

Diplomarbeit

Verschiebung der Nervenleitfähigkeit unter HBO

eingereicht von

Karin Wurzinger

Mat.Nr.: 0433243

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor(in) der gesamten Heilkunde

(Dr. med. univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

klinischen Abteilung für Thorax- und hyperbare Chirurgie

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Dr. Freyja-Maria Smolle-Jüttner

Graz, am 1.9.2010

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 1.9.2010

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mir beim Erstellen dieser Arbeit durch ihre Unterstützung zur Seite gestanden sind.

Allen voran meiner Betreuerin und Begutachterin dieser Arbeit, Frau Univ.-Prof. Dr. Freyja-Maria Smolle-Jüttner, Leiterin der klinischen Abteilung für Thorax- und Hyperbare Chirurgie der Universitätsklinik für Chirurgie Medizinische Universität Graz.

Der größte Dank gebührt meinem 2. Betreuer Mag. Dr. Alexej Pokorny, der mir vor allem durch sein großes Wissen im wissenschaftlichen und medizinischen Bereich sehr geholfen und Unterstützung geboten hat.

Ich möchte mich auch bei OA Dr. Josef Diez bedanken, der mir durch sein Fachwissen in der Neurologie, speziell im Bereich der Nervenleitfähigkeit, sehr zur Seite gestanden ist.

Weiters ist es mir ein Anliegen, mich an dieser Stelle auch bei allen Probanden zu bedanken, ohne die eine Untersuchung der Nervenleitfähigkeit unter HBO-Bedingungen nicht möglich gewesen wäre.

Ein ganz besonderer Dank gebührt meinen Eltern Roswitha und Gert, die mein Studium erst ermöglicht haben, mich während meines Studiums in allen Bereichen tatkräftig unterstützt haben und meinen Plänen und Wünschen gegenüber immer offen waren.

Zum Schluss möchte ich mich noch bei meinem Freund DI Michael Trieb bedanken, der nicht nur großes Verständnis für den Zeitbedarf zur Erstellung dieser Diplomarbeit aufbrachte, sondern mir auch in allen computertechnischen Belangen stets behilflich war.

Kurzfassung

In den vergangenen 20 Jahren gewann der Tauchsport stark an Popularität. Im Laufe der Zeit wurden neben der Entwicklung modernerer Tauchgeräte wie offener Atemregler, halbgeschlossener und geschlossener Atemkreislaufgeräte auch unterschiedliche Atemgase mit erhöhtem Sauerstoffgehalt im Sporttauchen erprobt. Mit der Einführung von Standard-Nitrox-Gemischen konnte die Dauer der Nullzeit verlängert und aufgrund des niedrigeren Stickstoffgehalts die Gefahr eines Tiefenrausches minimiert werden.

Die Hyperbare Sauerstofftherapie (HBO) ist in vielen Bereichen der Medizin eine etablierte, anerkannte Therapieform, im Zuge der Neurorehabilitation wird die HBO experimentell eingesetzt. Es mangelt jedoch an wissenschaftlich verwertbaren Berichten über die Auswirkung hyperbaren Sauerstoffes auf die Nervenleitfähigkeit. Die Auswirkungen erhöhter Sauerstoffpartialdrücke auf den menschlichen Organismus, wie sie unter Wasser oder bei HBO-Therapie auftreten, konnten bis zum heutigen Zeitpunkt nicht restlos geklärt werden.

In dieser Diplomarbeit werden Veränderungen definierter neurologischer Parameter unter Reinsauerstoff-Exposition bei hyperbaren Bedingungen im Vergleich zur hyperbaren Luftatmung erfasst und statistisch ausgewertet.

Die Untersuchungen erfolgten während Druckkammerfahrten an der Univ.-Klinik für Thorax- und Hyperbare Chirurgie am LKH Graz. Dabei wurden in 8 Tauchgängen zwei Gruppen von Probanden zuerst unter normobaren und anschließend unter hyperbaren Bedingungen, sowie nach Wiedererlangen der Oberfläche untersucht. Es wurden standardisierte Messungen der Nervenleitfähigkeit bei konstanter Hauttemperatur ($34 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) am N. medianus mittels Elektroneurographie durchgeführt und mittels spezieller Software gemessen und ausgewertet.

Es konnte in mehreren verschiedenen statistischen Tests eine signifikante Verkürzung der distalen motorischen Latenz unter Reinsauerstoffatmung festgestellt werden. Dies bedeutet eine steigende Übertragungsgeschwindigkeit an der motorischen Endplatte.

Für Muskelerkrankungen, welche durch Störungen der Nervenleitfähigkeit hervorgerufen werden, könnte dieser Effekt möglicherweise eine innovative und neue Therapieoption darstellen.

In diesem Zusammenhang ist anzustreben, dass die Einführung der Physiotherapie unter Überdruckbedingungen mit Reinsauerstoffatmung wissenschaftlich evaluiert und im Rahmen einer klinischen Studie wissenschaftlich überprüft wird, um Indikationen zur HBO-Therapie bei neuromuskulären Erkrankungen bzw. zur Rehabilitation stellen zu können.

Als Kontrollparameter konnte die F-Welle angesehen werden, da sich diese während des gesamten Versuchs nicht verändert hat.

Alle Parameter der Neurographie, ausgenommen die sensible distale Latenz in Position 1, welche jedoch mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 3,4 % behaftet ist, sind nach dem Tauchgang, unabhängig davon, ob Pressluft oder Reinsauerstoff geatmet wurde, wieder auf ihren Ausgangswert zurückgekehrt.

Somit konnte gezeigt werden, dass Sauerstoff die Nervenleitfähigkeit nur während der Überdruckbedingungen beeinflusst. Aus den gewonnen Erkenntnissen können daher auch für das Sporttauchen mit Stickstoff-Sauerstoffgemischen (Nitrox) keine über den Tauchgang hinausgehenden sauerstoffbedingten Wirkungen auf den menschlichen Organismus hinsichtlich der neurologischen Leitungsparameter postuliert werden.

Abstract

Diving has gained much popularity over the last 20 years. In the course of time different kinds of breathing gas with enriched oxygen concentration have been tested apart from the development of modern diving equipment like open regulator, semi- and circuit-closed rebreathers etc.

Due to the introduction of standard nitrox mixtures, bottom time duration could be extended and the risk of a rapture of the deep could be considerably reduced. In spite of that, skin divers in Austria meet with diving accidents every year. The hyperbaric oxygen therapy (HBOT) is a well-established and generally accepted form of therapy in many medical fields.

In the practice of neurorehabilitation, HBOT is applied experimentally. There is, however, a lack of scientifically-based and field-proved data concerning the effects of hyperbaric oxygen on neural conductivity.

The effects of increased oxygen partial pressure on the human organism, e.g. underwater or during a HBOT therapy could therefore not be clarified completely up to now.

