



A. Schlumberger, G. Hemmling,
U. Frick, D. Schmidtbleicher

Herzfrequenz- und Laktatverhalten beim freien Laufen und beim Aquajogging

Running on land and in water: heart rate and blood lactate response

Institut für Sportwissenschaften, Johann Wolfgang Goethe - Universität Frankfurt am Main,
Abteilung Leistungsdiagnostik (Leiter: Prof. Dr. D. Schmidtbleicher)

Zusammenfassung

Der Einsatz der Herzfrequenz als Steuerungsparameter beim Aquajogging ist bisher mit einem hohen Maß an Unsicherheit behaftet, da gängige Faustformeln und Zielherzfrequenzbereiche des Lauftrainings an Land vor dem Hintergrund immersionsspezifischer, hämodynamischer Veränderungen nicht als mediamadäquat bezeichnet werden können. Gleichzeitig ist wenig über das Verhalten des Metabolismus bei der Anwendung praxisüblicher Herzfrequenzvorgaben beim Aquajogging bekannt.

An der Untersuchung nahmen zehn männliche Probanden teil, die zuvor kein regelmäßiges Aquajogging-Training betrieben hatten. In einem ersten Untersuchungsabschnitt wurde der Laktat-Herzfrequenz-Zusammenhang beim freien Laufen mittels eines Feldstufentests (5x1200m) ermittelt. Im zweiten Abschnitt absolvierten die Teilnehmer zwei Aquajogging-Stufentests in randomisierter Reihenfolge, bei denen die beim freien Laufen gemessenen Herzfrequenzen beim ersten Aquajogging-Test auf jeder Stufe um 20 Schläge/min und beim zweiten Test um 40 Schläge/min reduziert wurden.

Der Vergleich der resultierenden Laktatwerte zwischen freiem Laufen und Aquajogging, bezogen auf die einzelnen Stufen zeigt, daß zum Erreichen gleicher Laktatwerte im Mittel auf den ersten drei Belastungsstufen eine Herzfrequenzreduktion um 40 Schläge/min vorzunehmen ist, während auf den letzten beiden Stufen eine Reduktion um 20 Schläge/min genügt. Eine eingehendere Analyse der Einzelfälle ergibt von den mittleren Ergebnissen zum Teil deutlich

abweichende Muster. Die Resultate dieser Arbeit weisen auf eine begrenzte Einsetzbarkeit der Herzfrequenz als Steuerungsparameter für Aquajogging hin.

Schlüsselwörter: Aquajogging, Belastungssteuerung, Laktat, Herzfrequenz

Summary

Heart rate is a widely accepted parameter of exercise prescription during running training. Problems might occur when heart rate values detected on land are transferred to the aqua running situation. This might be the specific immersion condition and the following haemodynamic changes during stay in water. In addition little is known about the metabolic response to common target heart rates in aqua running. In the first part of the study, ten healthy males underwent a graded exercise test of land based running (5x1200m) to examine the heart rate-lactate relationship. Secondly, the subjects had to perform two aqua running tests with a similar protocol. On the basis of the values derived from running on land the work intensity was determined by reducing the heart rate for the first test by 40 beats per minute (BPM) per intensity step and for the second one by 20 BPM per intensity step.

The group-results indicated that for attaining comparable lactate values heart rates have to be reduced about 40 BPM in the first three steps and for about 20 BPM during the last two steps. Analysing the data of each subject we recognized different tendencies in the heart rate-lactate-relationship. These data reveal

that the utility of heart rate as adequate predictor of work intensity in aqua running is limited.

Keywords: Aqua running, regulation of work intensity, blood lactate, heart rate

Einleitung

Auf der Suche nach effizienten und alternativen Trainingsinhalten erfreut sich Aquajogging zur allgemeinen und spezifischen Leistungsentwicklung in Prävention und Therapie sowohl im Freizeit- als auch im Leistungssport zunehmender Beliebtheit. Diese dürfte einerseits aus der Sicht des Athleten dem motivationalen Aspekt beim Training im zumeist sportartfremden Medium Wasser entspringen, während andererseits bei Trainern und Therapeuten die auftriebsbedingte Entlastung passiver Strukturen im Vordergrund steht.

Leistungssportlich betrachtet, wird Aquajogging zunehmend in den Trainingsprozeß solcher Sportler integriert, die über große Trainingsumfänge hohen Belastungen ausgesetzt sind und die aus bewegungsverwandten Disziplinen stammen (Triathlon, Lauf- und Radsport). Präventiv und rehabilitativ erfolgt der Einsatz entweder sportartenunabhängig in geeigneten Phasen nach Akuttraumen oder bei chronisch-degenerativen Veränderungen am Bewegungsapparat (15). Aquajogging wird in diesem Beitrag als „suspended deep water running“ aufgefaßt, d.h. die Laufbewegungen im Tiefwasser finden ohne Bodenkontakt statt. Der Körper wird dabei in lauffähni-



cher, nahezu vertikaler Position gehalten, durch eine Auftriebshilfe unterstützt und Kopf, Hals und Schulter ragen aus dem Wasser („head-out immersion“).

Neben den typischen Trainingszielen in aktiver Therapie (Verbesserung der Beweglichkeit, koordinativer Fähigkeiten und den Erscheinungsformen der Kraft) soll Aquajogging der Verbesserung der Ausdauer sowohl über die Erhöhung der aeroben als auch der anaeroben Kapazität förderlich sein.

