

Titel: Makro- und mikrohämodynamische Beeinflussungen im Freitauch-Everesting Weltrekord.

Autor: Schedler, O.¹; Weißhoff, D.²

Institution: ¹Bavaria Klinik Kreischau, Sportmedizin, An der Wolfsschlucht 1-2, 01731 Kreischau;

²Freediving Center Germany (AIDA Instructor Trainer); info@freediving-center-germany.de>

Zusammenfassung: Das Everesting ist eine neue Ausdauersportart, bei welcher die Sportler über eine definierte, jedoch frei wählbare Strecke am Berg eine kumulative Höhe von 8848 Metern zurücklegen. Eine Überwindung der Gesamtstrecke im Apnoe Tauchsport gab es bisher nicht. In einem Tauchturm von 20 Meter Wassertiefe wurden vom Freitaucher insgesamt 222 Apnoetauchgänge in 12:57:09 Stunden durchgeführt. Untersucht wurde der transkutane Sauerstoffpartialdruck (TINA 4, Radiometer, Kopenhagen), die Pulswellentransientzeit (PWTT) zur Kalkulation des Herzzeitvolumens und Standard Monitoring mit EKG, RR, SpO₂ (Life Scope, BSM 6501, Nihon Kohden, Japan) sowie die Mikrozirkulation (O₂C, LEA Medizintechnik Giessen, Deutschland) und die Bestimmung der Körperkerntemperatur mittels Infrarotthermometrie im Gehörgang. Vor dem Wettkampf lag ein transkutane Sauerstoffdruck von 83 mmHg vor, welcher sich mit den ersten 50 Tauchgängen steigerte, um im weiteren Wettkampf nahezu konstant zu bleiben. (Mean=129,9±20,39 Standardabweichung). Die Werte folgen mit einem Bestimmungsmaß von $R^2 = 0,3255$ einer Potenzgleichung mit der Formel $y = 104,24x^{0,1367}$. Der Perfusionsindex nimmt im Verlauf des Untersuchungszeitraumes signifikant zum Ausgangswert ab ($p < 0,01$, t-Test) und ändert sich während des Wettkampfes nicht signifikant ($p > 0,05$, t-Test). Die Pulswellentransientzeit und der Herzindex zeigten im Untersuchungszeitraum zur Ausgangsmessung keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$, t-Test). Entsprechend dem Gasgesetz von Dalton, ändern sich die Partialdrücke nur innerhalb des Gesamtdruckes. Durch die Erhöhung des Wasserdampfpartialdruckes um 23 mmHg sowie der Ausatmung von Kohlendioxid von 35 mmHg, erfolgt bei den Apnoetauchgängen im Freitauch Everesting keine Stickstoffaufsättigung des Gewebes. Die Abnahme des Perfusionsindex, die Abnahme des Blutflusses im Gewebe sowie die Abnahme der Sauerstoffsättigung in Gewebe lassen, bei gleichbleibenden Hämoglobingehalt, auf eine hydrostatisch bedingte periphere Vasokompression schließen. Die damit bedingte thorakale Volumenverschiebung zeigten in den Messungen des Herzindex der Makrohämodynamik und der Messungen der Mikrohämodynamik keine signifikanten Beeinflussungen.

Abstract: Everesting is a new endurance sport in which athletes cover a cumulative altitude of 8848 meters over a defined but freely selectable distance on a mountain. The total distance has never before been covered in apnea diving. In a diving tower with a water depth of 20 meters, the freediver performed a total of 222 apnea dives in 12:57:09 hours. The transcutaneous oxygen partial pressure (TINA 4, Radiometer, Copenhagen), the pulse wave transient time (PWTT) for calculating cardiac output and standard monitoring with ECG, RR, SpO₂ (Life Scope, BSM 6501, Nihon Kohden, Japan) as well as microcirculation (O₂C, LEA Medizintechnik Giessen, Germany) and the determination of core body temperature using infrared thermometry in the ear canal were examined. Before the competition, the transcutaneous oxygen pressure was 83 mmHg, which increased during the first 50 dives and remained almost constant during the rest of the competition. (Mean=129.9±20.39 standard deviation). With a coefficient of determination of $R^2 = 0.3255$, the values follow a power equation with the formula $y = 104.24x^{0.1367}$. The perfusion index decreases significantly over the course of the study period compared to the initial value ($p < 0.01$, t-test) and does not change significantly during the competition ($p > 0.05$, t-test). The pulse wave transient time and the cardiac index showed no significant differences from the baseline measurement during the study period ($p > 0.05$, t-test). According to Dalton's gas law, the partial pressures only change within