In this thesis, alterations of pre-defined neurological parameters under pure oxygen gas exposition at hyperbaric conditions compared to hyperbaric breathing of ambient air are recorded and evaluated statistically.

The examinations were carried out during the dives in the hyperbaric chamber under artificially reproduced diving conditions at the Division of Thoracic and Hyperbaric Surgery at the Medical University Graz. Two groups of test persons were examined during eight dives under normobaric conditions, subsequently under hyperbaric conditions and finally after resurfacing. There was standardized measurement of the neural conductivity of the N. medianus at constant dermal temperature ($34 \pm 0,5$ °C) by electrical neurography which was accomplished and evaluated by special software.

A significant shortening of the distal motoric latitude under breathing of pure oxygen could be found in several statistical tests. This means an increasing transfer rate at the end organ.

For muscle diseases which have been caused by conductivity defects this could be an innovative kind of therapy.

In this context, the aim should be scientific evaluation of physical therapy under hyperbaric conditions with pure oxygen breathing and verification by scientific trial in order to indicate HBOT therapy for neuromuscular diseases and rehabilitation.

The F-wave can be seen as controlling parameter since it did not change over the whole trial.

All parameters of the neurography – apart from the sensible distal latency which showed, however, a probability of error of 3.4 % – regained their basic value after the dive, regardless of breathing compressed air or pure oxygen.

Thus it could be shown that oxygen influences neural conductivity only during hyperbaric conditions. On the basis of these findings, as far as sport diving with nitrogen-oxygen mixture is concerned, it can be stated that there is no evidence for oxygen-induced effects on the human organism concerning neural conductivity parameters which go beyond the dive itself.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	1
Danksagung	2
Kurzfassung.....	3
Abstract	5
Inhaltsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Physikalische Grundlagen	8
1.2 Physikalische Gesetze.....	9
1.3 Atmen unter Wasser	11
1.4 Druckgastauchgeräte.....	12
1.5 Atemgase.....	15
2 Hyperbare Sauerstofftherapie	21
2.1 Einführung	21
2.2 Historischer Hintergrund	21
2.3 Sauerstofftransport	22
2.4 Indikation zur Hyperbaren Oxygenierung (HBO)	23
2.5 Risiken und Komplikationen der „Tauchphasen“	24
2.6 Risikoreduktion	25
3 Elektroneurographie	26
3.1 Definition	26
3.2 Anatomisches Hintergrundwissen	26
3.3 Motorische Neurographie	26
3.4 Sensible Neurographie	29
3.5 Bestimmung der F-Welle	30
4 Material und Methoden.....	32
4.1 Experiment.....	32
4.2 Ziel des Experiments	32
4.3 Exklusionskriterien.....	32
4.4 Durchführung	33
4.5 Verwendete Software	33
4.6 Neurologische Parameter	33
4.7 Tauchprofile	35
5 Ergebnisse – Resultate	39
5.1 Biometrische Daten	40
5.2 Maß der zentralen Tendenz – deskriptive Statistik.....	40
5.3 Statistische Überprüfung auf Vorliegen einer Normalverteilung	55
5.4 Statistische Datenanalyse	69
6 Interpretation und Diskussion	94
6.1 Parameter der motorischen Nervenleitgeschwindigkeit.....	94
7 Schlussfolgerung	97
8 Literaturverzeichnis	99
9 Abkürzungsverzeichnis.....	101
10 Abbildungsverzeichnis	103
11 Tabellenverzeichnis	104
Lebenslauf.....	106

1 Einleitung

Das Sporttauchen hat in den letzten Jahren einen enormen Zuwachs an Beliebtheit und Popularität gewonnen. Dieses Phänomen ist auf den zunehmenden Wohlstand der Bevölkerung, die Möglichkeit, einfach und schnell exotische Reiseziele zu besuchen und auf die steigende Anzahl an Tauchsportanbietern zurückzuführen. [5] Oft spielen auch die zunehmende Risikobereitschaft und das Entdecken einer „neuen Welt“ eine große Rolle. Dieser Boom führte auch zur Entwicklung verschiedenster Atemgasgemische. Allen voran wurde Nitrox im Bereich des Sporttauchens immer verbreiteter und beliebter. Für längere Nullzeiten (d.h. längere Aufenthalte unter Wasser, ohne dass während der Auftauchphase Dekompressionsstopps anfallen) und eine geringere Belastung des Organismus mit Stickstoff wird ein erhöhter Sauerstoffpartialdruck in Kauf genommen. Jedoch sind die Auswirkungen des erhöhten Sauerstoffpartialdrucks unter Überdruckbedingungen auf den menschlichen Organismus noch größtenteils unbekannt.

In den folgenden Kapiteln werden die wichtigsten physikalischen Grundlagen und Gesetze näher erklärt, da diese die Basis für erwünschte und unerwünschte Wirkungen der Überdruckbeatmung darstellen.

1.1 Physikalische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Veränderungen der zwei wichtigsten physikalischen Größen unter steigendem Umgebungsdruck erläutert.

1.1.1 Druck

Eine Kraft (Newton N), welche auf eine Fläche (m^2) einwirkt, wird als Druck (Pascal Pa) angegeben.

$$1 \cdot PA = \frac{1 \cdot N}{1 \cdot m^2}$$

An der Meeresoberfläche herrscht ein Druck von 100.000 Pa (Pascal).

Heutzutage wird die Maßeinheit „bar“ für Drücke verwendet.

$$100.000 \text{ Pa} = 1\text{bar}$$

Mit Zunahme um jeweils 10 Meter Wassertiefe steigt der Druck um 1 bar. Somit herrscht auf 10 Metern Meerestiefe bereits ein Druck von 2 bar.

Im Gegensatz dazu nimmt der Druck pro 1.000 m Höhe nur um 0,1 bar ab. [4] [12]

1.1.2 Dichte

Die Dichte ist definiert als „Masse pro Volumen“ und wird in kg/m^3 angegeben.

Der große Unterschied zwischen Flüssigkeiten und Gasen besteht darin, dass Gase im Gegensatz zu Flüssigkeiten komprimierbar sind. Das bedeutet, dass gasförmige Elemente ihr Volumen mit zunehmendem Druck verändern. Bei steigendem Umgebungsdruck verringern Gase somit ihr Volumen. Da Flüssigkeiten nicht komprimierbar sind, verändern diese nicht ihr Volumen, stattdessen erhöht sich der Druck proportional mit der zunehmenden Wassertiefe. [4]

1.2 Physikalische Gesetze

Beim Tauchen begibt sich der Mensch in ein für ihn ungewohntes Medium. Dabei wirken viele fremde Einflüsse und Kräfte auf ihn ein. Die nachfolgenden Gesetze sollen zum besseren Verständnis physiologischer Veränderungen unter Überdruckbedingungen beitragen. [11]

1.2.1 Boyle-Mariotte'sches Gesetz

Es stellt eines der wichtigsten physikalischen Gesetze unter Überdruckbedingungen dar. Die Volumen- und Druckveränderung ist die Ursache für viele Unfälle beim Tauchen und Arbeiten unter Überdruckbedingungen. [11]

Das Gesetz besagt, dass sich das Volumen eines Gases bei steigendem Umgebungsdruck konstant verringert.

$$p \times V = \text{konstant}$$

In Abb. 1-1 und Abb. 1-2 wird gezeigt, wie das Volumen mit zunehmendem Druck abnimmt. Dieses Gesetz verdeutlicht, dass die größten Druckänderungen zwischen der Meeresoberfläche (1 bar) und 10 m Wassertiefe (2 bar) entstehen, da es hier zu einer Druckverdoppelung kommt. [20]

Basierend auf diesem Phänomen kommt es in diesem Druckbereich am häufigsten zu Barotraumata.

