen sein mit entsprechenden Auswirkungen auf die Kerntemperatur. Studien mit Bezugnahme zu  $\text{VO}_2\text{max}$ , wobei verschiedene Wassertemperaturen geprüft wurden, sind eher selten. Pirnay et al. (1977) fanden bei Arbeitsversuchen im Wasser zwischen 35 °C und 20 °C eine durchschnittliche Abnahme von  $\text{VO}_2\text{max}$  um 7,8%, Moore et al. (1970) zwischen 30 °C und 16 °C eine Reduktion um 7,6% und in den Schwimmversuchen von Holmér und Bergh (1974) traten zwischen 34 °C und 18 °C noch geringere Unterschiede (3,3%) auf. Dressendorfer et al. (1976) beobachteten zwischen 35 °C und 25 °C keine auffälligen  $\text{VO}_2\text{max}$ -Änderungen.

Die angeführten  $\text{VO}_2\text{max}$ -Änderungen dürften aber überschätzt sein, da den Ausbelastungstests meist eine mehr oder weniger lange submaximale Belastungsphase voranging, wodurch die Auswirkungen kalten Wassers sich sicherlich verstärkten. Ausbelastungs-

versuche in der Leistungsdiagnostik beanspruchen üblicherweise 6–12 min. Individuelle Unterschiede in der  $\text{VO}_2\text{max}$ -Reaktion in kaltem Wasser können gross sein, denn die Bedeutung des subkutanen Fettes als thermische Isolation ist eminent. Die genannten  $\text{VO}_2\text{max}$ -Verminderungen gingen mit gleichsinnigen Änderungen von Kern- und Muskeltemperatur (M. quadriceps) einher, was für die Annahme spricht, dass biochemische (evtl. auch biomechanische und koordinative) Prozesse im Rahmen von Energiestoffwechsel und Muskelkontraktion eine limitierende Rolle spielen. Die in den Tabellen 1–3 angeführten Wassertemperaturen betreffen mit einer Ausnahme den Bereich über 25 °C, mit einem Schwerpunkt bei 28–30 °C, so dass hier kaum mit negativen Auswirkungen auf  $\text{VO}_2\text{max}$  zu rechnen war. Der thermische Gesichtspunkt ist also für die Beurteilung der recherchierten Studien zu vernachlässigen.

## Schwimmen

Für die Untersuchungen im Schwimmbereich wurden als Belastungsmethoden freies Schwimmen, Schwimmen am Zugsseil (tethered swimming) sowie Schwimmen im Strömungsbecken herangezogen, und als Probanden konnten in erster Linie gut trainierte Schwimmer, teilweise auch Schwimmer der nationalen und internationalen Klasse, gewonnen werden. Die Verteilung der mit der Literaturrecherche erfassten Schwimmstile ergab folgendes Bild: 58,6% Kraulschwimmen, 24% Brustschwimmen, 12% Rückenschwimmen, 4,5% Schmetterling. Die in Tabelle 3 aufgenommenen Studien zum Schwimmen wiesen als Referenzmethode für den Belastungstest an Land alle die Laufbandbelastung aus. Åstrand und Saltin (1961) wählten mehrere Referenzbelastungen und konnten zeigen, dass beim Vergleich von Schwimmen, Radfahren und Laufen das Schwimmen zur geringsten  $\text{VO}_2\text{max}$  führte. Die beim Schwimmen zu beobachtende  $\text{VO}_2\text{max}$ -Reduktion vergleichsweise zum Belastungstest an Land betrug in der jetzigen Recherche alle Studien zusammengenommen 13,5%.

Am Zustandekommen der  $\text{VO}_2\text{max}$ -Differenzen zwischen Schwimmen und Laufbandbelastung (Land) dürfte eine Reihe von Faktoren beteiligt sein. Dazu gehört zunächst, dass das Laufband auf Grund beim Laufen anderer biomechanischer und muskulärer Gegebenheiten als Methode für eine Referenzbelastung weniger gut geeignet scheint. Weiterhin dürfte das Fehlen von statischer Haltearbeit wegen des gewichtsentlastenden Auftriebs im Wasser, ebenso wie der beim Schwimmen gegenüber Laufen umfangreichere geringere Muskeleinbezug zu einer geringeren aktiven Muskelmasse führen. Ein Grund hierfür dürfte sein, dass beim Schwimmen vor allem die Muskulatur des Oberkörpers angesprochen ist, der Vortrieb besonders von den Armen ausgeht, während die Beine z.B. beim Kraulschwimmen vorwiegend stabilisierende und die Wasserlage erhaltende Funktion besitzt. So ist aus dieser Sicht eine vergleichsweise geringere  $\text{VO}_2\text{max}$  zu erwarten.