the total pressure. Due to the increase in the partial pressure of water vapor by 23 mmHg and the exhalation of carbon dioxide of 35 mmHg, there is no nitrogen saturation of the tissue during the apnea dives in freediving Everesting. The decrease in the perfusion index, the decrease in blood flow in the tissue and the decrease in oxygen saturation in the tissue suggest hydrostatically induced peripheral vasocompression while the hemoglobin content remains constant. The resulting thoracic volume shift showed no significant effects in the measurements of the cardiac index of macrohaemodynamics and the measurements of microhaemodynamics.

Einleitung:

Das Everesting ist eine neue Ausdauersportart, bei welcher die Sportler über eine definierte, jedoch frei wählbare Strecke am Berg eine kumulative Höhe von 8848 Metern zurücklegen. Mit der Höhe des Mount Everest entstand auch der Name des Wettkampfes. Die Strecken wurden bisher mit dem Fahrrad oder als Läufer absolviert. Der Wettkampf muss an einem Tag durchgeführt werden. E-Bikes, Tandems und Liegendräder sind für das Everesting nicht erlaubt.

Für das Fahrrad-Everesting wurden über einen Zeitraum von 10:30 Stunden und einer Strecke von 195,40 Km eine Gesamthöhe von 9009 Metern erreicht. Der Anstieg der etwa 7 km langen Einzelstrecke betrug bis zu 12 %. Im Jogging wurde nach 18:34 Stunden und einer Gesamtstrecke von 61,59 Kilometer eine Höhe von 9033 Metern erreicht. Im virtuellen Everesting nutzt man Spinnig Räder und fährt in 12:19 Stunden mit einer Gesamtlänge von 208,99 Kilometern im Anstieg zwischen 4 und 12 % auf die Höhe von 8854 Metern im Fitnesscenter. In den Fahrrad-Everesting Wettkämpfen werden in durchschnittlich 12:25 Stunden ($12,32 \pm 25,69$ Minuten) 8355 Kilojoule ($8355,85 \pm 2478,28$ kJ) bei einer mittleren Belastung von $196,08 \pm 26,68$ Watt. verbraucht.

Anhand der vorhandenen Voruntersuchungen erfolgte die Kalkulation für den Freitauchwettkampf. Der Ruheumsatz (BMR=basal metabolic rate) errechnet sich aus Gewichts, Größe und Alter und betrug beim Freitaucher 6660kJ bzw. 1592 kcal nach Harrison-Benedict Formel. Für das Apnoetauchen von 40 Meter berechneten wir eine mittlere körperliche Belastung, bei einer in den Trainingstrainings erreichte Herzfrequenz im Durchschnitt von $H_f=90/\text{min}$, mit einem metabolischen Äquivalent (MET/PAL=physical activity level) von 3, was einer Belastung von 70kcal bzw. 82 Watt entsprach. Damit lag der kalkulierte Aktivitätsumsatz des Fahrrad-Everesting mit 196 Watt höher als bei Freedive Everesting. Darüber hinaus nutzen wir die Möglichkeit zur Bestimmung der endinspiratorischen Atembemühung (Packing) zur Kalkulation der möglichen Tauchtiefe von 106 Metern, um die physiologischen Kapazitäten abzuschätzen. Um die Sättigungsdynamik im Apnoetauchen zu untersuchen, nutzten wir die Sauerstoffpartialdruckmessung, um indirekt die Stickstoffsättigung zu beurteilen.

