

# Intervall-Hypoxie-Hyperoxie-Training (IHHT): Eine Sammlung von Studien über die Wirkungsweise bei verschiedenen Krankheitsbildern

IHHT ist eine innovative Trainingsmethode, die sich in zahlreichen Studien als äußerst wirkungsvoll erwiesen hat. Sie bietet Hoffnung für Menschen, die unter anderen an folgenden Krankheitsbildern leiden:

## **COPD (Chronisch Obstruktive Lungenerkrankung)**

Bei Patienten mit leichter Chronisch Obstruktiver Lungenerkrankung konnte die Atemnot verringert, die Lungenfunktion verbessert und die Lebensqualität signifikant gesteigert werden. Intervall-Hypoxie-Training verbessert die autonome kardiovaskuläre und respiratorische Kontrolle bei Patienten mit leichter chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung

## **Long-COVID**

Das Charité Berlin hat IHHT zur Behandlung von Long-COVID-Syndrom mit erfolgreichem Ergebnis eingesetzt. Es hat sich als vielversprechende Option erwiesen, um die anhaltenden Symptome zu lindern: IHHT kann die Erschöpfung reduzieren, die Lungenfunktion verbessern und die Lebensqualität der Betroffenen steigern.

## **Depression, Alzheimer sowie andere neuronale Erkrankungen**

Untersuchungen legen nahe, dass IHHT positive Auswirkungen auf die geistige Gesundheit haben kann. Es wurde beobachtet, dass die kognitiven Funktionen verbessert und depressive Symptome reduziert werden konnten, was Hoffnung für die Behandlung von Alzheimer und einer Reihe anderer neuronalen Erkrankungen weckt.

## **Metabolisches Syndrom**

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass IHHT eine vielversprechende ergänzende Behandlungsoption für Patienten mit metabolischem Syndrom sein könnte, um Übergewicht, Blutzucker und Blutfettwerte, zu verbessern. IHHT kann dazu beitragen, den Stoffwechsel zu regulieren und das Risiko von Folgeerkrankungen zu reduzieren.

## **Schlafapnoe**

Bei der Behandlung von Schlafapnoe kann leichte intermittierende Hypoxie die Schleifenverstärkung und die Weckschwelle bei Teilnehmern mit obstruktiver Schlafapnoe erhöhen. Die tägliche Anwendung von leichter intermittierender Hypoxie führte auch zu einer stärkeren Atmungsreaktion auf Erregung.

## **Ischämische Herzkrankheit:**

IHHT hat sich als vielversprechend erwiesen, um die Symptome der ischämischen Herzkrankheit zu lindern. Die Belastungstoleranz stieg nach der IHHT-Behandlung signifikant an und blieb auch im folgenden Monat signifikant erhöht. Eine deutliche Verbesserung wurde auch bei der subjektiven Wahrnehmung der Lebensqualität der Patienten beobachtet.

## Inhalt

Long-COVID-Syndrom .....	4
Charité Berlin hat IHHT zur Behandlung von Long-COVID-Syndrom mit erfolgreichem Ergebnis eingesetzt .....	4
Studie: Hyperbare Sauerstofftherapie zur Behandlung von Long-COVID-Syndrom: frühe Bewertung einer vielversprechenden Maßnahme .....	4
Praxis für gesundheitliche Medizin: .....	4
Depression .....	5
Antidepressiv-ähnliche Effekte einer leichten Hypoxie-Präkonditionierung im Modell der erlernten Hilflosigkeit bei Ratten.....	5
Der mögliche Einsatz von hypoxischer Präkonditionierung zur Prophylaxe von depressiven Episoden nach Stress.....	5
Alzheimer und andere neuronale Erkrankungen (z.B. Alkohol); COPD .....	5
Intermittierendes hypoxisch-hyperoxisches Training zur Verbesserung der kognitiven Leistung bei geriatrischen Patienten .....	5
Intermittierendes Hypoxie-Training: Wirksamer, nicht-invasiver Schutz des Gehirns vor Exzitotoxizität durch Ethanolentzug .....	6
Intermittierendes Hypoxietraining schützt die zerebrovaskuläre Funktion bei der Alzheimer-Krankheit .....	6
In dieser Übersichtsarbeit enthaltene, aussagkräftige Studien: .....	6
Intermittierende Hypoxie-Konditionierung schützt die mitochondriale Cytochrom-c-Oxidase im Kleinhirn von Ratten vor Ethanol-Entzugsstress.....	7
Intermittierende Hypoxie erhöht die Belastungstoleranz bei Patienten mit einem Risiko für oder mit leichter chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD): eine randomisierte, doppelblinde Studie.....	7
siehe Excel: Herzfrequenz- und Blutdruckreaktionen während der Hypoxiezyklen eines 3-wöchigen intermittierenden Hypoxie-Atmungsprogramms bei Patienten mit einem Risiko für oder mit leichter COPD.....	7
Die Anpassung an intermittierende Hypoxie schränkt die Überproduktion von Stickstoffmonoxid ein und verhindert die Beta-Amyloid-Toxizität im Rattenhirn .....	7
Intermittierende Hypoxie bei der Behandlung der dyszirkulatorischen Enzephalopathie.....	7
Die Anpassung an intermittierende Hypoxie-Hyperoxie verbessert die kognitive Leistung und die Belastungstoleranz bei älteren Menschen .....	8
Herzkrankheiten .....	8
Intervall-Hypoxietraining verbessert die autonome kardiovaskuläre und respiratorische Kontrolle bei Patienten mit leichter chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung.....	4
Anpassung an intermittierende Hypoxie-Hyperoxie in der Rehabilitation von Patienten mit ischämischer Herzkrankheit: Belastungstoleranz und Lebensqualität .....	9
Intermittierende Hypoxie-Hyperoxie-Expositionen verbessern das kardiometabolische Profil, die Belastungstoleranz und die Lebensqualität: Eine vorläufige Studie bei Herzpatienten.....	10

