

JOURNAL FÜR HYPERTONIE

ALMELING M, NIKLAS A, SCHEGA L, WITTEN F, WULF K
*Blutdruckmessung bei Sporttauchern – Methode und erste
Ergebnisse*

*Journal für Hypertonie - Austrian Journal of Hypertension 2005;
9 (2), 7-13*

Homepage:

www.kup.at/hypertonie

Online-Datenbank mit
Autoren- und Stichwortsuche

ZEITSCHRIFT FÜR HOCHDRUCKERKRANKUNGEN

Datenschutz:

Ihre Daten unterliegen dem Datenschutzgesetz und werden nicht an Dritte weitergegeben. Die Daten werden vom Verlag ausschließlich für den Versand der PDF-Files des Journals für Hypertonie und eventueller weiterer Informationen das Journal betreffend genutzt.

Lieferung:

Die Lieferung umfasst die jeweils aktuelle Ausgabe des Journals für Hypertonie. Sie werden per E-Mail informiert, durch Klick auf den gesendeten Link erhalten Sie die komplette Ausgabe als PDF (Umfang ca. 5–10 MB). Außerhalb dieses Angebots ist keine Lieferung möglich.

Abbestellen:

Das Gratis-Online-Abonnement kann jederzeit per Mausklick wieder abbestellt werden. In jeder Benachrichtigung finden Sie die Information, wie das Abo abbestellt werden kann.

Das e-Journal

Journal für Hypertonie

- ✓ steht als PDF-Datei (ca. 5–10 MB) stets internetunabhängig zur Verfügung
- ✓ kann bei geringem Platzaufwand gespeichert werden
- ✓ ist jederzeit abrufbar
- ✓ bietet einen direkten, ortsunabhängigen Zugriff
- ✓ ist funktionsfähig auf Tablets, iPads und den meisten marktüblichen e-Book-Readern
- ✓ ist leicht im Volltext durchsuchbar
- ✓ umfasst neben Texten und Bildern ggf. auch eingebettete Videosequenzen.

Blutdruckmessung bei Sporttauchern – Methode und erste Ergebnisse

M. Almeling¹, K. Wulf², L. Schega³, F. Witten¹, A. Niklas¹

In einer Vielzahl von Studien wurde versucht, die Belastung eines Menschen unter vollständiger Immersion mit jener über Wasser zu vergleichen. Dieser Vergleich wird immer wichtiger, da die Zahl der Sporttaucher seit Jahren regelmäßig ansteigt. Es existieren derzeit keine Versuchsanordnungen oder Studien, die in der Lage wären, bei definierter Belastung auch die Blutdruckveränderungen zu erfassen und zu vergleichen. Wir paßten ein mechanisches Ergometer für den Einsatz unter Wasser an (Ganzkörperimmersion) und belasteten 31 Testpersonen bei definierter Belastung über und unter Wasser. Hierfür entwickelten wir die notwendigen Geräte, um die Sauerstoffaufnahme, den Blutdruck und die Herzfrequenz während der Belastung zu erfassen. Die Testpersonen mußten gegen den Widerstand des Ergometers an Land und unter Wasser arbeiten. Hierbei wurde die Belastung stufenweise alle drei Minuten um 30 Watt so lange erhöht, bis die Testperson ihre maximale Belastungsstufe erreicht hatte. Die Ergebnisse der standardisierten Spiroergometrie an Land und in einer Wassertiefe von 1,7 Metern (117 kPa) wurden je Proband sowie in den beiden Gruppen miteinander verglichen. Der systolische Blutdruck „naß“ war verglichen mit den „Trocken“-Werten bei gleicher O₂-Aufnahme signifikant höher in Ruhe (Δ 25 mmHg) als auch unter maximaler Belastung (Δ 45 mmHg). Vergleich man die Bruttobelastungswerte (Wattzahl am Ergometer plus zusätzlich 32 Watt Wasserwiderstand) „naß“ mit „trocken“ mit Hilfe der systolischen Blutdruckwerte, so waren die Werte unter Wasser signifikant höher. Ebenfalls waren die Herzfrequenzwerte unter Wasser signifikant höher als diejenigen an Land. Vergleichbare Arbeit führte bei Unterwasserbelastung zu signifikant höheren Blutdruck- und Herzfrequenzwerten. Trotz des Fehlens ergänzender Untersuchungen empfehlen wir Personen mit blutdruckbezogenen Risikofaktoren, nicht tauchen zu gehen.

A lot of attempts have been made to measure physical stress of immersed men and to compare it with non-immersed. Because of an increasing number of sports divers in Germany (about 1.5 million), fitness to dive testing becomes more and more important. To our knowledge none of the existing studies was able to measure blood pressure continuously in a stress test under water and compare it to data found in standard bicycle tests on land. We adapted a standard ergometer for underwater use (whole body immersion) and stressed the tested person ($n = 31$) with defined workload above and under water. We also developed special valves to measure oxygen uptake, blood pressure and heart rate during exercise under water. The tested persons were asked to spin against the resistance of the ergometer on land (dry) and in a second attempt in water (wet). The capacity was stepwise increased by 30 Watts every 3 minutes, until the individual reached the maximum tolerable workload. The parameters found during standardised spiro-ergometry test on land (dry) with the above-described test in a depth of 117 kPa [kilopascal] (1.7 meters) (wet) were compared in the test group. Systolic blood pressure “wet” compared to “dry” at the same O₂-uptake level was significantly higher at rest (Δ 25 mmHg) as well as under maximum stress (Δ 45 mmHg). Comparing gross-capacity (adjusted Watt at the ergometer, plus additionally 32 Watt water resistance of ergometer) “wet” to “dry” by using the systolic blood pressure, we found systolic blood pressure highly significant elevated “wet” to “dry”. Additionally the heart rate was significantly higher in “wet” compared to “dry” tests. Comparable workload lead to significant higher blood pressure and heart rate levels in underwater strain compared to identical activity on land. Persons with risk factors related to high blood pressure should be selected “not fit for diving”. *J Hypertonie 2005; 9 (2): 7–13.*

Eine Vielzahl von physiologischen Studien beschäftigt sich mit der Veränderung der Herzfrequenz bei Ganzkörper-Immersion [1]. Trotz der nach heutigen Studienkriterien überwiegend nicht befriedigenden Studiendesigns der meist älteren Untersuchungen gilt die Reflex- oder Taucherbradykardie in unterschiedlicher Ausprägung bei Gesichts- und Körperimmersion als bewiesen.