Zur Überprüfung der sehr häufig wiederholenden Volumenverteilungen bei Apnoetauchen ($n=222$) überprüften wir die Pulswellentransientzeit mit der Kalkulation des Herzzeitvolumens, um Aussagen über die Steigerung im pulmonalen Kreislauf mit der Beeinflussung der rechtsventrikulären Pumpfunktion zu beurteilen [1-4]. Zur Beurteilung der Gewebesättigungen nutzen wir die Messung der Sauerstoffsättigungen, der relativen Hämoglobinmenge sowie den Blutfluss im venolen Mikrozirkulationsgebiet.

Eine Überwindung der Gesamtstrecke im Apnoe Tauchsport gab es bisher nicht. Aus präanalytischen Untersuchungen und Kalkulationen sollte der Wettrekordversuch aus physiologischen, psychologischen und sportmedizinischen Gesichtspunkten erfolgreich sein.

Der Rekordversuch des Freedive Everesting wurde vom der Record Holders Republic, Registry of official World Records begleitet und anerkannt

Methoden:

In einem Tauchturm von 20 Meter Wassertiefe wurden vom Freitaucher insgesamt 222 Apnoetauchgänge in 12:57:09 Stunden durchgeführt. Der Freitaucher verwendete einen Tauchcomputer mit Herzfrequenzmessung (Garmin), einen 5,5 mm Neoprenanzug, Taucherbrille und Flossen und entsprechende Beschwerungen. Während des Tauchganges erfolgte keine Ausatmung. Für jeden Tauchgang wurden 3 Minuten eingeplant, wobei der Apnoetauchgang von 40 Metern etwa 45 Sekunden dauerte, so dass 2: 15 Minuten Ruhepause eingeplant waren. Vor dem Wettkampf fand eine ärztliche Untersuchung statt. Nach jeweils 25 Tauchgängen wurde eine 15-minütige Pause für medizinische Untersuchungen eingeplant. Nach dem Wettkampf fand erneut eine ärztliche Untersuchung statt. Untersucht wurde der transkutane Sauerstoffpartialdruck (TINA 4, Radiometer, Kopenhagen), die Pulswellentransientzeit (PWTT) zur Kalkulation des Herzzeitvolumens und Standard Monitoring mit EKG, RR, SpO₂ (Life Scope, BSM 6501, Nihon Kohden, Japan) sowie die Mikrozirkulation (O₂C, LEA Medizintechnik Giessen, Deutschland) und die Bestimmung der Körperkerntemperatur mittels Infrarotthermometrie im Gehörgang.

Das Gerät für die transkutane Sauerstoffpartialdruckmessung wurde stündlich kalibriert. Die Kalibration zur Pulswellentransientzeit wurde mit jeder Messung am Freitaucher durchgeführt. Die Weißlichtkalibration zur Messung der Mikroperfusion erfolgte am Wettkampftag. Am Wettkampftag lag der Barometerdruck bei 1012,2 hPa/759,21 mmHg. Die Lufttemperatur in der Tauchturmhalle betrug 26°C und die Wassertemperatur betrug 24°C. Die relative Luftfeuchtigkeit lag bei 50%.

Ergebnisse:

Die biometrischen Daten des Freitauchers befinden sich in Tabelle 1. Das verfügbare Lungenvolumen kann beim Freitaucher durch endinspiratorische Bemühungen (Packing) auf 7,29 Liter gesteigert werden, was entsprechend der Kalkulation der möglichen Tauchtiefe aus TLC und Reservevolumen ($\text{bar} \times \text{TCL} = \text{bar} \times \text{RV}$) einer Tauchtiefe von 106 Metern entspricht. Somit betrug die beabsichtigte Tauchtiefe 40% der maximalen möglichen Tauchtiefe und 60% der bisher erreichten Tauchtiefe von 70 Metern.