Intermittierende Hypoxie-Hyperoxie-Konditionierung verbessert die kardiorespiratorische Fitness bei älteren, komorbiden, ambulanten Herzpatienten ohne hämatologische Veränderungen: Eine randomisierte, kontrollierte Studie .....	10
Anpassungen nach einem intermittierenden Hypoxie-Hyperoxie-Training bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit: eine kontrollierte Studie .....	11
Intermittierendes systemisches hypoxisch-hyperoxisches Training zum Schutz des Herzmuskels bei Patienten, die sich einer koronaren Bypass-Operation unterziehen.....	11
Metabolisches Syndrom .....	8
Auswirkungen intermittierender hypoxisch-hyperoxischer Expositionen bei Patienten mit Metabolischem Syndrom: Korrektur des kardiovaskulären und metabolischen Profils .....	8
Körperliche Leistung .....	11
Die Anpassung an intermittierende Hypoxie-Hyperoxie verbessert die kognitive Leistung und die Belastungstoleranz bei älteren Menschen: eine doppelblinde, randomisierte und kontrollierte Studie.....	11
Spaß und affektive Reaktionen auf hochintensives Intervalltraining bei übergewichtigen Erwachsenen .....	12
Die Auswirkungen eines Sprint-Intervalltrainings bei akuter schwerer Hypoxie auf die Exekutivfunktion.....	13
Hochintensives Intervalltraining (HIIT) bei Hypoxie verbessert die maximale aerobe Kapazität stärker als HIT bei Normoxie: eine systematische Überprüfung, Meta-Analyse und Meta-Regression. ....	13
Aerobes Dauer- und Intervalltraining unter Hypoxie verbessert die Ausdauerübungsleistung mit hämodynamischer und autonomer Nervensystemfunktion bei männlichen Amateurschwimmern. ....	13
Auswirkungen der Hypoxie-Hyperoxie-Vorkonditionierung auf Indikatoren der Muskelschädigung nach akutem Widerstandstraining bei männlichen Sportlern.....	14
Zwölf Wochen Training unter Hypoxie verbessern die gesundheitsbezogenen Funktionen bei fettleibigen älteren koreanischen Männern: Eine randomisierte kontrollierte Studie .....	14
Mäßige intermittierende Hypoxie/Hyperoxie: Auswirkungen auf die Korrektur von mitochondrialer Dysfunktion.....	14
Schlafapnoe .....	9
Leichte intermittierende Hypoxie erhöht die Schleifenverstärkung und die Weckschwelle bei Teilnehmern mit obstruktiver Schlafapnoe .....	9
myeloische Leukämie .....	15
Induktion von Tumorstillstand und -differenzierung mit verlängerter Überlebenszeit durch intermittierende Hypoxie in einem Mausmodell für akute myeloische Leukämie .....	15
Auswirkungen einer einmaligen Intervallhypoxie auf die kardiorespiratorische Kontrolle und den Blutzuckerspiegel bei Patienten mit Typ-2-Diabetes .....	15
Interessante Übersichtsarbeit .....	15
Therapeutisches Potenzial der intermittierenden Hypoxie: eine Frage der Dosis .....	15

## **COPD**

### **Intervall-Hypoxietraining verbessert die autonome kardiovaskuläre und respiratorische Kontrolle bei Patienten mit leichter chronisch-obstruktiver Lungenerkrankung**

Patienten mit leichter COPD und normalem Kohlendioxidgehalt im Blut zeigten bereits zu Beginn Anzeichen einer kardiovaskulären autonomen Dysfunktion, die sich durch das Training normalisierte. Falls dies bei schwereren COPD-Patienten bestätigt wird, könnte das Intervallhypoxietraining eine therapeutische Strategie sein, um eine frühzeitige autonome Dysfunktion bei COPD-Patienten auszugleichen.

Quelle: Interval hypoxic training improves autonomic cardiovascular and respiratory control in patients with mild chronic obstructive pulmonary disease. J Hypertens 27: 1648–1654, 2009.

Autoren: Haider T, Casucci G, Linser T, Faulhaber M, Gatterer H, Ott G, Linser A, Ehrenbourg I, Tkatchouk E, Burtscher M, Bernardi L.

Weblink:

[https://journals.lww.com/jhypertension/Abstract/2009/08000/Interval\\_hypoxic\\_training\\_improves\\_a\\_utomonic.21.aspx](https://journals.lww.com/jhypertension/Abstract/2009/08000/Interval_hypoxic_training_improves_a_utomonic.21.aspx)

## **Long-COVID-Syndrom**

### **Charité Berlin hat IHHT zur Behandlung von Long-COVID-Syndrom mit erfolgreichem Ergebnis eingesetzt**

„Die intermittierende Hypoxie-Hyperoxie-Therapie IHHT wird im Rahmen einer Studie mit der Charité Berlin auch in unserer Einrichtung erfolgreich bei Long-COVID-Betroffenen eingesetzt(...)“Christoph

Altmann, 09.12.2022 in doctors today (<https://www.doctors.today/infektionen-und-impfen/a/long-covid-syndrom-neue-ansaetze-in-therapie-und-reha-2457421>)

### **Studie: Hyperbare Sauerstofftherapie zur Behandlung von Long-COVID-Syndrom: frühe Bewertung einer vielversprechenden Maßnahme**

Lange COVID-bedingte Müdigkeit kann schwächend sein und junge Menschen betreffen, die zuvor einer Erwerbstätigkeit nachgegangen sind. Die hier vorgestellten Ergebnisse deuten auf einen potenziellen Nutzen der HBOT hin, mit statistisch signifikanten Ergebnissen nach 10 Sitzungen.

Quelle: Robbins T et al (2021) Hyperbaric oxygen therapy for the treatment of long COVID: early evaluation of a highly promising intervention Clin Med (Lond) 2021 Nov;21(6):e629-e632.

URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34862223/>

Behandlung in den Mediankliniken: <https://www.median-kliniken.de/long-covid/de/fuer-fachpublikum/long-covid-behandlung/innovative-behandlungsansaetze/>

„Unsere Therapien sind geprägt von den Konzepten des Fatigue Centrums an der Charité Universitätsmedizin Berlin(...) Im Rahmen eines Zelltraining mit Intervall-Hypoxie-Hyperoxie-Therapie (IHHT) kann die Energieproduktion in den Körperzellen optimiert werden.“

<https://praganzmed.de/therapie/chronic-fatigue-syndrome.html>

## **Depression**

### **Antidepressiv-ähnliche Effekte einer leichten Hypoxie-Präkonditionierung im Modell der erlernten Hilflosigkeit bei Ratten**

Die hypoxische Vorbehandlung hatte eine deutlich antidepressive Wirkung und brachte die Verhaltens- und Hormonparameter wieder auf normale Werte, und war in Bezug auf unsere Studie genauso wirksam wie das Antidepressivum. Die Ergebnisse legen nahe, dass die hypoxische Vorbehandlung ein wirksames Mittel zur Prophylaxe von affektiven Störungen nach Stress bei Menschen sein könnte.

Quelle: Antidepressant-like effects of mild hypoxia preconditioning in the learned helplessness model in rats. *Neurosci Lett* 417: 234–239, 2007.