Diesem Trend eines geringeren  $\text{VO}_2\text{max}$ -Wertes bei der Schwimmbelastung wirkt jedoch ein hoher Trainingsgrad der Herz-Kreislauf-Funktion und der schwimmerspezifischen Muskulatur sowie die hohe Qualität der Bewegungskoordination bzw. Schwimmtechnik entgegen. Das heisst, es kommt zu einer Annäherung der  $\text{VO}_2\text{max}$ -Werte in Richtung Werte der Referenzbelastung Laufband. So betrug z.B. in einer Untersuchung an Eliteschwimmern die  $\text{VO}_2\text{max}$ -Differenz nur noch 6% (Holmér et al., 1974a). Es fanden sich aber auch Studien, wonach keine auffälligen  $\text{VO}_2\text{max}$ -Differenzen mehr auftraten (Dixon und Faulkner, 1971; Magel und Faulkner, 1967). Das Gegenteil lässt sich in Untersuchungen mit schwimmerisch wenig trainierten und wenig technisch geübten Personen erkennen. Dieselben Autoren berichteten nicht nur über geringere absolute  $\text{VO}_2\text{max}$ -Werte, sondern auch über eine relativ hohe  $\text{VO}_2\text{max}$ -Differenz (ca. 25%) zur Referenzbelastung. Eine Verbesserung des Trainingszustands und der Schwimmtechnik dürfte sich also im Sinne einer Verkleinerung der  $\text{VO}_2\text{max}$ -Differenz im Wasser/Land-Vergleich auswirken.

## Wasserfahrrad

In jüngerer Zeit ist zunehmend der Trend zu einem Gerätetraining im Wasser zu beobachten. In unserer Recherche haben wir hierzu beispielhaft das Wasserfahrrad gewählt. Experimentelle Studien, bei welchen Fahrradergometer oder andere Trainingsgeräte ins Wasser gestellt wurden, wollten aber nicht primär eine Trainingsmethode untersuchen, sondern sahen darin Geräte, die dosierte körperliche Belastungen im Wasser ermöglichten. Damit liessen sich grundlegende arbeitsphysiologische Vorgänge bei Bewegungsaktivitäten im Wasser studieren (Mc Ardle et al., 1976; Christie et al., 1990; Dressendorfer et al., 1976; Sheldahl et al., 1984).

Die Möglichkeit, technisch identische oder sehr ähnliche Testgeräte in den beiden Belastungsuntersuchungen für den Wasser/Land-Vergleich einsetzen zu können, bedeutete eine gute methodische Voraussetzung, um vergleichbare Bedingungen für die Bewegungsweise zu schaffen. Dies gewährleistete nicht nur eine jeweils identische Körperposition, sondern auch eine hohe Übereinstimmung in den Bewegungsmustern, z.B. was Lokalisation, Umfang der Muskelgruppen und Bewegungskoordination angeht. Diese biomechanischen Voraussetzungen für die Bewegungsabläufe dürften den wesentlichen Grund dafür ausmachen, dass die Literaturobachtung im Durchschnitt nur einen sehr geringen  $VO_2\max$ -Unterschied im Wasser/Land-Vergleich ergab. Am Modell Wasserfahrrad zeigt sich am besten, dass die im Wasser auftretenden kardiopulmonalen und hämodynamischen Besonderheiten für eventuelle  $VO_2\max$ -Differenzen zwischen körperlichen Belastungen im Wasser und an Land kaum eine Rolle spielen dürften.

## Aquajogging

Beim Aquajogging ist der Läufer bis zum Hals eingetaucht und führt Laufbewegungen gegen den Wasserwiderstand aus (DWR). Er wird dabei über Auftriebsgürtel oder -weste im Schwebezustand gehalten. Beim Laufen mit Bodenkontakt (SWR) ist der Körper geringer eingetaucht und teilentlastet. Besonderheiten beim Aquajogging sind, z.B. gegenüber Schwimmen, die aufrechte Körperhaltung, sowie gegenüber Laufen an Land die auftriebsbedingte Gewichtsentlastung und der Umstand, dass Armarbeit eine grössere Rolle spielt.