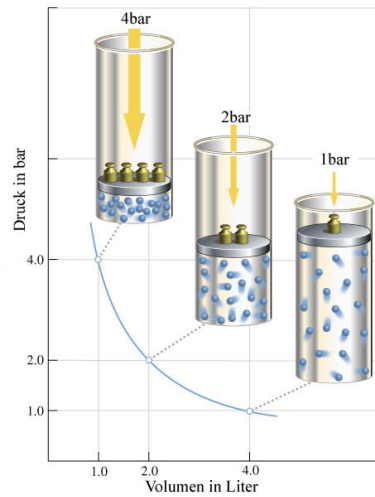


Abb. 1-1: Zusammenhang von Druck und Volumen [22]

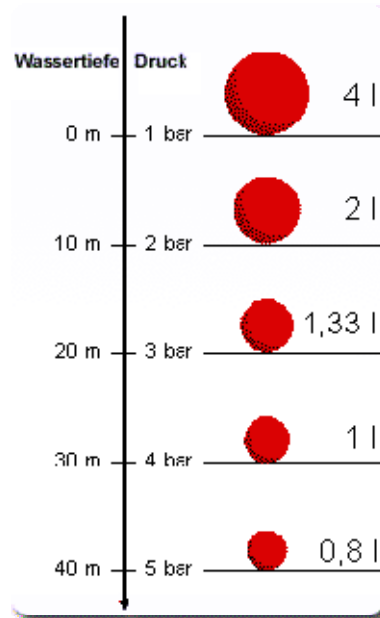


Abb. 1-2: Halbierung des Volumens in den ersten 10 m [6]

1.2.2 Henry'sches Gesetz

Dieses besagt, dass die gelöste Gasmenge in einer Flüssigkeit dem Druck direkt proportional ist, aber auch von der Temperatur bzw. dem Lösungskoeffizienten abhängt.

Außerdem stellt es die Grundlage des Zustandekommens der Dekompressionserkrankung dar. [11]

1.2.3 Dalton'sches Gesetz

Die Summe aller Einzeldrücke (p_{Gas}) ergibt den Gesamtdruck p_{ges} für ein Gasgemisch.

$$p_{\text{ges}} = p_1 + p_2 + \dots + p_n$$

Der prozentuelle Anteil eines Gases in einem Gasgemisch bleibt ständig gleich, nur der Partialdruck des Gases erhöht sich im gleichen Verhältnis mit zunehmendem Druck.

Beim Freizeittauchen wird am häufigsten Luft als Atemgas verwendet. Dieses Atemgas enthält einen Sauerstoffanteil von 21 %. Das bedeutet, dass der Sauerstoffpartialdruck p_{O_2} 0,21 (21/100) vom Gesamtpartialdruck p_{ges} ausmacht. Auf 10 m Wassertiefe hat sich der p_{O_2} bereits auf das Doppelte erhöht (p_{O_2} 0,42), der prozentuelle Anteil ist jedoch gleich geblieben.

Bestimmte Bestandteile der Luft, wie z. B. der Sauerstoff, entfalten bei steigendem Partialdruck toxische Wirkungen, die sich vor allem durch zentralnervöse Erscheinungen manifestieren. Das Risiko einer Sauerstoffvergiftung besteht bereits ab einem p_{O_2} Wert von 1,1 bar, es steigt jedoch beträchtlich ab einen p_{O_2} Wert von 1,4 bar (s.u.) [4] [11] [12]

1.2.4 Gesetz von Amonton und Gay-Lussac

Das Gesetz von Gay-Lussac beschreibt die Volumenänderung in einem geschlossenen System bei gleichzeitiger Temperaturänderung.

Das Gesetz von Amonton beschreibt parallel dazu die Druckänderung.

Als Ausgangswert verwenden beide 0 K (Kelvin), da hier keine Teilchenbewegung mehr stattfindet. [4] [11]

$$0 \text{ K} = - 273,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$0 \text{ } ^\circ\text{C} = + 273,15 \text{ K}$$

1.3 Atmen unter Wasser

Menschen sind nicht dazu in der Lage, den lebensnotwendigen Sauerstoff aus dem Wasser zu beziehen. Das Atmen von Luft unter Wasser über eine Schlauchverbindung zur Oberfläche ist einerseits infolge des Totraumphänomens und andererseits infolge der Kompression des luftgefüllten Thorax durch den hydrostatischen Druck auf ganz geringe Tiefen limitiert („Schnorcheln“). Effiziente Atmung unter Wasser erfordert daher den Einsatz von speziellen Tauchgeräten.

Da sich Gerätetauchen in den letzten Jahren zu einem sehr beliebten und vor allem populären Freizeitvergnügen entwickelt hat, sind die Angebote und der Umfang aller angebotenen Tauchapparate enorm gestiegen. Die immer strengeren technischen

Kontrollen und Sicherheitsüberprüfungen haben dazu beigetragen, aus diesen Tauchapparaten sehr sichere und zuverlässige Geräte zu entwickeln.

Das wichtigste „Instrument“ beim Tauchen stellt jedoch der menschliche Organismus dar. Gerade dieser ist ein enorm komplexes System, welches nicht nur dem laufenden Alterungsprozess, sondern auch starken biologischen und psychischen Einflüssen unterworfen ist.

Das Wasser ist für den Menschen ein fremdes Element. Auch wenn dieser zu den anpassungsfähigsten Individuen gehört, kann es rasch zu inadäquaten Reaktionen kommen. 80 % der Tauchunfälle entstehen aus Panikreaktionen oder aus Unvorsichtigkeit heraus. [4] [12]

1.4 Druckgastauchgeräte

Um die benötigte Luft unter Wasser mit sich zu führen, sind Druckgastauchgeräte notwendig. Diese beinhalten primär eine Druckgasflasche aus Stahl oder Aluminium, welche ein genormtes Volumen von 5 l, 7 l, 8 l, 10 l, 12 l, oder 15 l aufweist und für einen Nennfülldruck von meist 200 bar, selten auch 300 bar, zugelassen ist. [4] [21]

Damit der Druck des Atemgases an den jeweils entsprechend der Wassertiefe adäquaten Umgebungsdruck angepasst werden kann, ist ein so genannter Atemregler an die Druckluftflasche angeschlossen.