Autoren: Rybnikova E, Mironova V, Pivina S, Tulkova E, Ordyan N, Vataeva L, Vershinina E, Abritalin E, Kolchev A, Nalivaeva N, Turner AJ, Samoilov M.

Weblink: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304394007002200>

### **Der mögliche Einsatz von hypoxischer Präkonditionierung zur Prophylaxe von depressiven Episoden nach Stress**

Die angstlösenden und antidepressiven Wirkungen der hypoxischen Vorbehandlung waren in Experimenten an Ratten nicht weniger ausgeprägt als die des tetracyclischen Antidepressivums Ludiomil. Die hier gewonnenen Ergebnisse liefern Hinweise darauf, dass die Vorbehandlung mit intermittierender hypobarischer Hypoxie die Widerstandsfähigkeit gegen psychoemotionale Belastungen erhöht, deutliche angstlösende und antidepressive Effekte hat und zur Prophylaxe von depressiven Episoden eingesetzt werden kann.

Quelle: Antidepressant-like effects of mild hypoxia preconditioning in the learned helplessness model in rats. *Neurosci Lett* 417: 234–239, 2007.

Autoren: Rybnikova E, Mironova V, Pivina S, Tulkova E, Ordyan N, Vataeva L, Vershinina E, Abritalin E, Kolchev A, Nalivaeva N, Turner AJ, Samoilov M.

Weblink: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304394007002200>

## **Alzheimer und andere neuronale Erkrankungen (z.B. Alkohol); COPD**

### **Intermittierendes hypoxisch-hyperoxisches Training zur Verbesserung der kognitiven Leistung bei geriatrischen Patienten**

Das Training erwies sich als leicht anwendbar und wurde von geriatrischen Patienten bis zu 92 Jahren in dieser randomisiert kontrollierten Studie gut vertragen. IHHT trug signifikant zur Verbesserung der kognitiven Funktion und der funktionellen Belastbarkeit bei geriatrischen Patienten bei, die MTI durchführen.

Forschung zur Wirkungsweise von IHHT

Quelle: Intermittent hypoxic-hyperoxic training on cognitive performance in geriatric patients. Alzheimer's & Dementia, Bayer, U Translational Research & Clinical Interventions 2017; 3: 114-122

Weblink: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5651371/>

Autoren: Bayer U, Likar R, Pinter G, Stettner H, Demschar S, Trummer B, Neuwersch S, Glazachev O, Burtscher M.

### **Intermittierendes Hypoxie-Training: Wirksamer, nicht-invasiver Schutz des Gehirns vor Exzitotoxizität durch Ethanolentzug**

Alkoholvergiftung und -entzug haben schädliche Auswirkungen auf das Gehirn. Beim plötzlichen Entzug von Alkohol werden große Mengen des erregenden Botenstoffs Glutamat freigesetzt, der die Gehirnzellen überstimuliert und zu Schäden führt. Diese Übersichtsarbeit fasst Evidenz aus laufender präklinischer Forschung zusammen, die zeigt, dass diese Methode möglicherweise eine effektive und nicht-invasive Möglichkeit bietet, das Gehirn während des Alkoholentzugs zu schützen und neurologische Schäden zu reduzieren.

Quelle: Intermittent hypoxia training: Powerful, non-invasive cerebroprotection against ethanol withdrawal excitotoxicity. Respir Physiol Neurobiol. 2018 Oct;256:67-78. doi: 10.1016/j.resp.2017.08.007. Epub 2017 Aug 12. PMID: 28811138; PMCID: PMC5825251.

Autoren: Jung ME, Mallet RT.

Weblink: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1569904817301817?via%3Dihub>

### **Intermittierendes Hypoxietraining schützt die zerebrovaskuläre Funktion bei der Alzheimer-Krankheit**

In dieser Übersichtsarbeit werden die Wechselwirkungen zwischen der Gehirnblutversorgung und der Entwicklung von Alzheimer sowie Interventionen zur Verbesserung der Durchblutung und Reduzierung der Risikofaktoren untersucht. Es gibt zunehmende Hinweise darauf, dass IHHT die Durchblutung des Gehirns verbessern und Risikofaktoren wie Bluthochdruck, Herzrhythmusstörungen und mentalen Stress reduzieren können. In experimentellen Studien zeigte das IHT eine Schutzwirkung auf die Blutgefäße im Gehirn und verminderte neuronale Schäden, was sich positiv auf das Gedächtnis und die Alzheimer-Pathologie auswirkte. Das IHT fördert die Produktion von Stickstoffmonoxid (NO) in den Blutgefäßen und verbessert dadurch die Durchblutung des Gehirns. Gleichzeitig hilft das IHT, den Überschuss an NO im Gehirn zu speichern und oxidativen Stress zu reduzieren. Positive Effekte des IHT wurden auch bei anderen Hirnerkrankungen wie Durchblutungsstörungen, Schlaganfall, Epilepsie, Rückenmarksverletzungen und Alkoholentzug beobachtet.

Quelle: Intermittent hypoxia training protects cerebrovascular function in Alzheimer's disease, Manukina E.B., Experimental Biology and Medicine 2016; 241: 1351–1363

Weblink: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4950272/>

Autoren: Manukhina EB, Downey HF, Shi X, Mallet RT.

*In dieser Übersichtsarbeit enthaltene, aussagkräftige Studien:*

*Intermittierende Hypoxie-Konditionierung schützt die mitochondriale Cytochrom-c-Oxidase im Kleinhirn von Ratten vor Ethanol-Entzugsstress*

In dieser Studie wurde untersucht, ob IHHT das mitochondriale Enzym Cytochrom c Oxidase (COX) schützt und die Gehirnfunktion während des Entzugs von Alkohol verbessert. Es wurde festgestellt, dass IHHT die COX-Aktivität aufrechterhält und oxidativen Stress reduziert, der während des Entzugs auftritt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass IHHT die mitochondriale Funktion schützt und die Gehirnfunktion während des Alkoholentzugs verbessern kann.

Quelle: Ju X, Mallet RT, Downey HF, Metzger DB, Jung ME. Intermittent hypoxia conditioning protects mitochondrial cytochrome c oxidase of rat cerebellum from ethanol withdrawal stress. *J Appl Physiol* 2012; 112: 1706–14.