Aus den Daten der Aquajogging-Studien ergab sich im Wasser/Land-Vergleich eine signifikante Abnahme der  $VO_2\max$ -Werte in der Wasserbelastung (16,5%). Die  $VO_2\max$ -Differenzen sind sicherlich grossteils auf Unterschiedlichkeiten in den Lauftechniken zwischen Wasser und Land bzw. auf Einflüsse seitens des Auftriebs und des Wasserwiderstands zurückzuführen. Bereits die verschiedenen Laufformen im Wasser deuten biomechanische und koordinative Aspekte an. In einigen Studien dürften eine relativ kurze Ausbelastungszeit oder mangelnde Verlässlichkeit, sich angesichts andersartiger belasteter Muskelgruppen maximal einzusetzen, zu einer geringeren  $VO_2\max$  bei DWR beigetragen haben. Ebenso wie beim Schwimmen wird dem Auftrieb im Wasser für den Energieaufwand beim Laufen eine Rolle zugesprochen. So entfallen auch beim Aquajogging weitgehend gewichtstragende Komponenten, die beim Laufen an Land erheblich sind. Auch wird vermutet, dass beim Aquajogging auf Grund der besonderen Bewegungsmuster in einem etwas geringeren Umfang Muskulatur aktiviert wird.

Beim DWR besteht keine Abstossphase auf stabilem Untergrund, so dass die Antigravitationsmuskulatur weniger Arbeit aufzubringen hat, um die Körperposition zu halten. Die Frage des Bodenkontakts ist von Interesse, da für SWR vergleichsweise zu DWR höhere  $VO_2\max$ -Werte gefunden wurden (Dowzer et al., 1999; Town und Bradley, 1991), also die  $VO_2\max$ -Differenzen im Wasser/Land-Vergleich geringer ausfielen. Hier dürfte die für SWR dem Land ähnliche Laufweise zum Ausdruck kommen, als das beim DWR der Fall ist. Inwieweit dies durch verschiedene Eintauchtiefen (s. Auftrieb) modifizierbar ist, ist für Maximalbelastungen nicht systematisch untersucht.

Eine wichtige Bedeutung für die  $VO_2\max$ -Differenzen dürfte dem Übungsgrad der Lauftechnik im Wasser zukommen. Fran-

golias et al. (1996) führten bei zwei trainierten Läufergruppen  $VO_2\max$ -Tests durch. Die eine Gruppe hatte Aquajogging (DWR) ständig im Trainingsprogramm, die andere wurde nur kurz in die DWR-Technik eingewiesen, war also vergleichsweise weniger geübt. Während die technisch Versierten 93% der landbezogenen  $VO_2\max$  erzielten, waren das bei der anderen Gruppe im Mittel nur 84%. In einer anderen Studie wurde bei einer Versuchsgruppe vor und nach einem achtwöchigen DWR-Training  $VO_2\max$  überprüft. Nach der Trainingsperiode fand sich eine  $VO_2\max$ -Zunahme von ursprünglich 79,5% auf 86,3% der Werte aus dem Landtest (Michaud et al., 1995b). Verbesserung von Laufstil und Trainingszustand verringern also die  $VO_2\max$ -Differenzen. In diese Richtung deuten auch die generell bei untrainierten bzw. wenig geübten Personen beobachteten relativ geringen  $VO_2\max$ -Werte. Andererseits lässt sich damit aber offenkundig nicht die beim DWR niedrige  $VO_2\max$  gänzlich erklären.

## Schlussfolgerungen

In der Literatur finden sich Hinweise, dass körperliche Belastungen im Wasser vergleichsweise zu einem Belastungstest an Land eine geringere  $VO_2\max$  aufweisen. Danach liessen sich im Wasser/Land-Vergleich durchschnittlich geringere  $VO_2\max$ -Werte für Schwimmen und Aquajogging ermitteln, während in den Fahrradstudien nur ganz geringe Unterschiede auftraten. In der Bewegungsform wenig Trainierte oder Geübte weisen grössere  $VO_2\max$ -Unterschiede auf als hoch Ausdauertrainierte, und durch ein Ausdauertraining kommt es zur Verkleinerung der Unterschiede. Die Bedeutung biomechanischer Gegebenheiten mit vergleichbar rekrutierten Bewegungsmustern im Wasser/Land-Test ist offenkundig. So fällt die  $VO_2\max$ -Differenz z.B. beim Aquajogging mit Bodenkontakt wegen des zum Land ähnlichen Laufstils kleiner aus als beim Deep water running. Noch deutlicher zeigt sich das, wenn im Wasser als auch bei der Referenzbelastung an Land identische oder ähnliche Trainingsgeräte, wie das z.B. beim Wasserfahrrad der Fall ist, Verwendung finden. Dann lässt sich praktisch die im Referenztest ermittelte  $VO_2\max$  auf die Verhältnisse im Wasser übertragen.