Tabelle 1: Biometrische Daten des Freitauchers

Größe	171 cm
Gewicht	69 kg
Totales Lungenvolumen	6,62 Liter
Diffusionskapazität	10,65 mmol/(min*kPa')
VO ₂ max	2576 ml/min; 39,6 ml/min/kg
Apnoezeit während der BGA Untersuchung	04:08 Minuten
Sauerstoffverbrauch während Apnoe	6 mmHg/min
O ₂ Puls bei 72 Herzschläge/min	4,3 ml
O ₂ Puls bei 93 Herzschläge/ min	9,1 ml
Sauerstoffverbrauch-(VO ₂)Spiroergometrie bei 72 Herzschläge/min	4,8 ml/min/kg
Sauerstoffverbrauch (VO ₂)- Spiroergometrie bei 93 Herzschläge/min	12,4 ml/min/kg
Kalkulierter Sauerstoffverbrauch (VO ₂)beim Tauchgang	11,5 ml/sec

Kalkulierter Sauerstoffverbrauch (VO ₂) beim Wettkampf	500ml O ₂ Verbrauch pro 40 Meter
--	---

Für die Abschätzung der Atemgasdynamik wurden entsprechend der physikalischen Gegebenheiten ein inspiratorischer Wasserdampfpartialdruck nach der Formel $p_D = \phi \cdot R_D \cdot T$ errechnet, wobei p_D der Wasserdampfpartialdruck in mmHg, ϕ die relative Luftfeuchtigkeit in %, R_D die Gaskonstante von Wasserdampf mit 461,51 (J/(kg*K)) und T die Temperatur in Kelvin ist.

Tabelle 2: Atemgaszusammensetzung beim Freitauch Everesting Wettkampf

Barometerdruck 759,21 mmHg	Inspiration	Expiration
Stickstoff (N ₂ O)	574 mmHg	540 mmHg
Sauerstoff (O ₂)	161 mmHg#	135 mmHg*
Kohlendioxid (CO ₂)	0 mmHg	35mmHg''
Wasserdampfdruck (H ₂ O)	24 mmHg	47mmHg

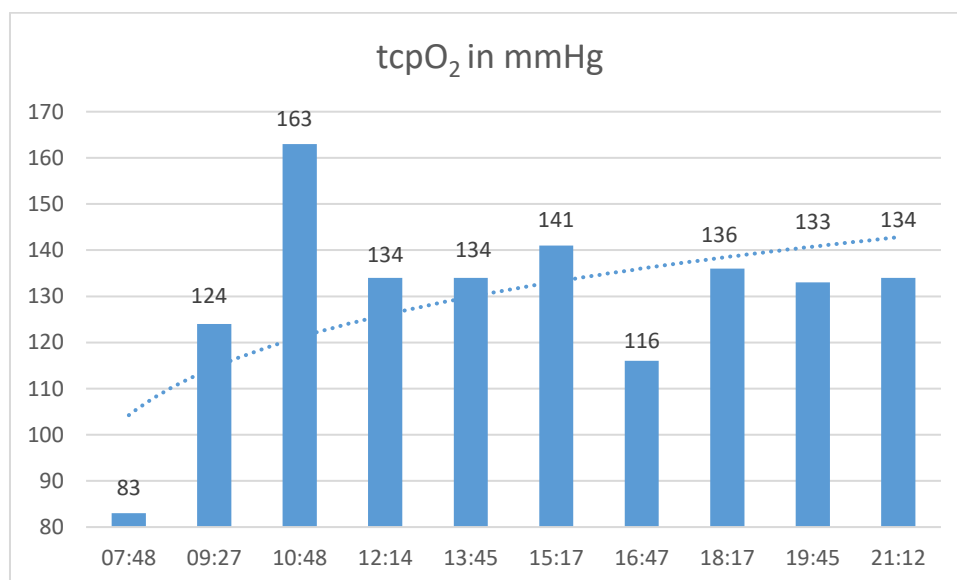
#Der Sauerstoffpartialdruck der Raumluft wurde durch Kalibration der transkutanen Sauerstoffpartialdruckmessung ermittelt.

* Sauerstoffpartialdrücke wurden mittels transkutaner Sauerstoffpartialdruckmessung während der medizinischen Untersuchungspausen gemessen (n=10) und daraus ein Mittelwert gebildet ,

''Der Kohlendioxidwert wurde beim Apnoeversuch mittels Blutgasanalytik im Vorfeld des Wettkampfes bestimmt.