Weblink: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.01428.2011>

*Intermittierende Hypoxie erhöht die Belastungstoleranz bei Patienten mit einem Risiko für oder mit leichter chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD): eine randomisierte, doppelblinde Studie*

Die Ergebnisse zeigten, dass die Gruppe, die intermittierenden Sauerstoffmangel erlebte, signifikante Verbesserungen in mehreren Bereichen der körperlichen Belastbarkeit aufwies. Dazu gehörten eine Zunahme des Gesamthämoglobinspiegels im Blut, eine längere Gesamtbelastungszeit bei körperlicher Aktivität und eine längere Belastungszeit bis zur anaeroben Schwelle (der Punkt, an dem der Körper beginnt, anaerob zu arbeiten). Diese Verbesserungen waren in der Kontrollgruppe, die normale Sauerstoffbedingungen hatte, nicht zu beobachten. Die Veränderungen in der körperlichen Belastbarkeit waren positiv mit Veränderungen im Hämoglobinspiegel im Blut und mit Veränderungen in der Lungenkapazität zur Aufnahme von Kohlenmonoxid verbunden.

Quelle: Burtscher M, Haider T, Domej W, Linser T, Gatterer H, Faulhaber M, Pocecco E, Ehrenburg I, Tkatchuk E, Koch R, Bernardi L. Intermittent hypoxia increases exercise tolerance in patients at risk for or with mild COPD. *Respir Physiol Neurobiol* 2009; 165: 97–103.

Weblink: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1569904808002930>

*siehe Excel: Herzfrequenz- und Blutdruckreaktionen während der Hypoxiezyklen eines 3-wöchigen intermittierenden Hypoxie-Atmungsprogramms bei Patienten mit einem Risiko für oder mit leichter COPD*

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4334311/>

*Die Anpassung an intermittierende Hypoxie schränkt die Überproduktion von Stickstoffmonoxid ein und verhindert die Beta-Amyloid-Toxizität im Rattenhirn*

Zusammenfassend deutet die Studie darauf hin, dass IHHT helfen kann, Gedächtnisprobleme, die durch bestimmte Proteine im Gehirn verursacht werden, zu reduzieren. Es hat gezeigt, dass das Training die Gehirnzellen schützen kann und die übermäßige Produktion von Stickstoffmonoxid vermindert.

Quelle: Goryacheva AV, Kruglov SV, Pshennikova MG, Smirin BV, Malyshev IV, Barskov IV, Viktorov IV, Downey HF, Manukhina EB. Adaptation to intermittent hypoxia restricts nitric oxide overproduction and prevents beta-amyloid toxicity in rat brain. *Nitric Oxide* 2010; 23: 289–99.

Weblink: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1089860310004143>

*Intermittierende Hypoxie bei der Behandlung der dyszirkulatorischen Enzephalopathie*

In dieser Studie wurde der Einfluss von wiederholter Sauerstoffunterversorgung auf antioxidative Enzyme bei Patienten mit Durchblutungsstörungen im Gehirn und Bluthochdruck untersucht. Vor der Behandlung zeigten die Patienten erhöhte oxidative Aktivität im Blut und reduzierte Aktivität von antioxidativen Enzymen im Vergleich zur Kontrollgruppe gesunder Personen. Nach einer zehntägigen Behandlung mit wiederholter Sauerstoffunterversorgung verbesserten sich die oxidativen Werte und die Enzymaktivität normalisierte sich. Gleichzeitig wurde eine Verbesserung des Blutflusses im Gehirn, eine Verringerung von Kopfschmerzen und eine Verbesserung des Schlafs und des Kurzzeitgedächtnisses festgestellt. Diese Ergebnisse legen nahe, dass die Behandlung mit wiederholter Sauerstoffunterversorgung dazu beitragen kann, oxidative Störungen im Gehirn zu korrigieren und somit bei der Vorbeugung und Behandlung von Durchblutungsstörungen im Gehirn von Patienten mit Bluthochdruck nützlich sein kann.

Quelle: El'chaninova SA, Koreniak NA, Smagina IV, Pinegin LE, Varshavski Bia. Intermittent hypoxia in the treatment of dyscirculatory encephalopathy. Zh Nevrol Psikhiatr Im S S Korsakova 2002; 102: 29–32. [Russian]

Weblink: <https://europepmc.org/article/med/12497993>

### **Die Anpassung an intermittierende Hypoxie-Hyperoxie verbessert die kognitive Leistung und die Belastungstoleranz bei älteren Menschen**

IHHT trug signifikant zur Verbesserung der kognitiven Leistung und der körperlichen Leistungsfähigkeit bei älteren Menschen mit MTP bei. IHHT-Sitzungen gelten als leicht anwendbar und werden von geriatrischen Patienten bis zu 92 Jahren gut vertragen.

Quelle: Adaptation to intermittent hypoxia-hyperoxia improves cognitive performance and exercise tolerance in elderly, Bayer U. Adv Gerontol. 2017; 30(2): 255–261

Weblink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28575566/>

Autoren: Bayer U, Glazachev OS, Likar R, Burtscher M, Kofler W, Pinter G, Stettner H, Demschar S, Trummer B, Neuwersch S.

### **Metabolisches Syndrom**

#### **Auswirkungen intermittierender hypoxisch-hyperoxischer Expositionen bei Patienten mit Metabolischem Syndrom: Korrektur des kardiovaskulären und metabolischen Profils**

Die beiden Gruppen zeigten keine signifikanten Unterschiede, jedoch haben die unterschiedlichen Ausgangswerte diese Ergebnisse beeinflusst. Nach der Behandlung zeigte die IHHT-Gruppe eine Verbesserung ihres Lipidprofils sowie eine Verringerung von Entzündungswerten im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Therapie wurde gut vertragen und es traten keine schwerwiegenden Komplikationen auf. Die Ergebnisse zeigen, dass IHHT eine vielversprechende ergänzende Behandlungsoption für Patienten mit metabolischem Syndrom sein könnte.

Quelle: Intermittent Hypoxic-Hyperoxic Exposures Effects in Patients with Metabolic Syndrome: Correction of Cardiovascular and Metabolic Profile. Biomedicines. 2022 Feb 28;10(3):566. doi: 10.3390/biomedicines10030566. PMID: 35327372; PMCID: PMC8945352.

Autoren: Bestavashvili A, Glazachev O, Bestavashvili A, Suvorov A, Zhang Y, Zhang X, Rozhkov A, Kuznetsova N, Pavlov C, Glushenkov D, Kopylov P.