Wesentlich seltener sind wissenschaftliche Aussagen zu weiteren Kreislauf- oder Stoffwechselfparametern bei Immersion in der Literatur zu finden. Aussagen über das Blutdruckverhalten in Immersion sind selten. Diskutiert wird eine Schwimmer-Hypertonie [2]. Messungen bei Gesichtsimmersion ergaben Blutdruckanstiege von durchschnittlich 7 mmHg [3] oder 9 % [4]. Bei Schwimmen blutig-telemetrisch gemessene Werte zeigten deutlich höhere Blutdruck-Anstiege, sind jedoch methodisch und statistisch unsicher [5]. Derzeit fehlen technisch exakte und trotzdem einfache, nichtinvasive Meßmethoden sowie Methoden einer standardisierten Belastungstestung unter Wasser.

Die zunehmende Zahl von Sporttauchern ließ in den letzten Jahren Fragen zur Belastbarkeit im Sport oder Beruf aufkommen. Allein in Deutschland geht man von über 1,5 Millionen Sporttauchern aus, von denen wohl über 55 % älter als 40 Jahre sind [6]. Die Sporttauglichkeitsunter-

suchungen beim Tauchen erfordern insbesondere eine Aussage für Menschen, die schon an Land über eine Einschränkung der Leistungsfähigkeit berichten oder bei denen zu erwarten ist, daß eine solche Einschränkung unter den veränderten kardio-respiratorischen Bedingungen einer Immersion eintritt.

Ziel der Untersuchung war es, mittels eines geeigneten Versuchsaufbaues eine nichtinvasive Blutdruckmessung unter Wasser zu entwickeln und im Rahmen einer Fahrradergometrie unter Wasser erste Aussagen zum Blutdruckverhalten unter Ganzkörperimmersion und Belastung zu erhalten.

Patienten und Methoden

Ergometrie im Wasser

Für den Versuchsaufbau wurde ein handelsübliches Ergometer der Firma Jäger (ER 900) ca. zwei Meter entfernt vom Rand eines Schwimmbades aufgestellt sowie ein weiteres, rein mechanisches Ergometer der Firma Monark, auf dem Beckenboden des Hallenbades in drei Metern Tiefe (130 kPa) plazierte.

Die Atemgasversorgung der Versuchspersonen erfolgte über ein 10-Liter-Drucklufttauchgerät, welches tauchertypisch auf dem Rücken befestigt wurde. Die Probanden

Aus dem ¹Zentrum Anästhesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin, Abteilung Sportmedizin am Institut für Sportwissenschaften, Universität Göttingen; der ²Klinik für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universitätskliniken Innsbruck, und dem ³Department of Rehabilitation Science, Faculty of Physical Education and Physiotherapy, Catholic University of Leuven

Korrespondenzadresse: Dr. med. Michael Almeling, Neuer Garten 1 A, D-34454 Bad Arolsen, E-Mail: Dr.Almeling@Tauchmedizin.net

atmeten über einen handelsüblichen zweistufigen Lungenautomaten, dessen Membran sich bei durchschnittlicher Körpergröße des Probanden in etwa 1,7 m (117 kPa) unter der Wasseroberfläche befand. Die Kraftübertragung vom mechanischen Ergometer im Wasser zur Wirbelstrombremse des an Land befindlichen Ergometers erfolgte durch eine wassergeschmierte, fettfreie Edelstahlkette [1, 7] (Abb. 1).

Herzfrequenz- und Blutdruckmessung

Herzfrequenz und EKG wurden auf einem EKG-Monitor der Marke Hellige an der Oberfläche registriert. Die Elektroden auf der Haut mußten vorab mit Klebefolie gegen das umgebende Wasser isoliert werden.

Für die Blutdruckmessungen unter Wasser wurde ein automatisches Langzeitmeßgerät (BOSO-TM-2420) verwendet, das nach der Korotkoff-Methode arbeitet. Das Gerät selbst wurde in dem oberen Teil eines nach unten offenen Plexiglasgehäuses fixiert, der Schlauch zur Manschette trat unten aus dem Gehäuse aus und wurde zur Manschette geleitet. Um die nur auf dem Gerätedisplay selbst angezeigten Blutdruckwerte auch an der Wasseroberfläche zeitgleich ablesen zu können, wurde auf dem gegenüberliegenden Gehäuserand eine kleine CCD-Videokamera installiert. Diese leitete das Displaybild und somit die aktuellen Daten auf einen Bildschirm an Land. Die beiden unabhängigen Mikrophone der Blutdruckmanschette wurden mit einer Silikon-Ummantelung gegen Wasser abgedichtet. Der Manschettendruck wurde zum Schutz gegen Fehlfunktionen durch ein Überdruckventil auf 300 mmHg begrenzt. Das Meßintervall betrug zwei Minuten.