Der Atemregler besteht aus einem Druckminderer, auch „1. Stufe“ genannt, und einem Lungenautomaten, sog. „2. Stufe“. [20]

1.4.1 Offenes Tauchsystem

Im Druckminderer wird der in der Druckgasflasche herrschende Hochdruck zu einem Mitteldruck, welcher je nach Hersteller 5 – 15 bar über dem jeweiligen Umgebungsdruck liegt, vermindert. Bei einer Wassertiefe von 10 m (2 bar) wird ein Druck von etwa 12 bar abgegeben. Der Druckminderer ist über einen Mitteldruckschlauch mit dem Lungenautomaten des Tauchers verbunden.

Der Lungenautomat gibt bei jedem Atemzug des Tauchers („on demand“) Atemgas mit dem der jeweiligen Wassertiefe entsprechenden Umgebungsdruck ab. Die Ausatemluft wird über ein Ventil in das Wasser geleitet. Die dadurch entstehenden Blasen werden durch einen Blasenabweiser vom Gesicht des Tauchers ferngehalten.

Der Nachteil dieser Tauchgeräte besteht in einem hohen Gasverbrauch.

Schon an der Oberfläche werden nur 4 % der eingeatmeten Luft tatsächlich benötigt, das bedeutet, dass der Luftverbrauch rund 20-mal höher als der physiologische Bedarf ist. [4] [12]

1.4.2 Geschlossenes Kreislaufgerät – CCR Circuit-Closed-Rebreather

Bei diesen Geräten wird das Atemgas wie in einem Kreislaufsystem geführt, das in der Atemluft des Tauchers abgegebene CO_2 wird an einen Absorber gebunden. Im Regelfall kommt es nicht zum Austreten von Gasblasen in das Wasser. Dies ist vor allem im militärischen Bereich erwünscht, da es dadurch schwerer ist, Taucher an der Oberfläche zu lokalisieren.

Da diese Geräte fast ausschließlich mit reinem Sauerstoff verwendet werden, ergibt sich infolge der zentralnervösen Sauerstofftoxizitätsschwelle eine maximale Tauchtiefe von 6 – 8 m. Der enorm geringe Gasverbrauch und die komplexe Bauweise zeichnen diese Geräte aus. Bei Verwendung von Mischgasen (Nitrox, Trimix, Heliox) entstehen jedoch bei Kreislaufgeräten durch zusätzlich erforderliche technische Veränderungen sehr hohe Kosten. [12] [14] [20]

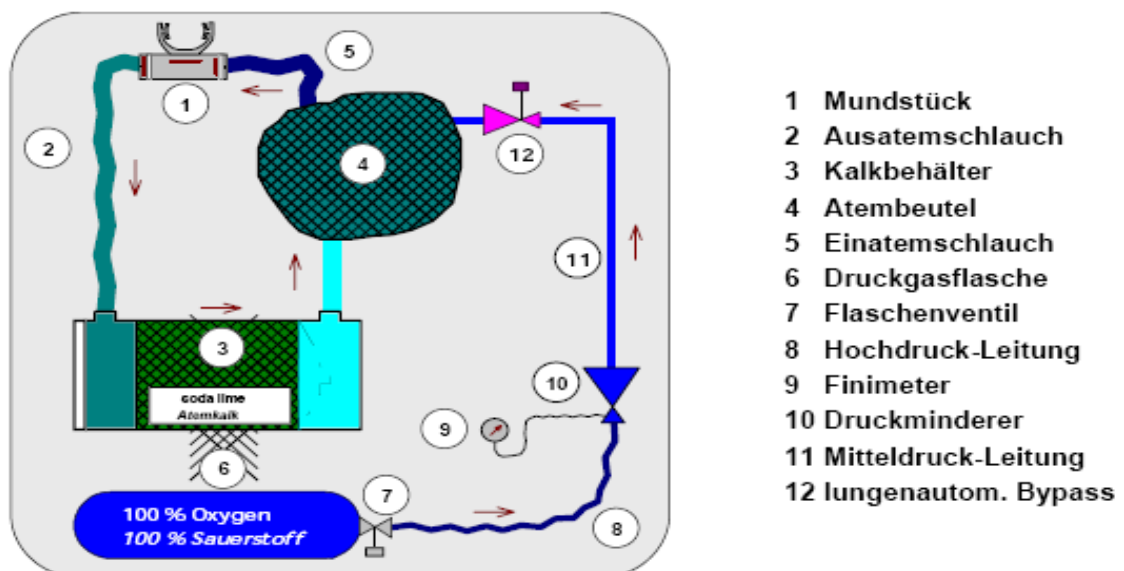


Abb. 1-3: Geschlossenes Kreislaufsystem [14]

1.4.3 Halbgeschlossenes Kreislaufgerät – SCR Semi-Closed-Rebreather

Das Funktionsprinzip des halbgeschlossenen Kreislaufgerätes ist jenem des geschlossenen Kreislaufgerätes sehr ähnlich, wobei von Zeit zu Zeit jedoch Gasblasen in die Umgebung abgegeben werden. In Abb. 1-4 wird die Funktionsweise beschrieben.

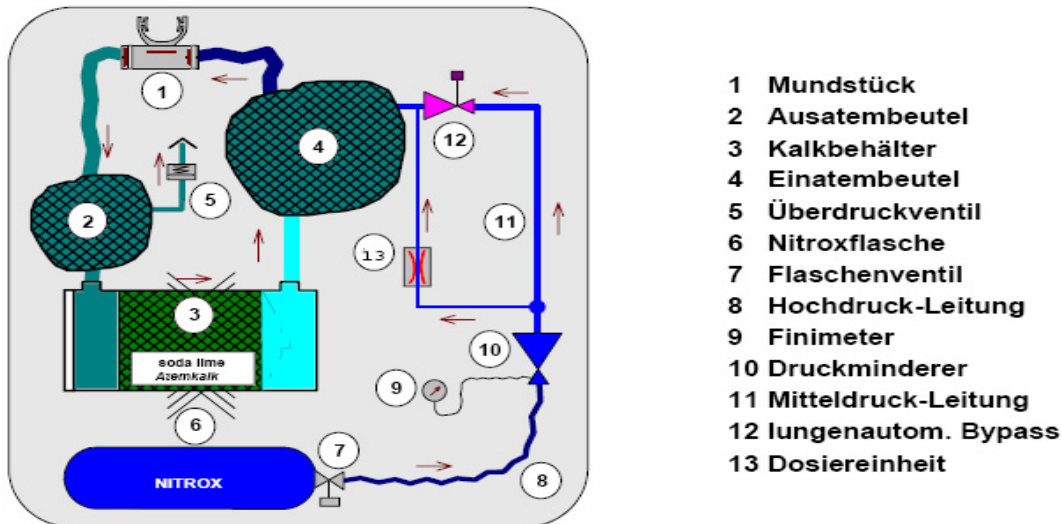


Abb. 1-4: Halbgeschlossenes Kreislaufsystem [14]