Weblink: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8945352/>

## Schlafapnoe

### Das therapeutische Potenzial von IH zur Behandlung von Schlafapnoe

Das therapeutische Potenzial von IH zur Behandlung von Schlafapnoe ist **ungewiss**, da es sowohl stabilisierende als auch destabilisierende Einflüsse auf die Atmung bei anästhesierten Ratten und Menschen haben kann. (Navarrete-Opazo A, Mitchell GS, 2014) Die Ergebnisse einer Studie am Menschen zeigen, dass die hypoxische Atemantwort am Morgen erhöht ist, während die ventilatorische Facilitation im Vergleich zum Abend verringert ist, und dass diese Phänomene nach täglicher Exposition gegenüber intermittierender Hypoxie verstärkt werden. (Gerst et. al, 2010)

Quellen:

Navarrete-Opazo A, Mitchell GS. Therapeutic potential of intermittent hypoxia: a matter of dose. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2014 Nov 15;307(10):R1181-97. doi: 10.1152/ajpregu.00208.2014. Epub 2014 Sep 17. PMID: 25231353; PMCID: PMC4315448.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4315448/>

Gerst DG 3rd, Yokhana SS, Carney LM, Lee DS, Badr MS, Qureshi T, Anthonard MN, Mateika JH. The hypoxic ventilatory response and ventilatory long-term facilitation are altered by time of day and repeated daily exposure to intermittent hypoxia. *J Appl Physiol* (1985). 2011 Jan;110(1):15-28. doi: 10.1152/jappphysiol.00524.2010. Epub 2010 Aug 19. PMID: 20724571; PMCID: PMC3785116.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3785116/>

### Leichte intermittierende Hypoxie erhöht die Schleifenverstärkung und die Weckschwelle bei Teilnehmern mit obstruktiver Schlafapnoe

Die wiederholte tägliche Anwendung von leichter intermittierender Hypoxie wurde als Therapie zur Verbesserung motorischer Störungen der Atmung und der Gliedmaßen empfohlen. Allerdings kann diese Therapie bei Teilnehmern mit obstruktiver Schlafapnoe zu einer Zunahme von Apnoe-Ereignissen führen. In dieser Studie wurde festgestellt, dass diese Zunahme auf eine verstärkte Atemschleifenreaktion und eine niedrigere Erregungsschwelle zurückzuführen ist. Die tägliche Anwendung von leichter intermittierender Hypoxie führte auch zu einer stärkeren Atmungsreaktion auf Erregung. Daher sollten Personen mit motorischen Störungen, die diese Therapie erhalten, auf das Vorhandensein von Schlafapnoe untersucht werden. Wenn Schlafapnoe diagnostiziert wird, sollte die Anwendung von intermittierender Hypoxie während des Wachzustands mit einer kontinuierlichen positiven Atemwegsdruckbehandlung während des Schlafs kombiniert werden.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31026056/>

## Herzkrankheiten

### Anpassung an intermittierende Hypoxie-Hyperoxie in der Rehabilitation von Patienten mit ischämischer Herzkrankheit: Belastungstoleranz und Lebensqualität

Die Belastungstoleranz stieg nach der IHHT-Behandlung signifikant an und blieb auch im folgenden Monat signifikant erhöht. Eine deutliche Verbesserung wurde auch bei der subjektiven Wahrnehmung der Lebensqualität der Patienten beobachtet. Dies zeigte sich in der Dynamik der Merkmale der körperlichen Funktionsfähigkeit sowie des psychischen Zustands, einem signifikanten Anstieg der Werte auf allen Skalen des krankheitsspezifischen Fragebogens SAQ und einer Verringerung von Depressionen und Angstzuständen entsprechend der Dynamik der HADS-Scores.

Diese Effekte hielten auch noch 1 Monat nach der IHHT an. Die IHHT war sicher und wurde gut vertragen. Die Nebenwirkungen waren minimal (vorübergehender leichter Schwindel, Gefühl der Luftnot) und erforderten keinen Abbruch der IHHT. Die IHHT war mit einer signifikanten Verbesserung der Belastungstoleranz, der subjektiven Wahrnehmung der Lebensqualität und einer Verringerung der Anzahl der Angina-Pectoris-Anfälle verbunden. Somit hat die IHHT ein erhebliches Potenzial als Bestandteil der komplexen Behandlung und Rehabilitation von Patienten mit stabiler Angina pectoris.

Quelle: Adaptation to Intermittent Hypoxia-Hyperoxia in the Rehabilitation of Patients With Ischemic Heart Disease: Exercise Tolerance and Quality of Life In: Kardiologiia 57(5):10-16, May 2017

DOI: 10.18565/cardio.2017.5.10-16

Autoren: Glazachev, O, Kopylov P, Dudnik EN.

### **Intermittierende Hypoxie-Hyperoxie-Expositionen verbessern das kardiometabolische Profil, die Belastungstoleranz und die Lebensqualität: Eine vorläufige Studie bei Herzpatienten**

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass IHHT bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit zu positiven Veränderungen führt. Die IHHT-Gruppe zeigte eine verbesserte körperliche Leistungsfähigkeit, eine Reduktion des Blutdrucks in Ruhe und eine verbesserte linksventrikuläre Auswurfraction im Vergleich zur Kontrollgruppe. Darüber hinaus wurde bei der IHHT-Gruppe eine signifikante Reduktion der Blutzuckerspiegel festgestellt, jedoch erst bei der Nachuntersuchung nach einem Monat. Die Häufigkeit von Angina-Attacken während körperlicher Aktivitäten nahm nach der Behandlung und auch bei der Nachuntersuchung ab. Diese Ergebnisse legen nahe, dass ein IHHT-Programm bei KHK-Patienten mit einer verbesserten körperlichen Belastbarkeit, einer günstigeren Risikoprofil und einer gesteigerten Lebensqualität (gemessen mit SF-36 und SAQ) einhergeht. Die Autoren betonen, dass IHHT eine sichere und gut verträgliche Therapieoption für herzkranken Patienten ist. Sie betonen auch die einfache Anwendbarkeit dieser Methode.

Quelle: Indian Journal of Public Health Research and Development 9(1):208, January 2018

DOI: 10.5958/0976-5506.2018.00039.6

Autoren: Glazachev, O, Susta D, Dudnik EN, Zagaynaya E

Weblink: [https://www.researchgate.net/publication/322982684 Intermitent Hypoxia-Hyperoxia exposures Improve Cardiometabolic Profile Exercise Tolerance and Quality of Life A Preliminary Study in Cardiac Patients](https://www.researchgate.net/publication/322982684_Intermittent_Hypoxia-Hyperoxia_exposures_Improve_Cardiometabolic_Profile_Exercise_Tolerance_and_Quality_of_Life_A_Preliminary_Study_in_Cardiac_Patients)

### **Intermittierende Hypoxie-Hyperoxie-Konditionierung verbessert die kardiorespiratorische Fitness bei älteren, komorbiden, ambulanten Herzpatienten ohne hämatologische Veränderungen: Eine randomisierte, kontrollierte Studie**

Die IHHT ist bei Patienten mit Herzerkrankungen und häufigen Begleiterkrankungen sicher und könnte eine geeignete Option für ältere Patienten sein, die nicht trainieren können. Ein 5-wöchiges IHHT ist bei der Verbesserung der CRF genauso wirksam wie ein 8-wöchiges Trainingsprogramm, ohne hämatologische Veränderungen. Weitere Studien sind erforderlich, um die nicht-hämatologischen Anpassungen an eine kurze, wiederholte Exposition gegenüber normobarer Hypoxie-Hyperoxie zu klären.