Unabhängig von der Wahl der Trainingsmethode stellt sich automatisch die Frage nach einer geeigneten Belastungssteuerung. Nach *Wildner und Brennan* (31) erscheint für Intervallmethoden die Bewegungsfrequenz und mit Einschränkungen das subjektive Belastungsempfinden (RPE = „rating of perceived exertion“, Borg (2)) als ausreichend, während für die Dauerperiode die Herzfrequenz als Steuerungsparameter der Wahl gilt. Die beim Laufen und Radfahren an Land gängigen und bezüglich ihrer Wirksamkeit vielfach überprüften Herzfrequenzvorgaben (18, 19), lassen sich jedoch wegen der unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften des Elements Wasser nicht unmittelbar auf Aquajogging übertragen.

Neben dem beim Aquajogging erwünschten Auftriebseffekt („Gewichtsverlust“) wird, bedingt durch den auf den Körper wirkenden hydrostatischen Druck, der Rückfluß des venösen Blutes erleichtert. Es findet eine Blutvolumenverschiebung in Richtung des Thorakalraumes statt, die zur Erhöhung des Herz- und Schlagvolumens mit gleichzeitiger Herzfrequenzsenkung führt (10, 23).

Bezüglich des Ausmaßes der für die Intensitätssteuerung im Ausdauertraining vorzunehmenden Herzfrequenzreduktion liegen vergleichsweise wenig verlässliche Informationen vor. Nach *De Mondenard* (9) und *Reichle* (25) sind Senkungen um 10-20 Schläge/Minute vorzunehmen. Verschiedenen empirischen Arbeiten zufolge liegen die Herzfrequenzreduktionen bei maximaler Belastung zwischen 5 und 10% (4, 28, 29). Nach Ergebnissen von *Christie et al.* (5) sowie *Svedenhag und Seger* (28) könnte die Herzfrequenzsenkung zudem bei niedrigen und extensiven Belastungen tendenziell eher niedrig und bei intensiveren Belastungen höher ausfallen.

In bezug auf die gewünschte Sicherung aerober Trainingseffekte mit Hilfe der Intensitätssteuerung über die Herzfrequenz ist des weiteren von Interesse, wie sich der Metabolismus bei reduzierter Herzfrequenz verhält. In diesem Zusammenhang liefert lediglich die Arbeit von *Svedenhag und Seger* (28) Hinweise. Sie beobachteten eine Linksverschiebung der allerdings auf die Sauerstoffaufnahme bezogenen Laktatkurve beim Aquajogging.

Es ergaben sich für die vorliegende Arbeit folgende Fragestellungen:

- 1) Um welchen Betrag muß die Herzfrequenz im Wasser verringert sein, um im Verhältnis zum Laufen an Land eine ähnliche metabolische Beanspruchung zu erzielen?
- 2) Wie verhält sich der Metabolismus beim Aquajogging bei identischer Herzfrequenz zum Laufen an Land?

Methodik

Stichprobe

An der Untersuchung nahmen sieben Sportstudenten und drei leistungssportlich orientierte Studenten anderer Fachbereiche (Alter: 28.1 ± 4.1 Jahre; Gewicht: 73.6 ± 3.9 kg; Körperhöhe: 177.7 ± 3.1 cm) der Johann Wolfgang Goethe - Universität Frankfurt teil. Der Trainingsaufwand in den letzten sechs Monaten vor der Studie betrug im Mittel 5.2 ± 2.53 Stunden pro Woche. Die Stichprobe setzte sich aus ausreichend lauffähigen Probanden zusammen. Keiner der Teilnehmer hatte zuvor regelmäßiges Aquajogging-Training betrieben.

Untersuchungsdesign/Belastungsverfahren

Zur Beantwortung der aufgeworfenen Fragestellungen sollten in einem komplexen Untersuchungsdesign freies Laufen und Aquajogging mit Hilfe von Feldstufentests im Hinblick auf mögliche Unterschiede im Herzfrequenz-Laktat-Zusammenhang verglichen werden.

Feldstufentest:

Zunächst absolvierten alle Teilnehmer einen Feldstufentest über 5×1200 m (FST1200). Aufgrund des nicht lauffähigkeitspezifisch trainierten Probandengutes wurde von der Durchführung eines Feldstufentests mit längeren Einzelstufen abgesehen (27). Der Test wurde auf

der 400m-Tartanbahn des Instituts für Sportwissenschaften durchgeführt. Die Anfangsgeschwindigkeiten wurden in Abhängigkeit vom individuellen Ausdauerlevel festgelegt. Daraus resultierten Stufenlängen der ersten Stufe von 7:12 bis 6:48 min. Die Belastungszeiten reduzierten sich pro Stufe um 24 s. Die Geschwindigkeitskontrolle erfolgte durch ein akustisches Signal an Markierungen im Abstand von 100m.

Stufentest - Aquajogging:

Um die metabolische Situation beim Laufen an Land und Aquajogging miteinander vergleichen zu können, wurde der FST1200 auf wasserspezifische Bedingungen modifiziert. Die individuellen Belastungszeiten pro Stufe waren identisch mit denen beim FST1200. Die Intensitätsfestlegung erfolgte mit Hilfe der Herzfrequenzen der einzelnen Stufen aus dem FST1200. Um sich der unter Immersion tatsächlich auftretenden Herzfrequenzreduktion zu nähern, wurden zwei Aquajogging-Tests durchgeführt. Im ersten Test wurden die Herzfrequenzen aus den Einzelstufen des FST1200 um 40 Schläge/min (AQUAI), im zweiten Test um 20 Schläge/min (AQUAII) reduziert (Tab. 1). Diese Vorgehensweise basiert sowohl auf Empfehlungen aus der Literatur als auch auf Ergebnissen aus Voruntersuchungen.