Atmet der Taucher über das Mundstück (1) ein, erhält er aus dem Atembeutel (4) frisches Nitroxgas. Bei der Ausatmung gewährleisten Richtungsventile, dass die mit Kohlendioxid angereicherte Luft in einen zweiten Atembeutel (2) gelangt. Dieser hat die Aufgabe, Wasser, welches eventuell in das System eingedrungen ist, zu sammeln. Von diesem Ausatembeutel gelangt die Luft weiter in den Kalkbehälter (Absorber). Diese Kalkpatrone bindet chemisch Kohlendioxid, dabei entsteht Wärme (exotherme Reaktion). Dieses gereinigte, angewärmte und angefeuchtete Atemgas gelangt wieder zum Atembeutel (4) zurück. Dieser hat zwei Frischgas-Anschlüsse zur Verfügung. Als Standardversorgung wird die Kontaktdosierung (13) gesehen. Diese versorgt den Atembeutel mit einer konstanten Menge an Frischgas und kontrolliert den Sauerstoffpartialdruck.

Der lungenautomatische Bypass (12) versorgt den Einatembeutel mit Frischgas, falls dieser geleert ist und der Taucher sich gerade in der Einatemphase befindet. Überschüssiges Gas wird über ein Überdruckventil (5) abgegeben. [12] [14] [20]

1.5 Atemgase

In den nachfolgenden Kapiteln werden die gebräuchlichsten Atemgasgemische beschrieben.

1.5.1 Luft

Luft ist das im Hobby-Tauchbereich am häufigsten verwendete Atemgas. Die komprimierte Luft („Pressluft“) in der Tauchflasche ist dabei qualitativ die gleiche, die wir in normaler Umgebung atmen. [20] [25]

	Anteil	Molekulargewicht
Sauerstoff (O ₂)	20,95%	31,999
Kohlendioxid (CO ₂)	0,03%	44,010
Stickstoff (N ₂)	78,08%	28,013
Argon (Ar)	0,93%	39,948
Neon (Ne)	0,002%	20,183
Summe: N ₂ + Ar + Ne	79,02%	28,154
Helium (He)	0,0005%	4,0026
Wasserstoff (H ₂)	0,00005%	2,0159
Rest	0,00045%	-

Tab. 1-1: Zusammensetzung der atmosphärischen Luft [2]

Bei Drucklufttauchgängen besteht aufgrund des Partialdruckanstiegs des Sauerstoffs ab 60 m Tiefe (7 bar) das Risiko der zentralnervösen Sauerstofftoxizität.

Die Entwicklung zentralnervöser Auswirkungen von Sauerstoff sind in der Praxis, aufgrund der limitierten Aufenthaltszeiten durch den Dekompressionsbedarf und dem dadurch zu kurzen Verbleib in dieser Tiefe, nicht möglich.

Generell lässt sich die Toxizitätsgrenze für Sauerstoff jedoch nicht genau auf ein bestimmtes Druckniveau festlegen. Der Grund dafür ist, dass viele weitere Faktoren, wie körperliche Anstrengung und subjektive Empfindlichkeit, die Grenze für die Giftigkeit des Sauerstoffes individuell herabsetzen können. Die Gefahr der pulmonalen Sauerstofftoxizität ist bei Druckluft-Tauchgängen dagegen nicht gegeben, da die Einwirkzeit des reinen Sauerstoffes zu kurz ist. [4]

1.5.2 Tieftauchen

Da die Tieftauchbegrenzung vom Sauerstoffanteil eines Atemgases einerseits und vom Stickstoffanteil andererseits abhängig ist, müssen beide Gase bei Tieftauchgängen anteilmäßig betrachtet werden.

Eine suffiziente Sauerstoffversorgung des Körpers ist unter 17 % O₂ ($pO_2 \leq 0,17$) in der Atemluft nicht mehr gegeben. Ein Gasgemisch mit 12 % O₂ besitzt jedoch aufgrund des Partialdrucks in 10 m Tiefe, also bei 2 bar, wieder einen pO₂-Wert von 0,24 und ist somit wieder komplett lebenserhaltend. Bei Tieftauchgasen muss daher nicht nur auf die maximale, sondern auch auf die minimale Tauchtiefe geachtet werden. [11] Gemische mit sehr niedrigem Sauerstoffanteil erfordern somit in geringen Tiefen einen Atemgaswechsel auf ein Gemisch mit einem höheren Sauerstoffanteil. Atemgaswechsel setzen jedoch aufgrund der zu berücksichtigenden unterschiedlichen Zusammensetzungen profunde tauchphysiologische Kenntnisse der Anwender voraus, da sonst schwerwiegende Dekompressionszwischenfälle bzw. Tauchunfälle entstehen können.

Das zweite Problem beim Tieftauchen ist das Risiko eines Tiefenrausches, hervorgerufen durch eine zentralnervöse Stickstoffüberflutung („Stickstoffnarkose“) unter steigendem Umgebungsdruck. Aus diesem Grund ist auch der Anteil des Stickstoffes in Tieftauchgasen zu reduzieren. [11] [20]

1.5.2.1 Trimix

Trimix ist das am häufigsten eingesetzte Tieftauchgas, welches aus Sauerstoff, Stickstoff und Helium besteht. Das Mischungsverhältnis dieser Gase wird dabei variabel gewählt.

Helium ist ebenso wie Stickstoff ein Inertgas, zeigt jedoch eine geringere Narkosefähigkeit aufgrund seiner schlechteren Fettlöslichkeit. Helium weist auch eine viel geringere Dichte (0,16 g/l) als Stickstoff (1,10 g/l) auf. Somit verringert sich der Atemwiderstand und das Atmen in großen Tiefen wird erleichtert. [4] [11] [21]

Der Sauerstoffpartialdruck in Trimix-Gemischen liegt üblicherweise zwischen 0,16 bar (entspricht 2200 m Höhe) und 1,4 bar. Der Stickstoffpartialdruck sollte dabei 4 bar nicht überschreiten. Der Rest wird mit Helium aufgefüllt. Bei Tauchgängen bis 100 m ergibt sich dadurch ein Gasgemisch von 15 % O₂, 36 % N₂ und 49 % He. [4]

1.5.2.2 Heliox

Bei diesem Tauchgas wird Stickstoff gänzlich durch Helium ersetzt. Heliox ist unter anderem ein sehr teures Gasgemisch und aufgrund des geringen Atemwiderstandes nicht im oberflächennahen Bereich einsetzbar. Somit bringt die Anwendung von Heliox immer einen Gaswechsel und damit ein erhöhtes Risiko mit sich.