## Danksagung

Prof. Dr. med. U. Boutellier für die Durchsicht und die Korrektur des Manuskriptes.

Korrespondenzadresse:

M. Fenzl, Swiss Olympic Medical Center, CH-7310 Bad Ragaz, Mobile 079 819 94 26, E-Mail: Matthias.Fenzl@resortragaz.ch

## Literaturverzeichnis

- Åstrand P.O., Saltin B. (1961): Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. Physiol.* 16: 977–981.
- Brown S.P., Chitwood L.F., Beason K.R., Mc Lemore D.R. (1996): Perceptual responses to Deep water running and treadmill exercise. *Percept. Mot. Skills* 83: 131–139.
- Butts N.K., Tucker M., Greening C. (1991): Physiological responses to maximal treadmill and Deep water running in men and women. *Am. J. Sports Med.* 19: 612–614.
- Butts N.K., Tucker M., Smith R. (1991): Maximal responses to treadmill and Deep water running in high school female cross country runners. *Res. Quart. Exerc. Sport* 62: 236–239.
- Christie J.L., Sheldahl L.M., Tristani F.E., Wann L.S., Sagar K.B., Levandoski L.G., Ptacin M.J., Sobocinski K.A., Morris R.D. (1990): Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise. *J. Appl. Physiol.* 69: 657–664.
- Connelly T.P., Sheldahl L.M., Tristani F.E., Levandoski S.G., Kalkhoff R.K., Hoffman M.D., Kalbfleisch J.H. (1990): Effect of increased central blood volume with water immersion on plasma catecholamines during exercise. *J. Appl. Physiol.* 69: 651–656.

Dixon R.W., Faulkner J.A. (1971): Cardiac outputs during maximum effort running and swimming. *J. Appl. Physiol.* 30: 653–656.

Dowzer C.N., Reilly T., Nigel T., Cable N.T., Nevill A. (1999): Maximal physiological responses to Deep and shallow water running. *Ergonomics* 42: 275–281.

Dressendorfer R.H., Morlock J.F., Baker D.G., Hong S.K. (1976): Effects of head-out water immersion on cardiorespiratory responses to maximal cycling exercise. *Undersea Biomed. Res.* 3: 177–187.

Epstein M. (1992): Renal effects of head-out water immersion in humans. A 15-year update. *Physiol. Rev.* 72: 563–621.

Frangolias D.D., Rhodes E.C. (1995): Maximal and ventilatory threshold responses to treadmill and water immersion running. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27: 1007–1013.

Frangolias D.D., Rhodes E.C., Taunton J.E. (1996): The effect of familiarity with Deep water running on maximal oxygen consumption. *J. Strength Cond. Res.* 10: 215–219.

Frangolias D.D., Rhodes E.C., Taunton J.E., Belcastro A.N., Coultts K.D. (2000): Metabolic responses to prolonged work during treadmill and water immersion running. *J. Sci. Med. Sport* 3: 476–492.

Glass B., Wilson D., Blessing D., Miller E. (1995): A physiological comparison of suspended Deep water running to hard surface running. *J. Strength Cond. Res.* 9: 17–21.

Hollmann W., Hettinger T.H. (2000): Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. Schattauer-Verlag, Stuttgart–New York.

Holmér I. (1972): Oxygen uptake during swimming in man. *J. Appl. Physiol.* 33: 502–509.

Holmér I., Bergh U. (1974): Metabolic and thermal response to swimming in water at varying temperatures. *J. Appl. Physiol.* 37: 702–705.

Holmér I., Lundin A., Eriksson B.O. (1974a): Maximum oxygen uptake during swimming and running by elite swimmers. *J. Appl. Physiol.* 36: 711–714.