Im Bild 1 werden die Messergebnisse der transkutanen Sauerstoffpartialdruckmessung dargestellt. Die Messung erfolgte an der Handinnenfläche des Daumenballens. Vor dem Wettkampf lag ein transkutaner Sauerstoffdruck von 83 mmHg vor, welcher sich mit den ersten 50 Tauchgängen steigerte, um im weiteren Wettkampf nahezu konstant zu bleiben. (Mean=129,9±20,39 Standardabweichung). Die Werte folgen mit einem Bestimmungsmaß von $R^2 = 0,3255$ einer Potenzgleichung mit der Formel $y = 104,24x^{0,1367}$.

Bild 1: Verlauf des transkutanen Sauerstoffpartialdruckes



Die Messungen erfolgten in nahezu gleichen Zeitabständen zwischen dem Ende des letzten Tauchganges und den medizinischen Messungen. So fand die Messung um 10:48 Uhr direkt nach dem Tauchgang, die Messung um 16:47 Uhr etwa 180 Sekunden nach dem Tauchgangende statt. Durchschnittlich vergingen zwischen Tauchgangende und Messbeginn 120 Sekunden.

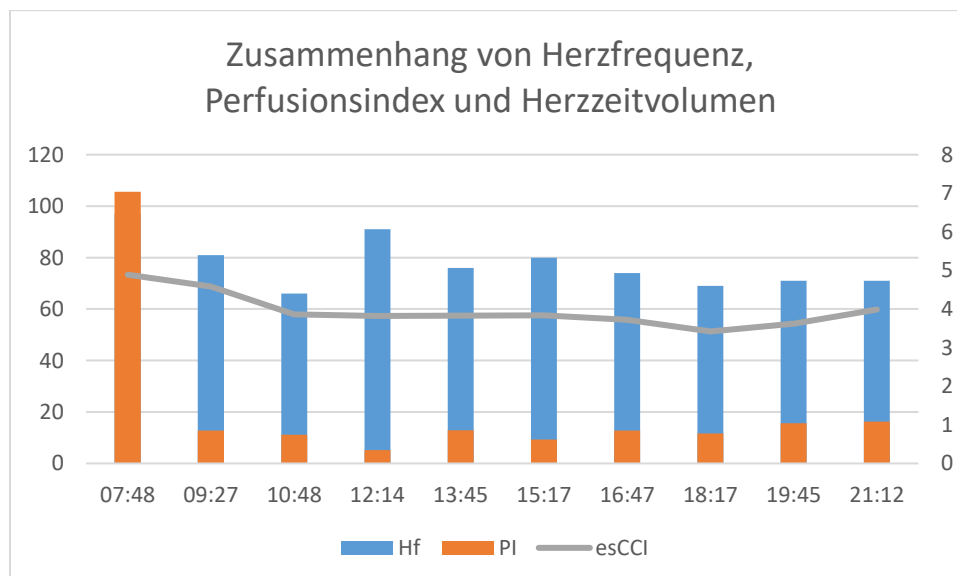
Für die Bestimmung der kardiopulmonalen Leistungsparameter im Apnoesport zählte die Beurteilung des thorakalen Volumenshift durch Immersion, Submersion und Druckanstieg im pulmonalen Perfusionssystem, mit der Beeinträchtigung des rechtsventrikulären Pumpsystems eine besondere Rolle. Durch die Zunahme des hydrostatischen Druckes kommt es zur Erhöhung des systemischen peripheren Widerstands, was eine Erhöhung des diastolischen Blutdruckes bedingt und zur Belastung für das rechtsventrikuläre Pump- und Reizleitungssystem führt. Mit der Pulswellentransientzeitmessung erfolgte die Bestimmung der Zeit zwischen dem elektrischen Signal der Systole im EKG und dem Auftreten einer Pulswelle, gemessen mittels der plethysmographischen Sauerstoffsättigung (SpO_2). Aus der Pulswellentransientzeit, der Herzfrequenz, dem Pulsdruck (Amplitude zwischen maximalen Ausschlag der Pulswelle und minimalen Ausschlag der Pulswelle) und dem nichtinvasiven Blutdruck ließ sich das Herzzeitvolumen bezogen auf die Körperoberfläche in m^2 als Herzindex bestimmen.