Das Gerät führte vor jeder Messung eine Umgebungsdruckmessung als Nullabgleich durch. So wurde eine Eichung gegen den absoluten Umgebungsdruck sichergestellt. Angezeigt wurde dann der relative Druckanstieg bei der Messung. Hierzu war jedoch unabdingbar, daß sich der Wasserspiegel im Plexiglasgehäuse exakt in Höhe der Mitte der Blutdruckmanschette befand. Somit war der Umgebungsdruck für Sensor und Manschette gleich. Eine Höhendifferenz von 10 cm würde den Meßwert um 7,6 mmHg verfälschen. Zur Anpassung an den Höhenausgleich eines jeden Probanden wurde das Gehäuse mit einer Befähigung versehen, so daß ein individuelles Justieren der Apparatur möglich war (Abb. 2).

Wasserwiderstand

Der Wasserwiderstand des Probanden auf dem Ergometer wurde während einer Leerlaufmessung mit Hilfe eines Pendelgenerators bestimmt [1, 8].

Atemgasanalyse

Um eine Atemgasanalyse bei Tauchern unter Wasser in verschiedenen Tauchtiefen mit möglichst geringer Einschränkung des Tauchers durchführen zu können, wurde ein umgebungsdruckgesteuertes Expirationsventil entwickelt [9]. Dieses Ventil wurde am Ausatemschkel des Lungenautomaten so befestigt, daß die gesamte Expirationsluft des Probanden aufgefangen werden konnte. Hier wurde nach der Douglas-Sack-Methode der VO_2 und der VCO_2 in zeitlichen Abständen von 15 Sekunden gemessen. Der Mischbeutel war oben offen, so daß die Ausatemluft nach der Durchmischung abströmen konnte. In den Beutel ragte ein Schlauch mit etwa 3 mm Innendurchmesser, durch das sich das System mit einer Saugpumpe in 15-Sekunden-Intervallen die Atemluftprobe in die O_2 - und die CO_2 -Analyseeinheit zog.

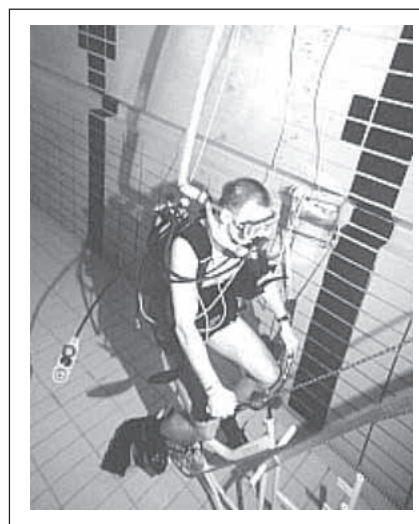


Abbildung 1: Versuchsaufbau der Spiroergometrie unter Wasser, inklusive Atemgasableitung, EKG und Blutdruckmessung

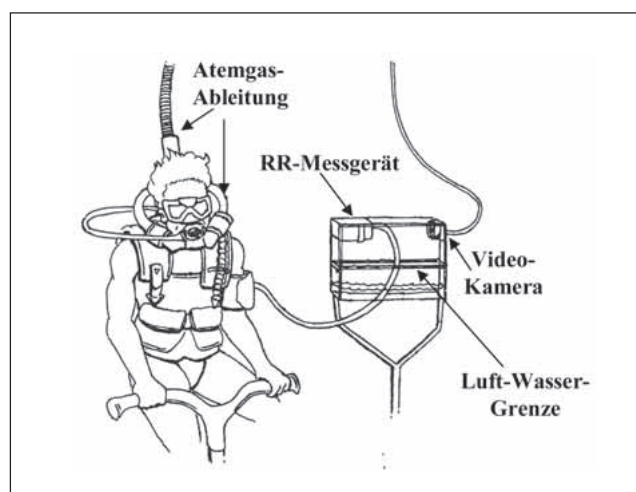


Abbildung 2: Schematische Übersicht des Versuchsaufbaus zur Blutdruckmessung eines Probanden auf einem Ergometer unter Wasser

Tabelle 1: Anthropometrische Angaben, in Klammern Minimal- und Maximalwerte

Geschlecht	n	Alter (Jahre)	Größe (cm)	Gewicht (kg)
w	3	28,0 (17–41)	165,3 (162–168)	61,0 (50–70)
m	28	39,9 (26–62)	180,2 (170–190)	79,1 (65–95)

Probandensicherheit, Gerätesicherheit, TÜV

Zur Sicherung des Probanden befand sich während der Geräteevaluation ein Sicherheitstaucher mit Tauchgerät direkt neben der Versuchsperson und sicherte diese. Der Kontakt zum Untersucher am Beckenrand wurde zudem durch einen auf dem Wasser aufliegenden Plexiglas-Sichtkasten sichergestellt. Alle beteiligten Personen mußten gut mit einer in der Berufstaucherei üblichen Zeichensprache vertraut sein.

Der technische Überwachungsverein Hannover/Sachsen-Anhalt hatte die gesamte Versuchsanordnung im Hallenbad nach Abschluß des Versuchsaufbaus begutachtet und aus medizintechnischer Sicht keine Bedenken geäußert.

Patienten

An der Studie nahmen 31 Mitglieder einer Tauchergruppe teil, die nach den Richtlinien der Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin [10] gesundheitlich geeignet waren.

Testablauf

Zunächst wurden alle Probanden auf dem an Land stationierten Ergometer belastet. Die Belastungen wurden bei Raumtemperatur um 20 °C, beginnend bei 50 Watt und 50 U/Min. durchgeführt und dann alle 3 Minuten um 50 Watt gesteigert. Die Probanden wurden, unter Beachtung der üblichen Abbruchkriterien, ausbelastet.