Forschung zur Wirkungsweise von IHHT

Quelle: Intermittent hypoxia-hyperoxia conditioning improves cardiorespiratory fitness in older comorbid cardiac outpatients without hematological changes: A randomized controlled trial. High Alt Med Biol. Dudnik, E. 2018, 19(4):339-343.

Weblink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30251879/>

Autoren: Dudnik E, Zagaynaya E, Glazachev OS, Susta D.

### **Anpassungen nach einem intermittierenden Hypoxie-Hyperoxie-Training bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit: eine kontrollierte Studie**

Bei CAD-Patienten wird ein IHHT-Programm mit einer verbesserten Bewegungstoleranz, einem gesünderen Risikofaktorenprofil und einer besseren Lebensqualität in Verbindung gebracht. Diese Studie deutet auch darauf hin, dass die IHHT genauso wirksam ist wie ein 8-wöchiges Standard-Rehabilitationsprogramm.

Quelle: Adaptations following an intermittent hypoxia-hyperoxia training in coronary artery disease patients: a controlled study. Glazachev, O., Clin Cardiol. 2017; 40(6): 370–376.

Weblink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28323322/>

Autoren: Glazachev O, Kopylov P, Susta D, Dudnik E, Zagaynaya E.

### **Intermittierendes systemisches hypoxisch-hyperoxisches Training zum Schutz des Herzmuskels bei Patienten, die sich einer koronaren Bypass-Operation unterziehen**

Patienten, die vor der Herz-OP IHHT erhielten, zeigten anschließend niedrigere Werte für den Herzmuskelmarker Troponin I und den Laktatspiegel im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Es traten keine schwerwiegenden Komplikationen oder Nebenwirkungen im Zusammenhang mit der IHHT auf. Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, dass die Verwendung von (IHHT) vor einer Herzoperation einen Schutz vor ischämischen Herzverletzungen bieten könnte.

Quelle: Intermittent systemic hypoxic-hyperoxic training for myocardial protection in patients undergoing coronary artery bypass surgery: first results from a single-centre, randomised controlled trial. Open Heart, Tuter, D.S. 2018; 5(2)

Weblink: <https://openheart.bmj.com/content/5/2/e000891>

Autoren: Tuter DS, Kopylov PY, Syrkin AL, Glazachev OS, Komarov RN, Katkov AI, Severova LP, Ivanova EV, Zhang Y, Saner H.

### **Anpassungen nach einem intermittierenden Hypoxie-Hyperoxie-Training bei Patienten mit koronarer Herzkrankheit: eine kontrollierte Studie**

#### **Körperliche Leistung**

#### **Die Anpassung an intermittierende Hypoxie-Hyperoxie verbessert die kognitive Leistung und die Belastungstoleranz bei älteren Menschen: eine doppelblinde, randomisierte und kontrollierte Studie**

In dieser Studie wurde untersucht, ob ein multimodales Training, das aus Physiotherapie, Ergotherapie und kardiovaskulärem Training besteht, in Kombination mit einer intermittierenden hypoxisch-hyperoxischen Therapie (IHHT) zu verbesserten Ergebnissen bei älteren Patienten führt.

Forschung zur Wirkungsweise von IHHT

Die Ergebnisse zeigten, dass die Gruppe, die IHHT in Kombination mit dem multimodalen Training erhielt, signifikante Verbesserungen in der kognitiven Leistungsfähigkeit und der funktionellen Trainingskapazität im Vergleich zur Kontrollgruppe aufwies.

Quelle: [Adaptation to intermittent hypoxia-hyperoxia improves cognitive performance and exercise tolerance in elderly]. Adv Gerontol. 2017;30(2):255-261. Russian. PMID: 28575566.

Autoren: Bayer U, Glazachev OS, Likar R, Burtscher M, Kofler W, Pinter G, Stettner H, Demschar S, Trummer B, Neuwersch S.

Weblink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28575566/>

### **Spaß und affektive Reaktionen auf hochintensives Intervalltraining bei übergewichtigen Erwachsenen**

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass HIIT-Versuche, die aus relativ kurzen Intervallsegmenten bestehen, einen positiveren Affekt und mehr Freude erzeugen als längere Intervallversuche und dass die Reaktionen eher denen ähneln, die bei längeren kontinuierlichen Versuchen mit niedriger bis mittlerer Intensität beobachtet werden. Diese Ergebnisse rechtfertigen den Einsatz kürzerer Intervalltrainings als relativ zeiteffiziente Alternative zu kontinuierlichem Training mit geringerer Intensität, wenn die Aufrechterhaltung positiver psychologischer Zustände ein gewünschtes Ergebnis ist.

Quelle: "The effects of intermittent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists." von Rodríguez et al. (2015)

Weblink: [https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2015/05001/The\\_Effects\\_of\\_Intermittent\\_Hypoxic\\_Training\\_on.1728.aspx](https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/2015/05001/The_Effects_of_Intermittent_Hypoxic_Training_on.1728.aspx)

Autoren: Kilpatrick, Marcus W. FACSM; Lane, Shelbey E.; Stankich, Jacob D.; Williams, Danielle K.; Szauer, Martin; Bledsoe, Clay; Freeman, John T.; Bayer, Lance; Franek, Madison; Little, Jonathan P.

### **Auswirkungen von intermittierendem hypoxischem Training auf die Radfahrleistung bei gut trainierten Sportlern**

In dieser Studie wurde festgestellt, dass es keinen signifikanten Unterschied in der maximalen Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>max) zwischen den beiden Trainingsgruppen vor oder nach dem Training gab. Wenn die Leistung in normoxischen Bedingungen gemessen wurde, erhöhte sich die maximale Leistung (PPO) signifikant um 7,2% bzw. 6,6% in der Gruppe, die normoxisches Training (NT) oder intermittierendes Training unter Hypoxie (IHT) absolvierte. Jedoch verbesserte sich nur in der IHT-Gruppe die maximale Leistung signifikant um 11,3%, wenn sie unter hypoxischen Bedingungen gemessen wurde. Die NT-Gruppe verbesserte die durchschnittliche Leistung (P(aver)) im Zeitfahren um 8,1%, während die IHT-Gruppe keinen signifikanten Unterschied zeigte. Das intermittierende Training unter Hypoxie war weniger effektiv für die Verbesserung der Ausdauerleistung auf Meereshöhe im Vergleich zu einem ähnlichen Training unter normoxischen Bedingungen. Allerdings hat das IHT das Potenzial, Sportlern bei der Vorbereitung auf Wettkämpfe in großer Höhe zu unterstützen.