Ab Tauchtiefen von 120 m kommt bei Heliox das Risiko eines HPNS (High-pressure-nervous-Syndrom) hinzu. Dieses manifestiert sich in Übelkeit, Zittern und Krämpfen der Extremitäten. Durch Zuführen eines geringen Stickstoffanteiles kann das Auftreten eines HPNS unterdrückt werden. Diese Schutzwirkung ist wahrscheinlich auf den narkotischen Effekt des Stickstoffes in großen Tiefen zurückzuführen. [11] [21]

1.5.3 Nitrox

Zu Beginn wurde Nitrox als reines Dekompressionsgas nach tieferen Tauchgängen eingesetzt. Seit Mitte der 1990er Jahre hat es sich jedoch auch vor allem auf Tauchsafaris und überall dort, wo viel und lange getaucht wird, durchgesetzt.

Ein Synonym für dieses Atemgas ist EAN oder EANx (Enriched-Air-Nitrox), was so viel bedeutet wie „angereicherte“ Luft. [4]

Nitrox steht für ein Gemisch mit NITrogen (Stickstoff) und OXYgen (Sauerstoff). Die zwei am häufigsten angewendeten Nitrox-Mischungen sind EAN 32 und EAN 36. Der Sauerstoffanteil wird dabei auf 32 % bzw. 36 % auf Kosten des Stickstoffes erhöht.

Diese werden auch als NOAA Nitrox I (NNI) und NOAA Nitrox II (NNII) bezeichnet, da sie von der National Oceanic and Atmospheric Administration der U.S. Regierung entwickelt wurden. [25]

Auf Tauchbasen und Safarischiffen, die ihre Nitroxgemische mittels Membranverfahren gewinnen, sind Gemische zwischen 30 % und 32 % Sauerstoff üblich.

In der Tab. 1-2 soll der zunehmende Sauerstoffpartialdruck in Abhängigkeit zu dem Druck und dem prozentuellen Sauerstoffgehalt in den verschiedenen Atemgasen verdeutlicht werden.

	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar	5 bar
	0 Meter	10 Meter	20 Meter	30 Meter	40 Meter
Luft	0,21	0,42	0,63	0,84	1,05
EAN 32	0,32	0,64	0,96	1,28	1,60
EAN 36	0,36	0,72	1,08	1,44	1,80

Tab. 1-2: Aufzeichnung der pO_2 Werte [25]

Das Risiko einer Sauerstoffvergiftung besteht bereits ab einen pO_2 -Wert von 1,1 bar, es steigt jedoch beträchtlich ab einen pO_2 -Wert von 1,4 bar. Somit wird eine Begrenzung des pO_2 -Wertes für alle Taucher ab 1,4 bar empfohlen.

In der Tab. 1-2 ist ersichtlich, dass eine Nitrox-Mischung mit EAN 32 angestrebt werden sollte, da es in der empfohlenen Sporttauchgrenze, die bei 30 m liegt, ohne Risiko einer Sauerstoffvergiftung anwendbar ist. [25]

1.5.3.1 Vorteile von Nitrox

In unserer Umgebungsluft macht Stickstoff einen Anteil von rund 70 % aus. Obwohl Stickstoff ein Inertgas ist, hat es aufgrund seiner Fettlöslichkeit die Eigenschaft, sich entsprechend dem Gesetz von Henry unter erhöhtem Umgebungsdruck im menschlichen Körper anzureichern. Wird der Umgebungsdruck zu rasch reduziert, d. h. ohne dass genug Zeit für eine kontrollierte Elimination über die Alveolen bleibt, perlt der Stickstoff im Gewebe bzw. in den flüssigen Körperkompartimenten aus. Bildung von Micro- und Macrobubbles als Auslöser der Dekompressionskrankheit ist die Folge.

Die maximale dekompensationsfreie Tauchzeit ist somit vom Stickstoffgehalt im Atemgas abhängig. Nitrox ermöglicht längere und häufigere Tauchgänge bei gleicher Stickstoffbelastung und reduziert gleichzeitig das Risiko einer Dekompressionskrankheit. [11]

Somit wird durch die Verwendung von Nitrox nicht nur die mögliche Tauchdauer ohne Dekompressionsstopperfordernis (so genannte „Nullzeit“), sondern auch die Dauer der Grundzeiten verlängert. [25]

1.5.3.2 Nachteile von Nitrox

Der höhere Anteil von Sauerstoff hat zur Folge, dass schon in geringeren Tiefen die potentiell toxische Grenze von 1,6 bar Sauerstoffpartialdruck erreicht wird. Die Tauchtiefen sind somit bei Nitrox limitiert.

Das Überschreiten der empfohlenen Tauchgangstiefe mit Nitrox, (inspiratorischer Sauerstoffpartialdruck über 1,4 bar) bringt das Risiko eines sauerstoffbedingten generalisierten Krampfanfalles mit darauffolgendem Ertrinken mit sich. Dieses Phänomen ist als neuronale Sauerstoffvergiftung (Paul Bert Effekt) bekannt. [11]

Daher ist eine eigene Ausbildung für das Tauchen mit Nitrox nötig. Bei Atemgasen mit über 40 % O₂ ist auch eine Spezialausrüstung notwendig. Außerdem sind die Flaschenfüllungen mit Nitrox teurer als jene mit Luft. [25]

1.5.4 Sauerstoff

Sauerstoff ist als wichtigstes „Atemgas“ des Menschen für das Überleben unerlässlich.

Bei Zunahme des Sauerstoffpartialdruckes entsteht jedoch eine schädigende Wirkung auf den menschlichen Organismus. [4]

1.5.4.1 Ursachen und Auswirkungen der Sauerstoffvergiftung

Dieses Phänomen ist von individuellen Faktoren des jeweiligen Tauchers, von der Einwirkzeit, vom Partialdruck des Sauerstoffes und von Schwankungen der Tagesverfassung abhängig. Unter anderem wird die Sensibilität des Gehirns auf O₂ durch hohe körperliche Belastung gesteigert. [2] [4]

Die zentralnervös-toxische Wirkung wurde erstmals 1878 vom französischen Forscher Paul Bert in seinem bekannten Werk „La Pression Barometrique“ beschrieben. Dieser beobachtete Krampfanfälle bei Versuchstieren nach Überdruck-Beatmung mit Sauerstoff. [4] [11]

Im Jahr 1899 wurde von J. L. Smith bei einem Sauerstoffpartialdruck von nur 0,6 bar der über längere Zeit einwirkte, eine Lungenschädigung nachgewiesen (so genannter Lorrain-Smith-Effekt). [4] [11]

Diese beiden Beobachtungen wurden in den folgenden Jahren durch weitere Untersuchungen bestätigt.

Steigt der Sauerstoffpartialdruck über 1,0 bar spricht man von hyperbarer Oxygenation. Ab einem pO_2 von 2 – 3 bar steigt das Risiko einer Sauerstoffvergiftung drastisch an. Nach nur kurzer Zeit kann es zum plötzlichen Auftreten von Übelkeit und Kopfschmerzen, zu rauschähnlichen Verwirrheitszuständen, in Folge zu krampfartigen Anfällen und schließlich zum Tod kommen.