Ein bis maximal zwei Wochen nach der ersten Ergometrie wurden dieselben Probanden unter Wasser belastet. Zu Beginn des Versuchs wurde bis zum Erreichen des „steady-state“ die Ruhe-Sauerstoffaufnahme gemessen. In der ersten Belastungsstufe trat der Proband gegen den Innenwiderstand des Systems ohne zusätzliche Last auf dem Ergometer mit 55 U/Min. Diese Stufe wurde in den „Naß“-Abbildungen mit „0 Watt“ bezeichnet. Die Belastung wurde in 30-Watt-Schritten von drei Minuten Dauer bis zum Erreichen der Ausbelastungskriterien oder bis zum Auftreten etwaiger Abbruchkriterien durchgeführt. Die Wassertemperatur betrug während der Versuche, die im Verlauf von 6 Wochen durchgeführt wurden, zwischen 26 und 28 °C.

Die im Wasser erbrachten Leistungen konnten – bedingt durch den höheren, wasserbedingten Widerstand – nicht direkt mit den Land-Leistungen verglichen werden. Ein Vergleich der Leistungen erfolgte über die Sauerstoffaufnahme. Hierbei galt die Annahme, daß bei gleicher Sauerstoffaufnahme auch eine vergleichbare Leistung erbracht wurde. Trug man die pro Belastungsstufe gemessenen Sauerstoff-Aufnahmewerte gegen die jeweils erzielte Wattzahl während der Ergometrie auf, so erhielt man durch Extrapolation der Geraden den Gerätewiderstand der Versuchsanordnung im Wasser. Dieser betrug in dem Versuchsaufbau durchschnittlich 32 Watt. Dieser Wert wurde im folgenden zu den bei der Unterwasserergometrie erzielten Leistungen hinzugezählt. Die Summe aus den 32 Watt und der eingestellten Ergometerleistung in Watt wurden als Bruttoleistung bezeichnet und mit der Leistung auf dem Fahrradergometer an Land verglichen.

Ergebnisse

Leistung

Die Beziehung zwischen erbrachter Leistung und O₂-Aufnahme war streng linear. Die maximale O₂-Aufnahme bei den ausbelasteten Probanden lag zwischen 1,78 l/min und 4,53 l/min. Dies zeigte die Heterogenität des untersuchten Probandenkollektivs.

Im „Trocken“-Versuch an Land erreichten alle 31 Probanden die 150-Watt Belastungsmarke, 26 Probanden 200 W, 16 Probanden 250 Watt, 8 noch 300 Watt und zwei sogar die 350-Wattstufe. Dagegen waren im „Naß“-Versuch unter vollständiger Immersion schon bei 57 Watt nur noch 29 Probanden vertreten, bei 88 Watt waren es 28, bei 119 Watt noch 21. 150 Watt leisteten noch 14 Probanden und bei 180 Watt brachen die letzten 5 Probanden die Belastung ab. Bei zwei Probanden wurde die Belastung wegen kritischen Blutdruckanstieges beendet, in allen übrigen Fällen wurde bis zur muskulären Erschöpfung belastet. Andere Gründe (Dyspnoe, Thoraxschmerz, Herzrhythmusstörungen o. ä.) wurden nicht beobachtet.

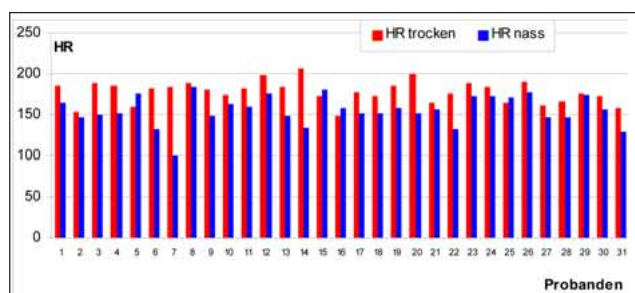


Abbildung 3: Vergleich der Herzfrequenz bei maximal erreichter Leistung in beiden Versuchsreihen bei allen Probanden

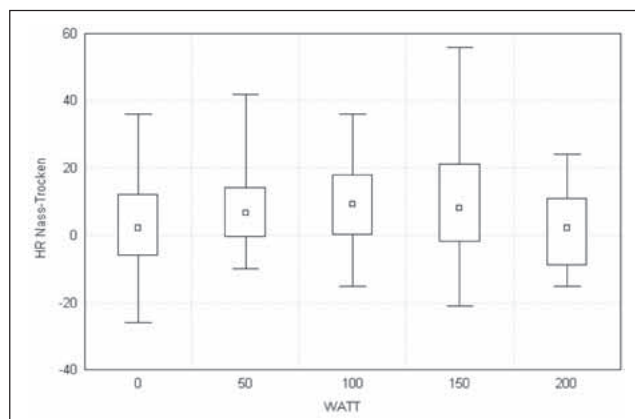


Abbildung 4: Differenz der Herzfrequenzen der einzelnen Probanden „naß“ minus „trocken“ ($\Delta = 1/n \sum (RR_{Naß} - RR_{trocken})$)