Vor Testbeginn erfolgte eine gründliche Einführung in die Technik des Aquajoggings. Als Auftriebshilfe diente die „wet vest“ (Fa. Bioenergetics, USA). Die Probanden hatten die Aufgabe, das Laufen an Land möglichst exakt zu simulieren. Die Lauftechnik wurde vom Untersuchungsleiter während der Testdurchführung kontrolliert. Akute Technikveränderungen mußten von den Teilnehmern sofort korrigiert werden.

Die Durchführung der beiden Aquajogging-Tests erfolgte in randomisierter Reihenfolge im Schwimmbecken des Instituts für Sportwissenschaften. Die Wassertemperatur betrug bei allen Tests zwischen 26 und 27°C. Zwischen den einzelnen Untersuchungsterminen lagen jeweils mindestens drei Tage. Die Probanden waren angewiesen, am Tag vor einem Test kein intensives sportliches Training durchzuführen. Darüber hinaus sollten die üblichen Ernährungsgewohnheiten beibehalten werden. Direkt vor einem Test sollte eine Nahrungskarenz von zwei Stunden eingehalten werden.



Tabelle 1: Exemplarische Darstellung der Intensitätsfestlegung mit Hilfe der Herzfrequenz bei den beiden AQUA-Tests bei Proband XY

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
FST1200	141	160	173	185	194
AQUAI (-40)	101	120	133	145	154
AQUAII (-20)	121	140	153	165	174

Tabelle 2: Mittlere Laktatwerte und Standardabweichungen (in mmol/l) auf den einzelnen Belastungsstufen bei FST1200, AQUAI und AQUAII; * = $p < 0.05$ (jeweils verglichen mit FST1200)

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
FST1200	3.0±1.26	3.3±1.26	4.2±1.74	5.6±2.77	7.8±3.76
AQUAI	2.5±0.98	2.8±1.31	3.2±1.49	3.5±1.65*	4.4±2.48*
AQUAII	5.1±2.39	5.1±1.83	5.6±2.26	6.5±2.44	7.9±3.42

Blut zur Laktatbestimmung wurde in Ruhe, nach jeder Stufe und eine Minute nach Belastungsende abgenommen. Die Belastungsunterbrechung zwischen den einzelnen Stufen betrug bei allen Tests 30 Sekunden. Die Verlängerung der üblichen Pausenzeiten von 30 Sekunden war notwendig, weil die Probanden bei den Aquajogging-Tests das Wasser zur Blutentnahme verlassen mußten. Die Laktatkonzentrationen wurden mittels Laktat-PAP-Verfahren (Fa. Analyticon, Burbach) und dem LP-400 Photometer (Fa. Dr. Lange, Berlin) bestimmt. Die Herzfrequenzmessungen beim FST1200 erfolgten in den letzten fünf Sekunden einer Belastungsstufe mit dem Herzfrequenzmesser ACCUR-EX II (Fa. Polar Electro, Groß-Gerau).

Die Kontrolle der Zielherzfrequenzen bei den beiden Aquajogging-Tests wurde vom Untersuchungsleiter vorgenommen, der sich nahe den Probanden im Wasser aufhielt. Eine Beeinträchtigung der Bewegungsausführung durch die Eigenbeobachtung der Herzfrequenzen konnte somit ausgeschlossen werden. Die RPE-Werte nach der BORG-Skala (2) wurden zeitgleich mit der Blutabnahme nach den Einzelstufen erhoben.

Statistik

Die Normalverteilung aller Daten wurde mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test überprüft. Zum Vergleich der drei Testverfahren kamen eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf den Faktoren „Testverfahren“ (dreifach gestuft) und „Belastungsstufe“ (fünffach gestuft) und in der Folge der Scheffé-Test für die multiplen Mittelwertvergleiche zur Anwendung (3).

Ergebnisse

In Tabelle 2 sind die Gruppenmittelwerte der Laktatkonzentrationen auf den ein-

zelnen Belastungsstufen dargestellt (siehe auch Abb.1). Die zweifaktorielle Varianzanalyse erbringt sowohl auf den Faktoren „Testverfahren“ (F-Wert 30.7) und „Belastungsstufe“ (F-Wert 21.6) wie auch auf der „Interaktion“ (F-Wert 12.3) hochsignifikante Effekte ($p < 0.001$). Die bei den drei Testverfahren (FST1200, AQUAI, AQUAII) erreichten Laktatwerte unterscheiden sich somit in statistisch bedeutsamer Weise. Erwartungsgemäß liegt über die fünf Belastungsstufen ein exponentieller Laktatanstieg vor. Darüber hinaus zeigt die hochsignifikante Interaktion beider Faktoren, daß die Laktatwertentwicklung über die fünf Belastungsstufen bei den drei Testverfahren unterschiedlich verläuft.