Die Ursache der zentralnervösen Toxizität konnte noch nicht eindeutig geklärt werden.

Bei der pulmonalen Toxizität wird unter anderem eine zerstörende Wirkung von Sauerstoff auf die Alveolen (Verminderung von pulmonalem Surfactant-Factor) vermutet, wonach es zu Atelektasenbildung und Ödemen kommt.

Auch die gesteigerte Produktion von freien Radikalen wird als mögliche Ursache diskutiert. [2] [4]

Andererseits ist aber die Anwendung von Sauerstoff unter hyperbaren Bedingungen die wichtigste Therapie bei Unfällen unter Überdruckbedingungen und spielt in vielen weiteren Bereichen der Medizin eine große Rolle. [4]

2 Hyperbare Sauerstofftherapie

2.1 Einführung

Die Hyperbare Sauerstofftherapie wird auch als „Hyperbare Oxygenation“ (HBO) bezeichnet. Hierbei handelt es sich um eine anerkannte ärztliche Behandlungsform für unterschiedliche Indikationen in der Notfalls- bzw. Tauchmedizin, bei radiogenen Erkrankungen, spezifischen Formen von nekrotisierenden Infekten, Wundheilungsstörungen, Reperfusionenproblemen und zentralnervösen Erkrankungen. [11]

Der Patient befindet sich dabei in einer Druckkammer, in der er unter hyperbaren Bedingungen - dies sind Umgebungsdruckbedingungen, welche den atmosphärischen Druck auf Meereshöhe übersteigen - reinen Sauerstoff atmet.

2.2 Historischer Hintergrund

Die ersten Arbeiten unter Wasser wurden mit so genannten Taucherglocken verrichtet. Dieses System geht bis zur Zeit Aristoteles' zurück. Diese Glocken (Metall- oder Holzkästen) wurden an der Oberfläche mit Luft gefüllt und mit den Arbeitern oder Perlentauern an einer Eisenkette im Wasser versenkt. Somit konnten Arbeitszeiten unter Wasser von bis zu einer Viertelstunde erreicht werden.

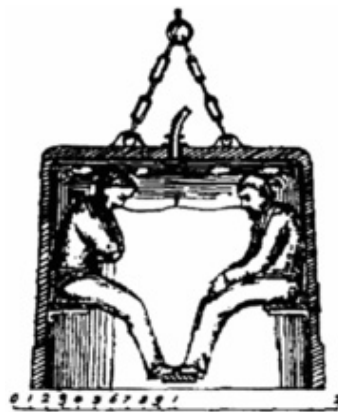


Abb. 2-5: Taucherglocke des 19. Jhd [13]

Der Senkkasten, auch Caisson genannt, war die logische Weiterentwicklung der Taucherglocke. Er wurde hauptsächlich für Tunnel- und Brückenbauten eingesetzt. Durch Einblasen von Pressluft wurde der jeweiligen Wassertiefe entsprechende Druck erreicht und das umgebende Wasser verdrängt. Über eine Schleuse war der Caisson begehbar, der Boden an der offenen Unterseite des Caissons konnte zu Fundamentierungs- bzw. Grabungszwecken verwendet werden. Die Caissonarbeiter atmeten

über Stunden komprimierte Luft ein. Sehr lange Arbeitszeiten, wie auch zu schnelles Auftauchen, führten zu einer Vielzahl von Beschwerden: Die Arbeiter klagten über Gelenkschmerzen (heute als sog. Bends bekannt) und starken Juckreiz an der Haut (Taucherflöhe) und bei einigen konnte nur noch der Tod festgestellt werden. Diese Phänomene waren damals unter „Caissonkrankheit“ bekannt.

Nach dem heutigen Wissensstand sind Stickstoffbläschen für diese Beschwerden verantwortlich. Deshalb wurde die Caissonkrankheit in Dekompressionskrankheit umbenannt. [21] [24]

Eine der größten Caissonbaustellen wurde 1911 mit der Fertigstellung des 35,5 m unter der Elbe liegenden Tunnels in Hamburg abgeschlossen. Da auch zu dieser Zeit noch vieles über die Arbeit und den Aufenthalt unter Überdruck-Bedingungen unklar war, kam es auch dort zu schweren Unfällen und sogar Todesfällen. [5]

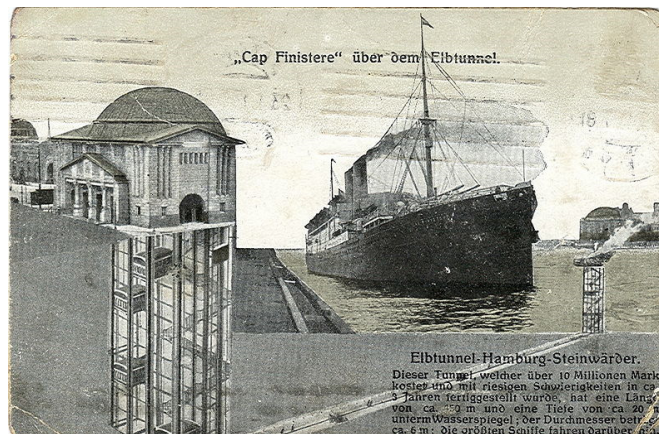


Abb. 2-6: Skizze des alten Elbtunnels [23]

Erst während des 2. Weltkrieges wurden vor allem durch die Royal Navy und die U.S. Navy neue Überdrucksysteme entwickelt. Die dadurch gewonnenen Erfahrungen mit Sauerstoff unter hyperbaren Bedingungen dienten als Grundlage der heutigen hyperbaren Medizin. [4]

2.3 Sauerstofftransport

Der Sauerstofftransport findet über zwei unterschiedliche Wege statt.

Beim chemischen Weg wird der Sauerstoff im arteriellen Blut an das Hämoglobin (roter Blutfarbstoff) gebunden: Unter Atmung von Umgebungsluft beträgt die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins etwa 97 %. Auf diese Art werden unter normalem Umgebungsdruck über 90 % des Sauerstoffs transportiert. Da die Menge an Hämoglobin nicht beliebig erhöht werden kann, lässt sich auch der Anteil des chemisch gebunde-

nen Sauerstoffes im Blut kaum steigern: Eine Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks erhöht die Sauerstoffsättigung des Hämoglobins bis auf maximal 100 %.

Beim physikalischen Transportweg handelt es sich um Sauerstoff, der physikalisch im Plasma gelöst ist. Unter physiologischen Bedingungen sind das nur ca. 0,3 ml Sauerstoff/dl Blut. Atmung von reinem Sauerstoff erhöht den gelösten Anteil auf 2.1 ml/dl. Dieser Anteil lässt sich durch die hyperbare Oxygenierung jedoch stark erhöhen.