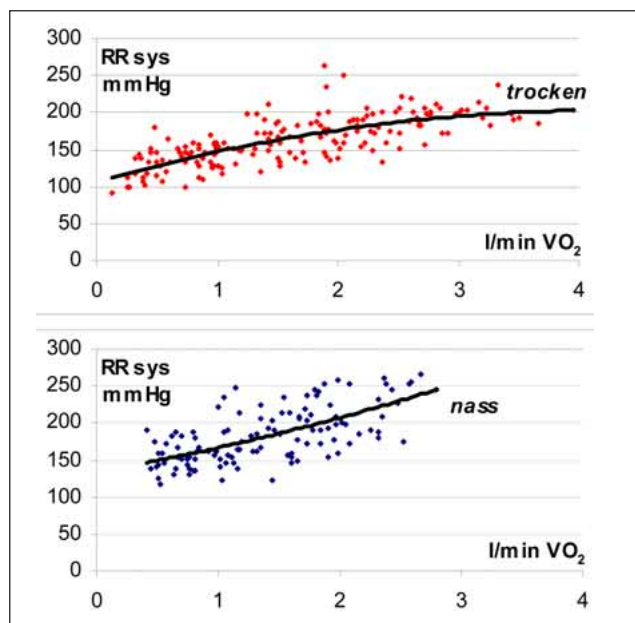


Abbildung 5: Systolischer Blutdruck in bezug auf die Sauerstoffaufnahme in den Versuchsreihen an Land (trocken) und unter Wasser (RR_{Naß}) (polynomische Trendlinien aller Werte und Probanden)

Die maximal erreichte Leistung unter Wasser war mit 180 Watt etwa halb so groß wie bei der Standardergometrie an Land. Diejenigen Probanden mit hohen Leistungen an Land waren in den meisten Fällen auch unter Wasser höher belastbar.

Herzfrequenz

Die jeweils maximal erreichten Herzfrequenzen waren in fast allen Fällen an Land höher als im Wasser, allerdings

bei meist wesentlich höherer Belastung (Abb. 3). Diese Herzfrequenzunterschiede waren im Vergleich „trocken“ zu „naß“ für 50 Watt und 100 Watt, mit $p < 0,005$ hochsignifikant und auch für 150 Watt noch signifikant ($p = 0,028$). Die Herzfrequenz war im unteren Leistungsbe- reich im Wasser also höher als an Land (Abb. 4).

Blutdruckverhalten

Der Vergleich aller Probanden-Blutdruckwerte in bezug auf den O_2 -Verbrauch zeigte bereits in Ruhe (bei 0,5 l VO_2) für den Versuch unter Wasser (naß) einen um ca. 25 mmHg höheren systolischen Blutdruck (Abb. 5). Der Verlauf der Trendlinie zeigte für den Versuch an Land (trocken) einen im höheren Bereich flacheren Anstieg auf etwa 205 mmHg, während diejenige für „naß“ sogar einen steileren Anstieg auf etwa 250 mmHg zeigte. Für 2,5 l VO_2 betrug die Differenz 45 mmHg. Diese Unterschiede waren signifikant ($p < 0,005$). Bei gleicher Leistung, gemessen an der O_2 -Aufnahme, waren die systolischen Blutdruckwerte im Mittel im Wasser somit deutlich höher als an Land.

Der systolische Blutdruck war insgesamt und auf jeder einzelnen Belastungsstufe „naß“ höher als „trocken“ und zwar um 20 bis 40 mmHg (Abb. 6, 7). Dieser Unterschied war auf jeder Stufe hochsignifikant ($p < 0,001$).

Der diastolische Blutdruck lag bei Belastung im Wasser tendentiell niedriger als im Land-Versuch. Ab der 100 Watt-Bruttobelastungsstufe erreichte die Blutdruckdifferenz Signifikanzniveau ($p < 0,01$). Sie lag z. B. bei 200 W um 35 mmHg unter dem Landwert (Abb. 8, 9).

Diskussion

Eine Methode, die die Belastungssituation unter Wasser über die Leistung exakt bestimmt, steht derzeit nur sehr eingeschränkt zur Verfügung [11]. Um das eingeführte Ver- fahren der Fahrradspiroergometrie an Land mit einer gleichförmigen Belastung unter Wasser vergleichen zu können, wurde eine Fahrradspiroergometrie für den Ein- satz unter Wasser konstruiert. Die tauchertypische Flossen- bewegung unter Wasser würde zwar die ideale und wirk- lichkeitsnahe Belastung darstellen, wäre aber, neben rein meßtechnischen Problemen, nicht hinreichend verifizier- bar. In einem solchen Verfahren wäre die Leistung, die in Watt als Kraft mal Weg pro Zeit dargestellt würde, in kei- ner Weise erfaßt. Um exakte Bewertungen und Vergleiche vornehmen zu können, mußte eine Untersuchungsmetho- de zur Anwendung kommen, welche die Belastungs- situation unter Wasser näherungsweise abbildete.

Bei dem in der vorliegenden Studie gewählten Ver- suchsaufbau war es erstmals möglich, Probanden einem standardisierten Belastungstest in vollständiger Immersion zu unterziehen. Hierbei konnten Herzfrequenz und Blut- druckwerte ermittelt und mit denen einer Belastung an Land verglichen werden. Somit eignet sich die dargestellte Methode grundsätzlich für die Messung physiologischer Parameter unter den für Taucher geltenden Immersions- bedingungen. So konnte eine definierte Belastung der Pro- banden an Land und unter Wasser sowie deren physiologi- sche Antwortreaktionen miteinander in Relation gesetzt werden. Das gewählte Verfahren ist daher einmalig und kann auch nicht mit dem Versuchsaufbau von Costil [12] verglichen werden (Abb. 10). Die hier angewandte „head- out-water-immersion“ führt zu einer deutlich unter- schiedlichen physiologischen Adaptation des Organismus. Eine Ermittlung des Wasserwiderstandes hatte nicht statt-

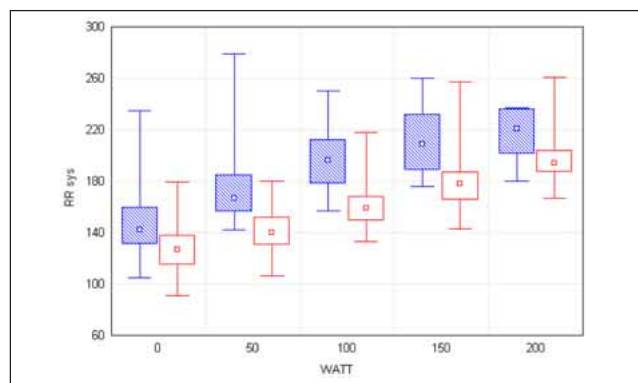


Abbildung 6: Vergleich der Mittelwerte und Spannweiten systolischer RR-Werte „naß“ (blau-gefüllt) und „trocken“ (rot-leer)