Die Ergebnisse des zur genaueren Lokalisation der Mittelwertunterschiede durchgeführten Scheffé-Tests sind der Tabelle 2 zu entnehmen. Auf den ersten drei Stufen liegen zwischen FST1200 und AQUAII tendenzielle Unterschiede vor, die statistisch nicht bedeutsam sind, inhaltlich aber durchaus Relevanz besitzen. Auf den Stufen 4 und 5 ergeben sich signifikante Unterschiede zwischen FST1200 und AQUAI.

Diskussion

Die unter Immersion auftretende Herzfrequenzreduktion als Folge einer thorakalwärts gerichteten Blutvolumenverschiebung ist ein aus der Physiologie bekanntes Phänomen. Während in der internationalen Literatur bezüglich einer ausgeprägten Herzfrequenzsenkung bei maximaler Arbeit im Wasser ein weitgehender Konsens zu beobachten ist, wird die trainingspraktisch bedeutsame Frage nach der tatsächlich vorzufindenden Reduktion bei submaximalen Belastungen nicht so einheitlich beantwortet (13). In der vorliegenden Arbeit sollte das Herzfrequenzverhalten in Relation zum Mus-

kelstoffwechsel betrachtet werden, da mit Hilfe des derzeit vermeintlich am besten geeigneten Parameters Laktat das Ausmaß der metabolischen Beanspruchung und damit die Richtung der Akutreaktion am genauesten zu erfassen ist (30). Die Ergebnisse zeigen deutlichere Herzfrequenzreduktionen als diese bei bisherigen, sauerstoffaufnahmeabhängigen Untersuchungen festzustellen waren (4, 13, 26, 28, 29, 33). Interessanterweise fallen die Herzfrequenzsenkungen im Gruppenmittel auf den niedrigen und extensiven Intensitätsstufen höher aus, als auf den intensiven. Demnach wäre für Intensitätsbereiche, die den ersten drei Stufen eines derartigen Tests entsprechen, eine Reduktion um 40 Schläge/min vorzunehmen, während bei Belastungen analog der letzten beiden Stufen eine Senkung um 20 Schläge/min genügen würde. Eine Analyse sämtlicher Einzelfälle zeigt, daß keine individuelle Laktat-Herzfrequenz-Kurve das Gruppenverhalten exakt widerspiegelt. Es lassen sich allerdings individuelle Muster identifizieren.

Vier Probanden zeigen eine Übereinstimmung der Laktat-Herzfrequenz-Kurven bei einer Reduktion um 20 Schläge/min (repräsentative Musterkurve siehe Abb. 2). Lediglich einer dieser vier Personen erreicht auf der letzten Stufe den höchsten Laktatwert aller drei Testverfahren beim FST1200, so daß auf der letzten Stufe eine geringere Herzfrequenzreduktion vorzunehmen wäre.

Die Probanden 3 und 10 erreichen bei einer Senkung um 40 Schläge/min gleiche Laktatwerte wie beim FST1200. Die restlichen vier Teilnehmer weisen ein gemischtes Verhalten auf. Es zeigt sich jedoch bei allen zumindest tendenziell das Gruppenverhalten. Das bedeutet auf den niedrigen und extensiven Stufen eine höhere Herzfrequenzreduktion als auf den intensiveren. Die aus den Gruppenmittelwerten abgeleiteten absoluten Re-

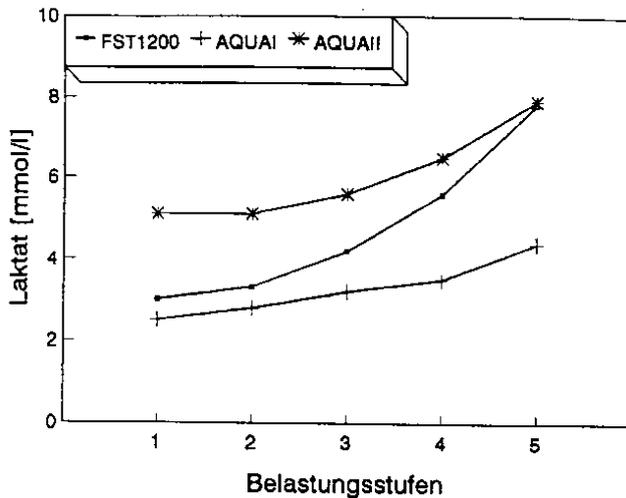


Abbildung 1: Gruppenmittelwerte der Blutlaktatkonzentration bei Feldstufentest (FST1200), Aquajogging (-40 Schläge/min) und Aquajogging II (-20 Schläge/min)

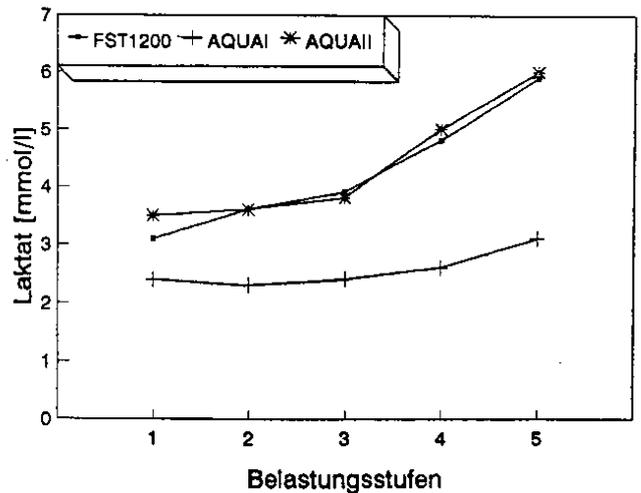


Abbildung 2: Musterkurven eines Probanden mit Übereinstimmung der Laktatwerte bei Feldstufentest (FST1200) und Aquajogging II (-20 Schläge/min)