Quelle: Effects of intermittent hypoxic training on cycling performance in well-trained athletes. Eur J Appl Physiol. 2007 Oct;101(3):359-68. doi: 10.1007/s00421-007-0506-8. Epub 2007 Jul 17. PMID: 17636319.

Forschung zur Wirkungsweise von IHHT

Weblink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17636319/>

Autoren: Roels B, Bentley DJ, Coste O, Mercier J, Millet GP.

### **Die Auswirkungen eines Sprint-Intervalltrainings bei akuter schwerer Hypoxie auf die Exekutivfunktion**

In der vorliegenden Studie wurden die kombinierten und unabhängigen Auswirkungen von Sprintintervalltraining und relativ schwerer Hypoxie (FIO<sub>2</sub> = 0,112) auf die exekutive Funktion untersucht. Eine kurzzeitige Hypoxie-Exposition (d.h. 60 Minuten), die einer Höhe von 5.000 m entspricht, hatte keine nachteiligen Auswirkungen auf die exekutive Funktion, und das Sprint-Intervall-Training verbesserte sogar die exekutive Leistung bei Normoxie und Hypoxie. Die durch das Sprint-Intervall-Training induzierten Vorteile für die Exekutive blieben bis zu 30 Minuten nach der Intervention erhalten. Diese Ergebnisse sind von praktischer und klinischer Bedeutung, da sie darauf hinweisen, dass selbst intensives Training bei relativ schwerer Hypoxie die kognitiven Fähigkeiten auf höherer Ebene nicht beeinträchtigt, sondern eher verbessert.

Quelle: "The Impact of Sprint Interval Exercise in Acute Severe Hypoxia on Executive Function"

Weblink: <https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/ham.2022.0004>

Autoren: Kong Z, Yu Q, Sun S, Lei OK, Tian Y, Shi Q, Nie J, Burtscher M

### **Hochintensives Intervalltraining (HIIT) bei Hypoxie verbessert die maximale aerobe Kapazität stärker als HIT bei Normoxie: eine systematische Überprüfung, Meta-Analyse und Meta-Regression.**

Die Ergebnisse der vorliegenden systematischen Übersichtsarbeit, der Meta-Analyse und der Meta-Regression legen nahe, dass die Teilnahme an HIIT unter Hypoxie die VO<sub>2</sub>max stärker verbessert als HIIT unter Normoxie. Obwohl es in den hypoxischen Gruppen keinen Zusammenhang zwischen dem effektiv genutzten FiO<sub>2</sub> und der Verbesserung der VO<sub>2</sub>max gibt, scheint dies auf den Grenzbereich des untersuchten FiO<sub>2</sub> zurückzuführen zu sein und stellt daher ein statistisches Artefakt dar. Daher halten wir es für wichtig, darauf hinzuweisen, dass die Ergebnisse aller Studien mit Ausnahme einer Studie eine positive SMD aufweisen (d. h. HIIT in Hypoxie gegenüber HIIT in Normoxie).

Quelle: High-Intensity Interval Training (HIIT) in Hypoxia Improves Maximal Aerobic Capacity More Than HIIT in Normoxia: A Systematic Review, Meta-Analysis, and Meta-Regression.

Weblink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36361141/>

Autoren: Westmacott A, Sanal-Hayes NEM, McLaughlin M, Mair JL, Hayes LD. Int J Environ Res Public Health. 2022 Nov 1;19(21):14261. doi: 10.3390/ijerph192114261.

### **Aerobes Dauer- und Intervalltraining unter Hypoxie verbessert die Ausdauerleistungsleistung mit hämodynamischer und autonomer Nervensystemfunktion bei männlichen Amateurschwimmern.**

Diese Studie hat gezeigt, dass ein sechswöchiges aerobes Dauer- und Intervalltraining unter Hypoxie die Ausdauerleistungsfähigkeit von männlichen Amateurschwimmern im Vergleich zu Normoxie verbessert. Darüber hinaus könnte die nach sechs Wochen hypoxischem Training beobachtete Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit (z. B. VO<sub>2</sub>max und 400-m-Zeitfahrrekord) auf den

Forschung zur Wirkungsweise von IHHT

Anstieg der hämodynamischen Funktion (z. B. HR, VO<sub>2</sub> und SVi) bei submaximaler Belastung und der durch die HRV bewerteten ANS-Funktion zurückzuführen sein.

Quelle: Aerobic Continuous and Interval Training under Hypoxia Enhances Endurance Exercise Performance with Hemodynamic and Autonomic Nervous System Function in Amateur Male Swimmers.

Weblink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33918616/>

Autoren: Kim SW, Jung WS, Kim JW, Nam SS, Park HY. Int J Environ Res Public Health. 2021 Apr 9;18(8):3944.

### **Auswirkungen der Hypoxie-Hyperoxie-Vorkonditionierung auf Indikatoren der Muskelschädigung nach akutem Widerstandstraining bei männlichen Sportlern**

Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen einer akuten, wiederholten Hypoxie-Hyperoxie-Präkonditionierung auf die durch Widerstandstraining induzierten Muskelschäden bei männlichen Sportlern zu untersuchen. Die Behandlung mit abwechselnder hypoxischer/hyperoxischer Luft vor dem Training kann Muskelkater und Muskelabbau nach intensivem Training verringern. Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass dies die Muskelkraft oder andere Faktoren der Erholung beeinflusst.

Quelle: Effects of Hypoxia-Hyperoxia Preconditioning on Indicators of Muscle Damage After Acute Resistance Exercise in Male Athletes. Front Physiol. 2022 Apr 19;13:824210. doi: 10.3389/fphys.2022.824210. PMID: 35514339; PMCID: PMC9062696.

Autoren: Chen PW, Hsu CC, Lai LF, Chi CP, Yu SH.