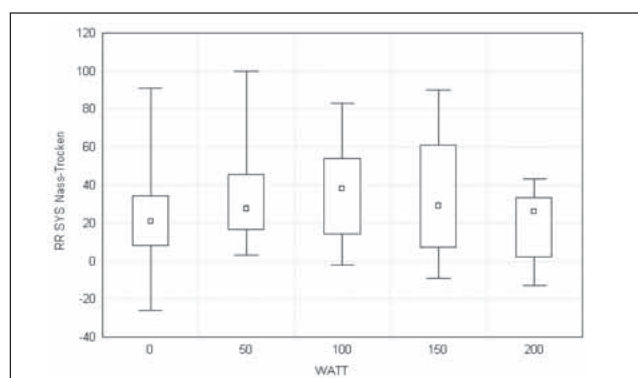


Abbildung 7: Differenz der systolischen Blutdruckwerte im Versuchs- mittel sowie Spannweiten „naß“ minus „trocken“ ($\Delta = 1/n \sum (RR_{naß} - RR_{trocken})$)

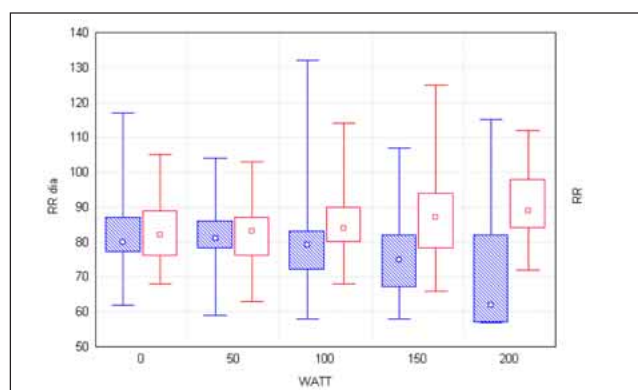


Abbildung 8: Vergleich der Mittelwerte und Spannweiten diastolischer Blutdruckwerte „naß“ (blau-gefüllt) und „trocken“ (rot-leer)

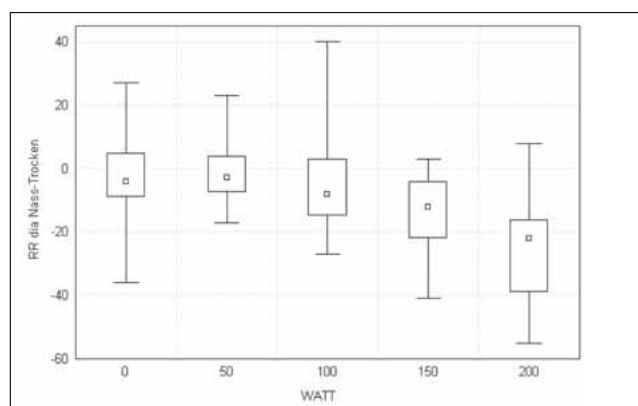


Abbildung 9: Differenz der diastolischen Blutdruckwerte im Versuchs- mittel sowie Spannweiten „naß“ minus „trocken“ ($\Delta = 1/n \sum (RR_{naß} - RR_{trocken})$)

gefunden. Expirationsgase und Blutdruckmessungen fanden ebenfalls nicht statt. Auch weitere Versuchsaufbauten, die über Messung der Fortbewegungsgeschwindigkeit oder Kraftmessungen anderer Art versuchten, die Leistung des Tauchers zu messen, mußten daher bei der Diskussion der Ergebnisse ohne Beachtung bleiben [13–20].

Die Herzfrequenz war im Wasser bei gleicher Belastung im mittleren Lastbereich signifikant höher als an Land; in Ruhe bestand eine diskrete, nicht signifikante Erhöhung. Nach der gängigen Literatur [21] wäre durch die Immersion eigentlich eine geringere Herzfrequenz zu erwarten gewesen. Die verfügbaren Studien beziehen sich jedoch ausschließlich auf Vergleiche in Ruhe, keine Studie zeigte bisher Ergebnisse bei standardisierter Belastung. Beachtet werden muß allerdings, daß auch die maximale Herzfrequenz in der vorliegenden Studie durch die geringere maximale (mechanische) Leistung im Wasser niedriger war als an Land. Weiterhin könnte sich im Wasser die psychische Belastung durch den fremdartigen und sehr aufwendigen Versuchsaufbau ausgewirkt haben. Der Tauchreflex schien individuell so verschieden ausgeprägt zu sein, daß der Eindruck entstand, Effekte aus den Versuchsbedingungen hätten ihn oftmals überlagern können. Weitergehende Studien sind notwendig.

Das BOSO-Langzeit-Blutdruckmeßgerät benötigte für eine Messung fast immer mehr als eine Minute, so daß Messungen nur alle zwei Minuten durchgeführt wurden. Das System reagierte empfindlich auf Oberarmmuskelanspannung durch das Festhalten des Probanden auf dem Ergometer. Die so entstandenen „Error“-Meldungen führten zu Meßintervallen von bis zu vier Minuten. Bei den kürzesten Belastungen waren dadurch überhaupt nur drei Werte zu erhalten. Die Herzfrequenz, gemessen über den EKG-Monitor, war in einigen Fällen durch Bewegungsartefakte grob verfälscht und wurde in solchen Fällen durch den Wert aus dem Blutdruckmeßgerät ersetzt.