duktionen (Tab. 2) treten jedoch bei diesen vier Teilnehmern nicht auf. Zwei Probanden zeigen selbst bei einer Senkung um 40 Schläge/min (AQUAI) auf den ersten drei Stufen höhere Laktatwerte als beim FST1200. Gleichzeitig ist kein exponentielles Laktatverhalten zu beobachten. Vielmehr werden die höchsten Laktatwerte bereits auf der ersten Stufe erreicht. Auf den Folgestufen bleiben die Werte gleich beziehungsweise fallen leicht ab. Dieses Phänomen ist wahrscheinlich in erster Linie auf die ungewohnte Belastung beim Aquajogging zurückzuführen. Denkbar wäre auch, daß die hohen Laktatwerte auf der Eingangsstufe auf ein zu schnelles „Erreichen-Wollen“ der Zielherzfrequenz zurückzuführen ist. Die Herausnahme dieser beiden Probanden aus der statistischen Analyse bringt jedoch keine Veränderung des Gruppenergebnisses.

Desweiteren ist von Interesse, wie sich der Metabolismus bei der Anwendung bisher gängiger Herzfrequenzreduktionen verhält. Hierzu soll ein Vergleich zwischen den Laktatwerten auf der ersten und zweiten Stufe zwischen FST1200 und AQUAII erfolgen. Die diesen Stufen zugrundeliegenden extensiven Intensitäten haben für ein Ausdauertraining nach der Dauerperiode mit der Herzfrequenz als Steuerungsparameter entsprechende Bedeutung, da sie bei der untersuchten Stichprobe unterhalb des aerob-anaeroben Übergangsbereichs liegen (6, 8). Es zeigt sich, daß beim Aquajogging eine Reduktion um 20 Schläge/min gegenüber dem Laufen an Land im Mittel deutlich

höhere Laktatwerte nach sich zieht (Stufe 1: 3,0 vs. 5,1 mmol/l; Stufe 3: 3,3 vs. 5,1 mmol/l, siehe auch Tab. 2). Selbst bei einer derartigen Senkung, die an der Obergrenze bisheriger Empfehlungen liegt, würde damit die Trainingswirkung qualitativ verändert.

Um die metabolische Situation bei identischer Herzfrequenz zwischen Laufen an Land und Laufen im Wasser vergleichen zu können, absolvierten vier Probanden im Anschluß an den zweiten AQUA-Test eine zusätzliche Stufe, bei der die Herzfrequenz der dritten Stufe des FST1200 erreicht werden sollte. Tabelle 3 zufolge sorgen gleiche Herzfrequenzen im Wasser für eine deutlich höhere Inanspruchnahme der laktaziden Energiebereitstellung.

Insgesamt läßt sich festhalten, daß bei allen Probanden, unabhängig von den Intensitäten, die Herzfrequenzen zum Erreichen gleicher Laktatwerte um mindestens 20 Schläge/min reduziert waren.

Tabelle 3: Vergleich der Laktatwerte (in mmol/l) von vier Probanden bei gleicher Herzfrequenz beim freien Laufen (FST1200) und Aquajogging (Hf = Herzfrequenz der dritten Stufe des FST1200)

Name (HF)	FST1200	Aquajogging
FK (167)	3.9	6.9
FS (164)	5.4	8.0
JS (184)	2.7	8.2
TD (173)	4.1	7.3

Dabei zeigt kein Proband das nach der theoretischen Ausgangslage denkbare Verhalten, wonach die Reduktion im extensiven Bereich eher niedrig und im intensiven Bereich eher höher ausfällt. Das Gegenteil ist der Fall. Allerdings muß eingeräumt werden, daß bei den bisher vorliegenden Untersuchungen Herzfrequenzveränderungen immer in Relation zur absoluten und prozentualen Sauerstoffaufnahme gesehen wurden. Das umgekehrte Senkungsverhalten bei einigen Probanden dürfte vermutlich durch eine Ökonomisierung der Bewegung im Laufe eines Tests zustande kommen.

Welche Regulationsmechanismen verursachen, über die immersionstypischen Veränderungen hinaus, diese deutlichen Herzfrequenzreduktionen oder anders ausgedrückt, warum werden selbst bei Senkungen entsprechend geläufiger Empfehlungen deutlich höhere Laktatwerte als beim Laufen an Land gefunden?

Im Bereich des sauerstofftransportierenden Systems muß gefragt werden, ob der Arbeitsmuskulatur unter Immersion weniger Sauerstoff zur Verfügung gestellt wird. Die grundsätzliche Senkung der Herzfrequenz geht allerdings mit einer Erhöhung des Schlagvolumens einher, wodurch das Herzzeitvolumen unverändert bleibt (10, 23).

Eine höhere laktazide Beanspruchung infolge einer verstärkten sympathikoadrenalen Aktivität kann vermutlich ausgeschlossen werden, da unter Immersion prinzipiell eher reduzierte bzw. unverän-



derte Katecholaminspiegel gefunden werden (7).