Weblink: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9062696/>

### **Zwölf Wochen Training unter Hypoxie verbessern die gesundheitsbezogenen Funktionen bei fettleibigen älteren koreanischen Männern: Eine randomisierte kontrollierte Studie**

In dieser Studie wurde festgestellt, dass das Training unter hypoxischen Bedingungen bessere Ergebnisse in Bezug auf Körperzusammensetzung (Gewichtsverlust, Reduktion des Körperfettanteils, Zunahme der fettfreien Masse), körperliche Fitness (Stuhl-Sitz-Stand-Test, Pegboard-Test, Tandem-Test, Einbeinstand), Lungenfunktion (Vitalkapazität, forciertes expiratorisches Volumen in 1 Sekunde, maximale freiwillige Ventilation) und Herzfrequenzvariabilität (hohe Frequenz, niedrige Frequenz, Cortisolspiegel im Speichel) zeigte im Vergleich zum Training unter normoxischen Bedingungen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Training unter hypoxischen Bedingungen eine neuartige und erfolgreiche Methode zur Förderung der Gesundheit bei älteren übergewichtigen Personen ist.

Quelle: Twelve weeks of exercise modality in hypoxia enhances health-related function in obese older Korean men: A randomized controlled trial. Geriatr. Gerontol. Int. 2019; 19: 311– 316. <https://doi.org/10.1111/ggi.13625>

Autoren: Park, H-Y, Jung, W-S, Kim, J, Lim, K.

Weblink: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ggi.13625>

### **Mäßige intermittierende Hypoxie/Hyperoxie: Auswirkungen auf die Korrektur von mitochondrialer Dysfunktion**

Es wurde gezeigt, dass langfristige Sitzungen von IHHT die Schäden an den Mitochondrien der Leber von Ratten reduzierten, die einer akuten Hypoxie ausgesetzt waren. Dabei wurden die

Lipidperoxidation, die Produktion von Carbonylproteinen und Wasserstoffperoxid verringert. Gleichzeitig wurde die Aktivität der Glutathionperoxidase erhöht und die Hyperaktivierung bestimmter Enzyme reduziert. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass IHHT eine schützende Wirkung auf die Mitochondrien hat und zur Korrektur von mitochondrialer Dysfunktion beitragen kann.

### **myeloische Leukämie**

#### **Induktion von Tumorstillstand und -differenzierung mit verlängerter Überlebenszeit durch intermittierende Hypoxie in einem Mausmodell für akute myeloische Leukämie**

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass intermittierende Hypoxie das Überleben von Mäusen mit Leukämie verlängern kann, obwohl sie die Krankheit nicht heilt. Die Hypoxie hemmt die Ausbreitung der leukämischen Zellen im Blut, Knochenmark, in der Milz und Leber, ohne dabei den programmierten Zelltod (Apoptose) auszulösen. Interessanterweise führt die Hypoxie auch zur Differenzierung der leukämischen Zellen, was durch morphologische Veränderungen und die erhöhte Expression bestimmter Proteine nachgewiesen wurde. Diese Studie liefert erste Erkenntnisse über die Auswirkungen von Hypoxie auf ein Mausmodell für akute myeloische Leukämie (AML). Weitere Untersuchungen könnten Ansätze entwickeln, um die differenzierenden Effekte der Hypoxie auf eine Weise zu nutzen, die auch menschlichen AML-Patienten zugutekommt.

Quelle: Induction of tumor arrest and differentiation with prolonged survival by intermittent hypoxia in a mouse model of acute myeloid leukemia. *Blood*. 2006 Jan 15;107(2):698-707. doi: 10.1182/blood-2005-03-1278. Epub 2005 Sep 15. PMID: 16166593.

Autoren: Liu W, Guo M, Xu YB, Li D, Zhou ZN, Wu YL, Chen Z, Kogan SC, Chen GQ.

Weblink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16166593/>

### **Diabetes**

#### **Auswirkungen einer einmaligen Intervallhypoxie auf die kardiorespiratorische Kontrolle und den Blutzuckerspiegel bei Patienten mit Typ-2-Diabetes**

IHHT führte zu einer signifikanten Steigerung der ventilatorischen Reaktion auf erhöhten Kohlendioxidgehalt im Blut und einer Verringerung der Schwelle für die ventilatorische Rekrutierung. Zudem stieg der Sauerstoffgehalt im Blut und der Blutdruck an, während die Herzfrequenzvariabilität und die Baroreflexempfindlichkeit nicht signifikant verändert waren. Der Blutzuckerspiegel nahm signifikant ab. Am Placebo-Tag wurden solche Veränderungen nicht beobachtet, außer einer Erhöhung des Sauerstoffgehalts im Blut. Bereits eine einzige Sitzung von IHHT führte zu einer anfänglichen Anpassung an die Hypoxie, mit einer Verbesserung der kardiorespiratorischen Reflexe und einer Verringerung des Blutzuckerspiegels. Patienten mit Typ-2-Diabetes könnten potenziell von einer vollständigen (>2 Wochen) IHHT profitieren.

Quelle: Effects of a single bout of interval hypoxia on cardiorespiratory control and blood glucose in patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care*. 2013 Aug;36(8):2183-9. doi: 10.2337/dc12-2113. Epub 2013 Mar 27. PMID: 23536585; PMCID: PMC3714488.

Autoren: Duennwald T, Gatterer H, Groop PH, Burtscher M, Bernardi L.

Weblink: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23536585/>

### **Ergänzend: eine Übersichtsarbeit zu IHHT**

#### **Therapeutisches Potenzial der intermittierenden Hypoxie: eine Frage der Dosis**

## Forschung zur Wirkungsweise von IHHT

In dieser Übersichtsarbeit werden umfangreiche Literaturstudien zu IH und ihren Auswirkungen auf das Atmungs-, Herz-Kreislauf-, Immun-, Stoffwechsel-, Knochen- und Nervensystem vorgestellt. Moderater Sauerstoffmangel (9-16% inspirierter Sauerstoff) und wenige Zyklen (3-15 Episoden pro Tag) führen in der Regel zu vorteilhaften Effekten ohne Pathologie, während schwerer Sauerstoffmangel (2-8% inspirierter Sauerstoff) und mehr Episoden pro Tag (48-2400 Episoden pro Tag) zunehmend zu einer größeren Pathologie führen. Es gibt immer mehr Hinweise darauf, dass "niedrig dosierte" IH (moderater Sauerstoffmangel, wenige Episoden) eine einfache, sichere und wirksame Behandlung mit erheblichem therapeutischem Potenzial für verschiedene klinische Erkrankungen sein kann.

Quelle: Therapeutic potential of intermittent hypoxia: a matter of dose. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2014 Nov 15;307(10):R1181-97. doi: 10.1152/ajpregu.00208.2014. Epub 2014 Sep 17. PMID: 25231353; PMCID: PMC4315448.

Autoren: Navarrete-Opazo A, Mitchell GS

Weblink: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4315448/>