Im Bild 2 werden die Parameter Perfusionsindex aus der Pulsoximetrie, die Herzfrequenz sowie der kalkulierte Herzindex (esCCI) dargestellt. Der Perfusionsindex ergab sich aus dem Anteil der pulsativen Perfusionskurve des gesättigten Blutes und dem Anteil des nicht pulsativen Anteil des gesättigten Blutes. Durch die Ableitung der beiden Anteile in einer Ratio, kann indirekt auf eine Reduzierung des Blutflusses, im Sinne einer Vasokonstriktion geschlossen werden. Alternativ kann sich der Anteil des gesättigten Blutes im nicht pulsativen Anteil erhöhen und als venöse Rückstauung interpretiert werden.

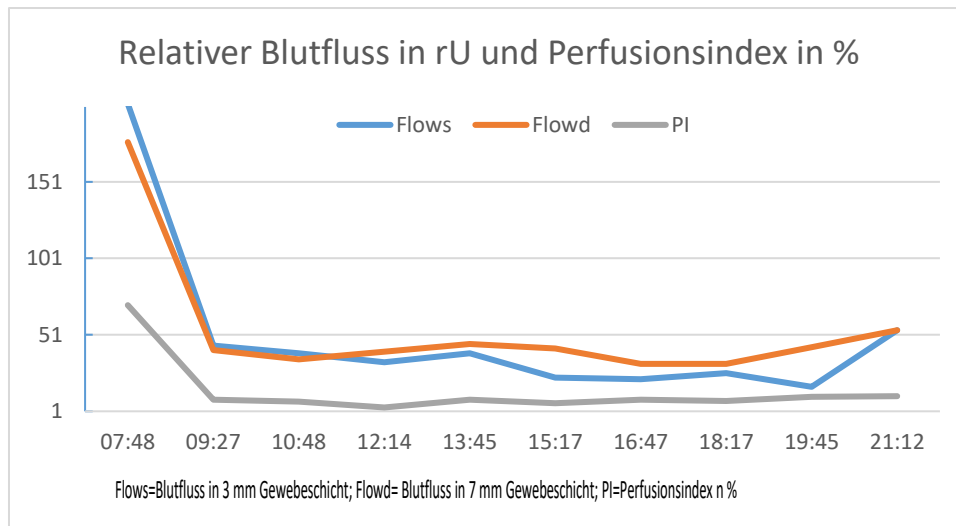
Der Perfusionsindex nimmt im Verlauf des Untersuchungszeitraumes signifikant zum Ausgangswert ab ($p < 0,01$, t-Test) und ändert sich während des Wettkampfes nicht signifikant ($p > 0,05$, t-Test).

Die Pulswellentransientzeit und der Herzindex zeigten im Untersuchungszeitraum zur Ausgangsmessung keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$, t-Test).

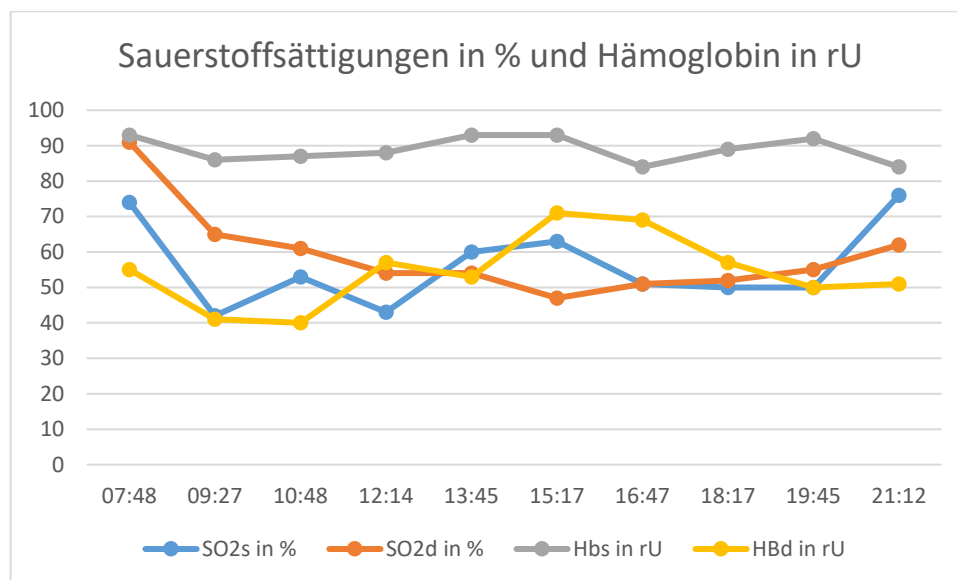
Bild 2: Zusammenhang von Herzfrequenz pro Minute, Perfusionsindex in % und Herzindex in l/min/m^2 während des Untersuchungszeitraumes