Als weitere Ursache sind Unterschiede im motorischen Stereotyp denkbar. Aus diesem Grund soll an dieser Stelle die Überlegung angestellt werden, inwieweit die Laufbewegungen an Land und im Wasser überhaupt als qualitativ gleichwertig einzustufen sind. Ein markantes Charakteristikum von Aquajogging ist, daß, im Unterschied zum Laufen an Land, kein Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus der Bein-streckerkette vorliegt. Diese ökonomische, relativ eigenständige Muskelarbeitsweise (14, 17) kann beim Laufen im Tiefwasser durch das reduzierte aktuelle Körpergewicht („Auftrieb“), die Widerstandswirkung des Wassers und die fehlende Bodenkontaktfläche nicht auftreten. Es sind folglich weder die Bedingungen für eine ausreichend hohe (initiale) Beschleunigung der Bein-streckerkette in der exzentrischen Phase gegeben, noch erlaubt das Wasser eine schnelle Bewegungsumkehr in der simulierten Stützphase im Sinne einer kurzen Kontaktzeit. Die leistungspotenzierenden Mechanismen (effiziente Energiespeicherung in den elastischen Elementen und deren Ausnutzung in der konzentrischen Phase sowie eine erhöhte Aktivierung durch Reflexaktivität) können somit beim Laufen im Tiefwasser nicht genutzt werden. Vielmehr dürfte die Aquajoggingbewegung aus einer rein konzentrischen Arbeitsweise der Bein-streckerkette bei Bein-streckung und einer rein konzentrischen Arbeitsweise der hüftbeugenden Muskulatur bei der Beinhebung bestehen. Darüber hinaus wird das Bewegungsmuster dadurch modifiziert, daß zusätzliche Muskelarbeit für das Halten der Position im Wasser erforderlich ist, weil die Aquajoggingweste lediglich eine Auftriebshilfe darstellt. Letzteres verhindert vermutlich auch die Simulation des „ziehenden Laufens“ und beeinträchtigt zudem maßgeblich die Arm-Beinkoordination. Das durch Wasserwiderstand und fehlenden Bodenkontakt veränderte Bewegungsmuster und die längeren Muskelaktivierungen können somit als eine wesentliche Ursache für die stärkere Inanspruchnahme des anaeroben Metabolismus angesehen werden (28).

Von der Bewegungsqualität der unteren Extremität betrachtet, ähnelt Aquajogging, unabhängig von der Oberkörperneigung, eher der Radfahr- oder der aus-

dem Fitnessbereich bekannten Stepperbewegung, wenngleich die Beinhubphase beim Aquajogging auf Grund des Wasserwiderstands wahrscheinlich mehr Muskelarbeit erfordert. Hinweise auf eine mögliche Ähnlichkeit von Aquajogging und Radfahrbewegung sind bei Connelly *et al.* (7) zu finden.

Beim Vergleich zweier Radstufentests an Land und im Wasser mit Intensitäten zwischen 40% und 100% der maximalen Sauerstoffaufnahme beobachteten sie keine Unterschiede in den resultierenden Laktatwerten. Diese Ergebnisse deuten auch daraufhin, daß die höheren Laktatwerte beim Aquajogging nicht durch eine immersionsspezifische Verschlechterung der Muskeldurchblutung zustande kommen (13).

Von verschiedenen Autoren (21, 33) wird vermutet, daß das Ausmaß der Herzfrequenzreduktion vom Erfahrungsgrad bzw. von der Ausreifung der Bewegungstechnik abhängt. Neue Hinweise auf diese bisher ungeklärte Frage liefert die Arbeit von Frangolias und Rhodes (13). Sie fanden bei äußerst erfahrenen Aquajoggern an der ventilatorischen Schwelle mittlere Herzfrequenzsenkungen um 13 Schläge/min und bei Erreichen der $\dot{V}O_{2max}$ eine Reduktion um 15 Schläge/min. Diese Senkungen liegen allerdings in Bereichen, die auch bei weniger gut Trainierten gefunden wurden. Interessant erscheinen vor diesem Hintergrund die Ergebnisse zweier Probanden unserer Untersuchung, die hohe Trainingsumfänge auf dem Fahrrad absolvieren. Sie erreichten als einzige beim FST1200 und AQUAII praktische identische Laktatwerte. Demnach fallen bei diesen beiden Personen die Herzfrequenzsenkungen am geringsten aus (-20 Schläge/min). Bewegungsspezifisch des Radfahrens vorausgesetzt, könnte dies Tendenzen, wonach bei Trainierten die Reduktionen geringer ausfallen, bestätigen.

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, inwieweit die Ergebnisse durch interindividuell unterschiedliche Technikvarianten beeinflusst werden. Im Hinblick auf die Arm-Beinkoordination konnten deutliche Variabilitäten beobachtet werden, die jedoch im Laufe der Untersuchung weitgehend konstant gehalten werden konnten. Denkbar wäre, daß eine zusätzliche Standardisierung der Frequenzen und Amplituden von Beinen und Armen eine bessere Einschätzung der Daten