Der systolische Blutdruck lag im mittleren Leistungsbe- reich bei gleicher Leistung im Wasser um etwa 40 mmHg höher als an Land. Dieses Ergebnis war hochsignifikant und bei jedem einzelnen Probanden nachzuweisen. Der diastolische Blutdruck war ab 100 Watt im Wasser signifikant niedriger als an Land. Die Messung des diastolischen Blutdrucks war jedoch mit größerer Unsicherheit (z. B. „Durchlaufphänomen“) behaftet als die des systolischen Wertes. Es wäre denkbar, daß im gut schalleitenden Medium Wasser durch bessere Ankoppelung das Korotkoff-Geräusch für das Meßgerät länger zu „hören“ war als in Luft und dadurch ein falsch niedriger Wert erfaßt wurde. Dies könnte durch vergleichende Messung bei bis zum Kinn eingetauchtem Probanden mit und ohne Eintauchen des Oberarmes und Meßgerätes geklärt werden.

Diskutiert wird eine „Schwimmer-Hypertonie“, die nach Weiß und Weicker [2] durch Barorezeptor-Anpassung auf die hämodynamischen Veränderungen der Immersion sowie einen Aldosteron- (und Katecholamin-) Anstieg bei Immersion plus Belastung zurückzuführen sei. Der Blutdruck wurde hier nach der Tauchbelastung gemessen, Blutdruckanstieg von 7 mmHg [3] oder 9 % [4] durch Gesichtsimmersion wurden beschrieben.

Die zitierten Arbeiten zum Tauchreflex beschrieben meist einen Anstieg des systolischen oder des arteriellen Mitteldruckes, so auch Follinsbee [22], der bei Immersion bis zum Kinn einen arteriellen Mitteldruckanstieg durch

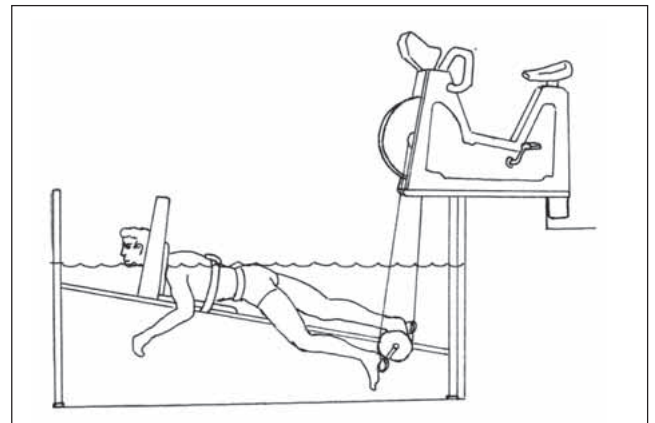


Abbildung 10: Belastungstest einer „head-out-water-immersion“ nach Costill (mod. nach [12]).

Apnoe von 5 bis 15 mmHg je nach Wassertemperatur sah. Trouerbach et al. [23] dagegen fanden den Blutdruck durch Eiskühlung des Gesichts plus Apnoe nicht beeinflusst. Andererseits soll auch Handimmersion in kaltes Wasser zumindest vorübergehend zum Blutdruckanstieg führen (nach Paik et al. [24] etwa 8 Minuten), der bei Allen et al. [25] deutlicher ausgeprägt war als durch Gesichtskühlung. Die Herzfrequenz stieg bei Handkühlung an, während sie bei Gesichtskühlung abfiel.

Bachmann et al. maßen Herzfrequenz und Blutdruck blutig-telemetrisch bei verschiedenen Sportarten [5]. Sie teilen RR-Werte von 170/105 mmHg beim Schwimmen und 250/170 mmHg beim Tauchen mit. Die Herzfrequenz sei beim Schwimmen mit 130 geringer als bei vergleichbaren Land-Sportarten, beim Tauchen jedoch nur 60/Min. Es wurde keine standardisierte Belastung vorgegeben. Die Modalitäten dieses Versuchs (kurzes Abtauchen während des Schwimmens, Sensor wahrscheinlich über der Wasseroberfläche) weisen auf grobe technische Mängel hin und lassen einen tatsächlichen Vergleich mit der vorliegenden Untersuchung nicht zu.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, daß schon geringe Belastungen in dem Medium Wasser für den Freizeittaucher eine Relevanz haben. Die ersten Ergebnisse lassen erahnen, daß relevante Blutdruckanstiege allein durch die Ganzkörperimmersion, aber besonders auch durch nur mäßige Belastung ausgelöst werden können. Die Ergebnisse bedürfen noch einer weiteren Überprüfung durch nachfolgende Studien, sollten jedoch schon jetzt Menschen mit grenzwertiger Hypertonie oder mit nicht ausreichender koronarer Leistungsreserve vor der Teilnahme am Tauchsport warnen.

Literatur:

1. Almeling M, Witten F, Niklas A. Methodenentwicklung zur Kontrolle des Vorhersagewertes einer Fahrradergometrie für die Leistungsfähigkeit von Tauchern. Zentralblatt Arbeitsmedizin Arbeitsschutz Ergon 2004; 54: 108–14.
2. Weiß M, Weicker H. Gibt es eine Schwimmer-Hypertonie? Schweiz Z Sportmed 1985; 33: 122–32.
3. Zbrozyna AW, Westwood DM. Cardiovascular responses elicited by simulated diving and their habituation in man. Clin Auton Res 1992; 2: 225–33.
4. Sterba JA, Lundgren CEG. Breath-hold duration in man and the diving response induced by face immersion. Undersea Biomed Res 1988; 15: 361–75.
5. Bachmann K, Zetzany R, Riess P, Zold K. Blutdrucktelemetrie. Dtsch Med Wochenschr 1970; 95: 741–7.