Holmér I., Stein E.M., Saltin B., Ekblom B., Astrand P.O. (1974b): Hemodynamic and respiratory responses compared in swimming and running. *J. Appl. Physiol.* 37: 49–54.

Mc Ardle W.D., Glaser R.M., Magel J.R. (1971): Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. *J. Appl. Physiol.* 30: 733–738.

Mc Ardle W.D., Magel J.R., Delio D.J., Toner M., Chase J.M. (1978): Specificity of run training on VO<sub>2</sub>max and heart rate changes during running and swimming. *Med. Sci. Sports* 10: 16–20.

Mc Ardle W.D., Magel J.R., Lesmes G.R., Pechar G.S. (1976): Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25 and 33°C. *J. Appl. Physiol.* 40: 85–90.

Magel J.R., Faulkner J.A. (1967): Maximum oxygen uptake of college swimmers. *J. Appl. Physiol.* 22: 929–938.

Magel J.R., Foglia G.F., Mc Ardle W.D., Güttin B., Pechar G.S., Katch F.J. (1975): Specificity of swimtraining on maximum oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.* 38: 151–155.

Mercer J.A., Jensen R.L., Fromme C.F. (1994): Prediction of exercise prescription for Deep water running (DWR) based on treadmill running (TM). *Med. Sci. Sports Exerc.* 26: S10 (abstract).

Michaud T.J., Brennan D.K., Wilder R.P., Sherman N.W. (1995b): Aquarunning and gains in cardiorespiratory fitness. *J. Strength Cond. Res.* 9: 78–84.

Michaud T.J., Rodriguez-Zayas J., Andres F.F., Flynn M.G., Lambert C.P. (1995a): Comparative exercise responses of Deep-water and treadmill running. *J. Strength Cond. Res.* 9: 104–109.

Moore T.D., Bernauer E.M., Seto G., Park Y.S., Kong S.K., Hayashi E.M. (1970): Effect of immersion at different water temperature on graded exercise performance in man. *Aerospace Med.* 41: 1404–1408.

Nakanishi Y., Kimura T., Yokoo Y. (1999a): Maximal physiological responses to Deep water running at thermoneutral temperature. *Appl. Human Sci.* 18: 31–35.

Nakanishi Y., Kimura T., Yokoo Y. (1999b): Physiological responses to maximal treadmill and Deep water running in the young and middle aged males. *Appl. Human Sci.* 18: 81–86.

Perini R., Milesi S., Biancardi L., Pendergast D.R., Veicsteinas A. (1998): Heart rate variability in exercising humans: effect of water immersion. *Eur. J. Appl. Physiol.* 77: 326–332.

Pirnay F., Deroanne R., Petit J.M. (1977): Influence of water temperature on thermal, circulatory and respiratory responses to muscular work. *Eur. J. Appl. Physiol.* 37: 129–136.

Sheldahl L.M., Tristani F.E., Clifford P.S., Hughes C.V., Sobocinski K.A., Morris R.D. (1987): Effect of head-out water immersion on cardiorespiratory response to dynamic exercise. *J. Am. Coll. Cardiol.* 10: 1254–1258.

Sheldahl L.M., Wann L.S., Clifford P.S., Tristani F.E., Wolf L.G., Kalbfleisch J.H. (1984): Effect of central hypervolemia on cardiac performance during exercise. *J. Appl. Physiol.* 57: 1662–1667.

Svedenhag J., Seger J. (1992): Running on land and in water. Comparative exercise physiology. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: 1155–1160.

Town G.P., Bradley S.S. (1991): Maximal metabolic responses of Deep and shallow water running in trained runners. *Med. Sci. Sport Exerc.* 23: 238–241.



**ALLENSPACH MEDICAL AG**  
A HEALTH CARE COMPANY

Dornacherstrasse 5      Telefon +41 (0)62 386 60 60  
4710 Balsthal              Telefax +41 (0)62 386 60 69

**Aircast Cryo/Cuff**  
Kälte-Kompressions-Therapie zum schnelleren Abschwellen für Knie, OSG und Schulter



**Postop Knie- / Ellbogenschienen**  
in diversen Grössen und Ausführungen



**Aircast AirSport/AirGo**  
pneumatische OSG-Stütze



**ARTROMOT-Bewegungsschienen**  
Knie, Schulter, OSG, Ellbogen



**Artroskin**  
neue extra-dünne Kniebandage aus Lycra, nicht rutschend