erlaubt. Eine derartige Kontrolle garantiert allerdings im interindividuellen Vergleich keinen gleich ausgeprägten Ökonomisierungsgrad. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollte zunächst nur der Frage nachgegangen werden, ob, unter Beibehaltung der erlernten Grobtechnik, die Herzfrequenz zur Ansteuerung einer bestimmten metabolischen Situation ein geeigneter Steuerungsparameter beim Aquajogging ist. Die Abschätzung des Einflusses der Standardisierung diverser Bewegungsparameter auf den Herzfrequenz-Laktat-Zusammenhang beim Aquajogging muß zukünftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Eine wichtige Einflußgröße in bezug auf das Herzfrequenzverhalten beim Aquajogging ist die Wassertemperatur. Prinzipiell erhöht sich mit steigender Wassertemperatur bei gleicher Leistung auch die Herzfrequenz. Dieses Phänomen ist weitgehend unabhängig von der Art der motorischen Beanspruchung (16, 24). Differenzen in den Herzfrequenz-Reduktionen zwischen verschiedenen Untersuchungen könnten folglich u.a. auf unterschiedliche Wassertemperaturen zurückgeführt werden. Ein direkter Vergleich unserer Ergebnisse mit anderen Untersuchungen bezüglich der Wassertemperaturen kann aufgrund unterschiedlicher Versuchsansätze nicht erfolgen. Eine Analyse methodisch vergleichbarer Untersuchungen weist jedoch daraufhin, daß auch bei gleichen Wassertemperaturen deutliche Unterschiede in den Reduktionen auftreten können (z.B. Frangolias/Rhodes (13) versus Yamaji *et al.* (33)). Temperaturunterschiede des Wassers genügen demnach nicht als alleiniger Erklärungsansatz für Differenzen in den Ergebnissen.

Im Gegensatz zu Ergebnissen von Svedenhag und Seger (28) erbrachten zwischen RPE- und den Laktatwerten vorgenommene Korrelationsrechnungen keinerlei bedeutsame Zusammenhänge. Somit muß zumindest angezweifelt werden, ob sich RPE-Werte, wie eingangs bei Wilder und Brennan (31) zitiert, tatsächlich für die Belastungssteuerung bei Intervallmethoden eignen.

Diese Arbeit ist als Sichtungsstudie zu verstehen. Die beobachteten Herzfrequenzreduktionen für das Erreichen gleicher Laktatwerte bedürfen in der Zukunft weiterer Überprüfung. Dabei sollte insbesondere geklärt werden, ob tatsäch-



lich Unterschiede zwischen Trainierten und Untrainierten bestehen. Die Verwendung der Herzfrequenz als Steuerungsparameter kann auf Grund der vorliegenden Ergebnisse nur bedingt empfohlen werden. Die herzfrequenzgesteuerte Belastungsgestaltung sollte in jedem Fall auf der Basis eines Stufentests im Wasser erfolgen, um den ohnehin auch an Land auftretenden, interindividuell unterschiedlichen Herzfrequenzantworten Rechnung zu tragen. Zukünftig sollte dem Zusammenhang zwischen der Bewegungsfrequenz und der metabolischen Situation vermehrt Beachtung geschenkt werden, da auf dieser Ebene möglicherweise ein besser geeigneter Parameter zur Verfügung steht (20, 22, 32).

Die beim Aquajogging erhofften Transfereffekte auf Laufsportarten dürften durch die fehlende Bewegungsspezifität wahrscheinlich eher gering ausfallen. Eine positive Beeinflussung der Laufleistungsfähigkeit ist allenfalls durch die Erhöhung laufrelevanter, lokaler Energiespeicher einer spezifischen Anpassung der aeroben Kapazität und weniger durch die gelungene Simulation des Laufstereotyps zu erwarten. Ob die in diesem Zusammenhang von *Eyestone et al.* (12) und *Lakämper* (21) postulierten deutlichen Effekte von Aquajogging auf die Laufausdauer auch bei besser Trainierten in Zukunft bestätigt werden können, muß daher abgewartet werden.

Aquajogging sollte, mangels der aufgezeigten Laufspezifität, weniger als gleichwertiges und damit alternatives Trainingsmittel betrachtet werden. Vielmehr hat es seine Bedeutung in der Zukunft sicherlich vor allem im gesundheitssportlichen und therapeutischen Bereich (1, 11, 20). Dies schließt jedoch nicht den Einsatz von Aquajogging im Leistungssport zu Regenerationszwecken aus.

Literatur

1) *Birkner, H.-A., D. Hackfort*: Aquajogging - Physische und psychische Effekte einer Bewegungsform für gelenkgeschädigte Patienten. *Sportorth.Sporttraumat.* 11 (1995), 268-271.
 2) *Borg, G.A.V.*: Perceived exertion as an indicator of somatic stress. *Scand.J.Reh.Med.* 2 (1970), 92-98.
 3) *Bortz, J.*: Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer-Verlag, Berlin 1993.
 4) *Butts, N.K., M. Tucker, R. Smith*: Physiological responses to maximal treadmill and deep

water running in men and women. *Am.J.Sports Med.* 19 (1991), 612-614.

5) *Christie, J.L., L.M. Sheldal, F.E. Tristani, L.S. Wann, K.B. Sagar, S.G. Levandoski, M.J. Ptacin, K.A. Sobocinski, R.D. Morris*: Cardiovascular regulation during head-out water immersion exercise. *J.Appl.Physiol.* 69 (1990), 657-664.

6) *Coen, B., A. Urhausen, S. Herrmann, L. Brechtel, W. Kindermann*: Bedeutung von Laktat, Herzfrequenz und Katecholaminen zur Belastungsdosierung von Dauerläufen unterschiedlicher Intensität. In: Kindermann, W., L. Schwarz (Hrsg.): *Bewegung und Sport - Eine Herausforderung für die Medizin*. Abstractband, 34. Deutscher Sportärztekongreß Saarbrücken 1995, Ciba Geigy Verlag, Wehr 1995, S. 72.