Um die Volumenverschiebungen, insbesondere während der längeren Tauch- und Untersuchungsphase zu beurteilen, wurden der Perfusionsindex in % und der Blutfluss im Gewebe in 3 mm und 7 mm in relativen Einheiten (rU) gemessen. Im Bild 3 werden die Messwerte graphisch dargestellt. Zum Ausgangswert reduzieren sich der Perfusionsdruck sowie der Blutfluss in 3 und 7 mm Gewebeschichten signifikant ($p < 0,01$, t-Test). Während des Untersuchungszeitraumes ändern sich die Parameter des Perfusionsindex und des Blutflusses nicht mehr signifikant.



Die Sauerstoffsättigung im Gewebe im postkapillären Perfusionsgebiet nahm mit dem Wettkampf vom Ausgangspunkt signifikant ab ($p < 0,05$, t-Test). Zwischen dem 100. Tauchgang und dem 150. Tauchgang stieg die oberflächige Sauerstoffsättigung in 3 mm Gewebetiefe über die Sauerstoffsättigung in tieferen Gewebeschichten von 7 mm an, was auf eine Thermogeneseregulierung hinwies. Die Abnahme der Sauerstoffsättigung im postkapillären venolen Stromgebiet wies auf eine hydrostatische Vasokompression hin, was durch die Abnahme der Hämoglobinmenge bedingt war. Eine Zunahme der Hämoglobinmenge in den tiefen Gewebeschichten zwischen dem 150. und dem 200. Tauchgang und der konsekutiven Abnahme der oberflächigen Hämoglobinmenge und nicht signifikanter Absenkung des Herzindex könnte durch eine transpulmonale Druckerhöhung bedingt gewesen sein.



In der Tabelle 3 werden die ermessenen Parameter dargestellt. Jeder Messzeitpunkt entsprach einer Pause nach 25 Apnoetauchgängen von jeweils 40 Metern.

Tabelle 3: Messwerte aus dem Verlauf von 222 Apnoetauchgängen

	tcpO ₂														
Zeit	in mmHg	SO ₂ s in %	SO ₂ d in %	Hb _s in rU	HB _d in rU	Flow _s in rU	Flow _d in rU	Hf /min	RRs in mmHg	RRd in mmHg	PI in rU	SpO ₂ in %	esCCI in l/min/m ²	Temp. in ° C	
07:48	83	74	91	93	55	202	177	97	147	86	7,04	96	4,89	36,5	
09:27	124	42	65	86	41	44	41	81	150	94	0,85	99	4,58	36	

10:48	163	53	61	87	40	39	35	66	154	100	0,74	98	3,86	35,2
12:14	134	43	54	88	57	33	40	91	134	106	0,35	98	3,82	36,7
13:45	134	60	54	93	53	39	45	76	129	87	0,86	98	3,83	37,4
15:17	141	63	47	93	71	23	42	80	138	94	0,62	98	3,84	37,1
16:47	116	51	51	84	69	22	32	74	126	94	0,85	100	3,72	36,9
18:17	136	50	52	89	57	26	32	69	140	94	0,78	99	3,42	36,7
19:45	133	50	55	92	50	17	43	71	143	89	1,04	100	3,62	36,9
21:12	134	76	62	84	51	54	54	71	143	96	1,08	99	3,99	36,6

Diskussion:

Für einen Langzeitwettkampf im Geräte- und im Apnoetauchen gibt es bisher keine physiologischen Daten zum Sauerstoffpartialdruck, zur Dynamik des Herzzeitvolumens sowie die Veränderungen der Mikrozirkulation. Die Messung des transkutanen Sauerstoffpartialdruckes und der Parameter der Mikroperfusion wurden an einer vegetativ gut versorgten Stelle des Körpers durchgeführt (Handinnenfläche). Damit repräsentieren Sie ein genau umschriebenes peripheres Messfeld, was abhängig von Zeitpunkt der Messung zwischen Tauchgang und Messdurchführung, der Verweildauer im und unter Wasser, sowie der Körper- und Umgebungstemperatur ist.