6. Almeling M. Tauchunfall-Statistiken. In: Almeling M, Böhm F (Hrsg). Handbuch Tauch- und Hyperbarmedizin. Ecomed Verlag, Landsberg, 1998; II-4.1.
7. Almeling M, Witten F, Niklas A. Blutdruck bei Sporttauchern im Wasser höher als an Land. Posterpräsentation, Hypertonie 2003, 27. Wissenschaftlicher Kongreß, 26.–29.11.2003, Köln.
8. Langer, Finzi. Die Messung der mechanischen Leistung durch elektrische Pendelmaschinen. Z Ver Dtsch Ingenieure 1914; 58: 41–6.
9. Droste T, Almeling M, Wegener R, Witten F, Hottowitz R. Umgebungsdruck-gesteuertes Expirationsventil. Offenlegungsschrift 2001; DE 100 05 843 A1. Deutsches Patent- und Markenamt.
10. Almeling M. Tauchtauglichkeitsuntersuchungen für Berufstaucher. In: Almeling M, Böhm F (Hrsg). Handbuch Tauch- und Hyperbarmedizin. Ecomed Verlag, Landsberg, 2003; II-8.1.
11. Niklas A. Untersuchungen zur Entwicklung einer sportartspezifischen Spiroergometrie für die Sportarten Schwimmen und Tauchen. Med. Dissertation, Magdeburg, 1984.
12. Costill DL. Use of a swimming ergometer in physiological research. Res Q 1966; 37: 564–7.
13. Goff LG, Brubach HF, Specht H. Measurements of respiratory responses and work efficiency of underwater swimmers utilizing improved instrumentation. J Appl Physiol 1957; 2: 197–202.
14. Pilmanis AA, Henriksen JKC, Dwyer HJ. An underwater ergometer for diver work performance studies in the ocean. Ergonomics 1977; 1: 51–5.
15. Niklas A, Peter E. Verfahren und Vorrichtung zur tätigkeitsspezifischen Leistungsdiagnostik für Schwimmtaucher. In: Bartmann H (Hrsg). Taucherhandbuch. Ecomed Verlag, Landsberg, 1993; VII-1.16: 99–106.
16. Niklas A, Fuhrmann P, Hottowitz R, Walther G, Welger K. Verfahren und Vorrichtung zur Spiroergometrie im Wasser. Med Sport (Berl) 1988; 28: 150–3.
17. Weltman G, Egstrom GH. Heart rate and respiratory response correlations in surface and underwater work. Aerosp Med 1969; 40: 479–83.
18. Weicker H, Lenz T, Weiß M, Werle E. Tauchen und hypertone Kreislaufregulation. Caisson 1987; 2: 32–5.
19. Dressendorfer HR, Morlock JF, Baker DG, Hong SK. Effects of head-out water immersion on cardiorespiratory responses to max. cycling exercise. Undersea Biomed Res 1976; 3: 177–87.
20. Dwyer J, Pilmanis AA. Physiological studies of divers working at depths to 99 fsw in the open sea. In: Shilling CW, Beckett MW (eds). Underwater Physiology. VI. Proceedings of the sixth symposium on Underwater Physiology Federation of American Societies for Experimental Biology, Bethesda, 1978; 167–78.
21. Almeling M. Apnoetauchen in der Tauchmedizin. In: Almeling M, Böhm F (Hrsg). Handbuch Tauch- und Hyperbarmedizin. Ecomed Verlag, Landsberg, 2004; II-3.2: 1–84.
22. Folinsbee L. Cardiovascular responses to apneic immersion in cool and warm water. J Appl Physiol 1974; 36: 226–323.
23. Trouerbach J, Duprez D, De Buyzere M, De Sutter J, Clement D. Cardiovascular responses elicited by different diving manoeuvres. Eur J Appl Physiol 1994; 68: 341–4.
24. Paik KS, Kang BS, Han DS, Rennie DW, Hong SK. Vascular responses of Korean ama to hand immersion to cold water. J Appl Physiol 1972; 32: 446–50.
25. Allen MT, Shelley KS, Bouquet AJ jr. A comparison of cardiovascular and autonomic adjustments to three types of cold stimulation tasks. Int J Psychophysiol 1992; 13: 59–69.

Dr. med. Michael Almeling

Geboren 1961, Studium der Humanmedizin von 1982–1989 an den Universitäten Marburg und Kiel, 1989–1994 bei der Bundesmarine Ausbildung als Arbeitsmediziner und Taucherarzt. Seit 1994 Lehrbeauftragter für Tauch- und Hyperbarmedizin der Universität Göttingen. Seit 1998 Direktor des Tauchunfallzentrums am Rotkreuz-Krankenhaus Kassel, seit 2004 Diving and Hyperbaric Medicine Consultant der EDTC; Bundesverbandsarzt der International Diving Association, Tauchlehrer der CMAS.



Mitteilungen aus der Redaktion

Abo-Aktion

Wenn Sie Arzt sind, in Ausbildung zu einem ärztlichen Beruf, oder im Gesundheitsbereich tätig, haben Sie die Möglichkeit, die elektronische Ausgabe dieser Zeitschrift kostenlos zu beziehen.

Die Lieferung umfasst 4–6 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Das e-Journal steht als PDF-Datei (ca. 5–10 MB) zur Verfügung und ist auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ **Bestellung kostenloses e-Journal-Abo**

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

☒ **Bilddatenbank**

☒ **Artikeldatenbank**

☒ **Fallberichte**

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

Impressum

Disclaimers & Copyright

Datenschutzerklärung