7) *Connelly, T.P., L.M. Sheldal, F.E. Tristani, S.G. Levandoski, R.K. Kalkhoff, M.D. Hoffmann, J.H. Kalbfleisch*: Effect of increased central blood volume with water immersion on plasma catecholamines during exercise. *J.Appl.Physiol.* 69 (1990), 651-656.

8) *Dickhuth, H.H., K. Röcker, F. Mayer, A. Nieß, T. Horstmann, H.C. Heitkamp, P. Dolezel*: Bedeutung der Leistungsdiagnostik bei Ausdauer- und Spielsportarten. *Dtsch. Z. Sportmed.* 47 (1996), Sonderheft 1, 183-189.
 9) *De Mondenard, J.-P.*: Rehabilitation: Laufen... im Wasser. *Lehre der Leichtathletik* 30 (1991), 15-18.

10) *Echt, M., L. Lange, O.H. Gauer*: Changes in peripheral venous tone and central transmural pressure during immersion in a thermo-neutral bath. *Pflüg. Arch.* 352 (1974), 211-217.

11) *Eckey, U.R., I. Froböse*: Aquajogging bei Cox- und Gonarthrose. In: Liesen, H., M. Weiß, M. Baum (Hrsg.): *Regulations- und Repairmechanismen*. Deutscher Ärzte Verlag, Köln 1994, 435-437.

12) *Eyestone, E.D., G. Fellingham, J. George, A.G. Fisher*: Effect of water running and cycling on maximum oxygen consumption and 2-mile run performance. *Am.J.Sports Med.* 21 (1993), 41-44.

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

14) *Frick, U.*: Kraftausdauerverhalten im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. Sport und Buch Strauß, Köln 1993.

15) *Froböse, I.*: Aquajogging - Einsatzmöglichkeiten in der Therapie. *Dtsch.Z.Sportmed.* 45 (1994), 65-67.

16) *Gleim, G.W., J.A. Nicholas*: Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. *Am.J.Sports Med.* 17 (1989), 248-252.

17) *Gollhofer, A.*: Komponenten der Schnellkraftleistungen im Dehnungs-Verkürzungs-Zyklus. SFT-Verlag, Erlensee 1987.

18) *Hottenrott, K.*: Trainingssteuerung im Ausdauersport. Czwalina-Verlag, Ahrensburg 1993.

19) *Janssen, P.G.J.M.*: Ausdauertraining. Perimed-Verlag, Erlangen 1989.

20) *Kühne, C., J. Jost, A. Zirkel*: Leistungsdiagnostik und Belastungssteuerung beim Aqua-Jogging im Rahmen der Rehabilitation nach vorderen Kreuzbandrekonstruktionen. *Dtsch.Z.Sportmed.* 47 (1996), 291-300.

21) *Lakämper, O.*: Zur Einsetzbarkeit und Effektivität eines Aqua-Jogging-Trainings. *Leistungssport* 25 (1995), 13-16.

22) *Lange, G.*: Zur Effektivität des Wassertrainings. *Lehre der Leichtathletik* 30 (1991), 11, 18 und 12, 15.

23) *Lange, L., S. Lange, M. Echt, O.H. Gauer*: Heart volume in relation to body posture and immersion in a thermo-neutral bath. *Pfluegers Arch.* 352 (1974), 219-226.

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

25) *Reichle, C.*: Aquatraining. In: Binkowski H., G. Huber (Hrsg.): *Gymnastik in der Therapie*. Echo-Verlag, Köln 1993, S. 189-204.

26) *Ritchie, S.E., W.G. Hopkins*: The intensity of exercise in deep-water running. *Int.J.Sports Med.* 12 (1991), 27-29.

27) *Schlumberger, A., U. Frick, D. Schmidtbleicher*: Spezifizierung von Feldtestverfahren für ausdauerabhängige, laufintensive Sportarten. In: Krug J., H.-J. Minow (Hrsg.): *Sportliche Leistung und Training*. Academia, Sankt Augustin 1995, S. 327-331.

28) *Svedenahg, J., J. Seger*: Running on land and in water: comparative exercise physiology. *Med.Sci.Sports Exerc.* 24 (1992), 10, 1155-1160.

29) *Town, G.T., S.S. Bradley*: Maximal metabolic responses of deep and shallow water running in trained runners. *Med.Sci.Sports Exerc.* 23 (1991), 2, 238-241.

30) *Weitman, A.*: The blood lactate response to exercise. Human Kinetics Publishers, Champaign 1995.

31) *Wilder, R.P., D.K. Brennan*: Physiological responses to deep water running in athletes. *Sports Med.* 16 (1993), 374-380.

32) *Wilder, R.P., D. Brennan, D.E. Schotte*: A standard measure for exercise prescription for aqua running. *Am.J.Sports Med.* 21 (1993), 45-48.

33) *Yamaji, K., M.G. Greenley, D.R. Northey, R.L. Hughson*: Oxygen uptake and heart rate responses to treadmill and water running. *Can.J.Sport Sci.* 15 (1990), 96-98.

Anschrift der Verfasser:

Univ.-Prof.Dr.D.Schmidtbleicher
 Institut für Sportwissenschaften
 Abteilung Leistungsdiagnostik
 Johann Wolfgang Goethe - Universität
 Ginnheimer Landstraße 39
 60487 Frankfurt am Main