Entsprechend dem Gasgesetz von Dalton, ändern sich die Partialdrücke nur innerhalb des Gesamtdruckes. Durch die Erhöhung des Wasserdampfpartialdruckes um 23 mmHg sowie der Ausatmung von Kohlendioxid von 35 mmHg, erfolgt bei den Apnoetauchgängen im Freitauch Everesting keine Stickstoffaufsättigung des Gewebes. Stickstoff wird im Körper hauptsächlich in Form von Proteinen und Aminosäuren transportiert und geht auf Grund seines geringen Löslichkeitskoeffizienten und Kapazitätskoeffizienten in Flüssigkeiten schwer in gasförmigen Ansammlungen im Gewebe über. In der maximalen Tauchtiefe steigt zwar auch die Höhe des Stickstoffpartialdruckes beim Apnoetauchen in 20 Metern auf das dreifache, aber es erfolgt keine Zuatmung von Stickstoff im Wasser. Eine Sättigung des Hämoglobins mit Stickstoffmonoxid (NO) kann auf Grund der nicht messbaren Vasodilatation, als Hauptwirkung des NO, nicht angenommen werden. Durch die Messung des transkutanen Sauerstoffpartialdruckes kann daher indirekt auf den Stickstoffpartialdruck und damit auf die vorliegende Stickstoffsättigung am Hämoglobin durch Stickstoffmonoxid sowie im Gewebe eingegangen werden.

Die vorab kalkulierten physiologischen Rahmenbedingungen legten nahe, dass eine mittlere körperliche Entlastung entsteht, was durch die Messungen bestätigt werden konnte. Die Dynamik der Herzfrequenzveränderungen im Apnoesport ergibt sich aus einer Abnahme der Herzfrequenz beim Abtauchen durch Kompression der Hohlvenen und des rechten Vorhof und rechten Ventrikel mit zunehmender Tauchtiefe. Eine Zunahme der Herzfrequenz über das Ausgangsniveau hinaus ist beim Auftauchen zu verzeichnen, was die aufgezeichneten Herzfrequenzdaten aus dem 13-stündigen Tauchwettbewerb aufzeigen.

Die Abnahme des Perfusionsindex, die Abnahme des Blutflusses im Gewebe sowie die Abnahme der Sauerstoffsättigung in Gewebe lassen, bei gleichbleibenden Hämoglobingehalt, auf eine hydrostatisch bedingte periphere Vasokompression schließen. Die damit bedingte thorakale Volumenverschiebung zeigten in den Messungen des Herzindex der Makrohämodynamik und der Messungen der Mikrohämodynamik keine signifikanten Beeinflussungen.

Literatur:

- 1) Ishihara H, Okawa H, Tanabe K, Tsubo T, Sugo Y, Akiyama T, Takeda S. A New Non-Invasive Continuous Cardiac Output Trend Solely Utilizing Routine Cardiovascular Monitors. *J Clin Monit Comput* 2004; 18: 313–320.
- 2) Yamada T, Tsutsui M, Sugo Y, Sato T, Akazawa T, Sato N, Yamashita K, Ishihara H, Takeda J. Multicenter Study Verifying a Method of Noninvasive Continuous Cardiac Output Measurement Using Pulse Wave Transit Time: A Comparison with Intermittent Bolus Thermodilution Cardiac Output. *Anesth Analg*. 2012 Mar 30
- 3) Wakeling HG et al. Intraoperative oesophageal Doppler guided fluid management shortens postoperative hospital stay after major bowel surgery. *Br J Anaesth* 2005; 95 : 634-42
- 4) Mayer J et al. Goal-directed intraoperative therapy based on autocalibrated arterial pressure waveform analysis reduces hospital stay in high-risk surgical patients: a randomized, controlled trial. *Crit Care* 2010; 14: R18.