Unter steigendem Umgebungsdruck und reiner Sauerstoffatmung kommt es infolge des Henry'schen Gesetzes zum Ansteigen der physikalisch gelösten Sauerstoffmenge. Somit ist es möglich, den gelösten Sauerstoffanteil auf bis zu 6,8 ml O₂/dl Blut bei einem Umgebungsdruck von 3 bar zu steigern. Somit können mangeldurchblutete Bereiche des Körpers, welche dem chemisch gebundenen Sauerstoff nicht mehr zugänglich sind, durch Diffusion des physikalisch gelösten Sauerstoffs versorgt werden. Unter 3 bar hyperbarer Oxygenation kann theoretisch die gesamte Sauerstoffversorgung des Körpers nur durch den physikalisch gelösten Anteil erfolgen, Erythrozyten würden nicht benötigt. [11]

Aufgrund der erhöhten Sauerstofftransportkapazität, wie auch der größeren Konzentrationsdifferenz zwischen Blut und den verschiedenen Körpergeweben, wird die Diffusionsrate gesteigert und die Diffusionsstrecke bis auf das 4-Fache erhöht. [4]

2.4 Indikation zur Hyperbaren Oxygenierung (HBO)

Die medizinischen Indikationen für eine HBO-Therapie gliedern sich in vier große Bereiche.

1. Ektope Gasblasen im Gewebe oder im Blutkreislauf: Akzidentelle oder iatrogene Luftembolien, Dekompressionserkrankungen von Tauchern und Überdruckerarbeitern oder Atemgasembolien bei Tauchern zählen zu dieser Kategorie. Die Art des Gases spielt hierbei keine Rolle. Der Effekt der HBO-Therapie ist dabei die „Durchwanderung des Sauerstoffs“ durch die Gasblasen („Oxygen Window“) und die Anreicherung des durch die Gasembolie hypoxischen Areals infolge der hohen Sauerstoffpartialdruckdifferenz zwischen Blut und Gewebe. Dazu kommt die physikalische Wirkung des Überdrucks auf die Größe der Gasblasen, die sich nach dem Boyle-Mariotte'sches Gesetz proportional zum Überdruck verkleinern.

2. Erkrankungen, die den Sauerstofftransport im Blut verringern: Durch eine stärkere Bindung von chemischen Stoffen an das Hämoglobin der Erythrozyten oder an En-

zyme der Atmungskette wird der chemisch gebundene Sauerstoff verdrängt, wie z. B. bei Kohlenmonoxid- bzw. Cyanid-Intoxikationen. Hier besteht der Therapieeffekt einerseits in der sofortigen Wiederherstellung der Sauerstoffversorgung durch physikalische Lösung im Plasma, andererseits durch die chemische Verdrängung der Toxine aus der Bindung zum Hämoglobin infolge des Überangebots an Sauerstoff (Massenwirkungsgesetz).

3. Behandlung von Infektionen, die durch Anaerobier verursacht sind: Der hohe Sauerstoffpartialdruck wirkt direkt bakterizid auf Problemkeime, wie z.B. Clostridien.

4. Verbesserung der Oxygenierung von schlecht durchblutetem Gewebe, welches aufgrund beeinträchtigter Wundheilung oder durch Radiatio (Bestrahlung) im Rahmen von Gewebstransplantationen zu Nekrosenbildungen neigt. [4]

2.5 Risiken und Komplikationen der „Tauchphasen“

Wie jeder „nasse“ Tauchgang lässt sich eine Druckkammerfahrt in 3 Phasen unterteilen, wobei in jeder spezifische Nebenwirkungen und Komplikationen auftreten können. [4]

2.5.1 Kompressionsphase

Die Kompressionsphase beginnt mit dem Abtauchen. Hierbei steht die kontinuierliche Druckzunahme im Vordergrund, welche sich hauptsächlich auf die luftgefüllten Hohlräume des Körpers auswirkt. Ist kein effektives Druckausgleichsmanöver oder eine beidseitige Parazentese (Eröffnung des Trommelfells) durchführbar, führt dies zur Entwicklung einer relativen Unterdruckbildung in der Nase, den Nasennebenhöhlen und dem Mittelohr. Als Folge können Hämorrhagien bzw. unter Umständen eine Ruptur des Trommelfells (so genanntes Barotrauma von Nebenhöhlen bzw. Mittelohr) resultieren. [4]

2.5.2 Isopressionsphase

Der Aufenthalt in der geplanten Tauchtiefe wird Isopressionsphase genannt. Hierbei kommt es im Regelfall zu keinen größeren Druckdifferenzen. Jedoch spielt die kontinuierliche Einwirkung der erhöhten Partialdrücke von eingeatmeten Gaskomponenten eine entscheidende Rolle, wobei das Risiko von Vergiftungserscheinungen, wie zum Beispiel „Tiefenrausch“ (Stickstoffintoxikation) oder anderer zentralnervöser Erscheinungen (Sauerstoffintoxikation) im Vordergrund steht. Bei der zentralnervösen Toxizi-

tät kommt es zu Schwindelgefühl, Übelkeit, haptischen, akustischen oder optischen Halluzinationen, Euphorie oder Verwirrheitszuständen. In weiterer Folge treten Zuckungen der Muskulatur und tonisch-klonische Krampfanfälle auf. Wird die hyperbare Sauerstoffzufuhr nicht unterbunden, kann es bis zum Atemstillstand und schließlich zum Tod kommen. Durch Umstellung auf normale Pressluftatmung sind die Symptome jedoch schnell reversibel. [4]

Die pulmonal-toxische Wirkung, auch bekannt als Lorrain-Smith-Effekt, zeigt sich mit Hustenreiz, retrosternalen Schmerzen und Dyspnoe. Sie treten auch im Intervall zwischen den Therapiesitzungen auf. Auch diese Symptome bilden sich durch Stopp der hyperbaren Sauerstofftherapie rasch zurück. [4]

2.5.3 Dekompressionsphase

Die Dekompressionsphase ist die Phase der Druckreduktion während des Auftauchens (auch so genannte „Auftauchphase“). Durch die Druckänderungen und damit die Möglichkeit der Ausbildung von Gasblasen im Körper besteht hier das Risiko der Dekompressionskrankheit. Auch bringt diese Phase die Gefahr einer arteriellen Luftembolie mit sich, wenn Infusionsleitungen bzw. andere venöse Zugänge nicht korrekt gehandhabt werden. [4]

2.6 Risikoreduktion

Medikamentöse Versuche, die Sauerstofftoxizität zu minimieren (etwa durch „Radikalfänger“), waren wenig erfolgreich.

Die wohl sicherste Methode, um das Risiko einer Sauerstoffvergiftung zu minimieren, besteht in der intervallmäßigen Unterbrechung der hyperbaren Sauerstoffatmung mit Atmen reiner Pressluft während der Pausen. Eine maximale Grenze von 3 bar darf nicht überschritten werden. Mit der Einführung der UPTD (Unit Pulmonary Toxicity Dose) wurde eine rechnerische Basis erstellt, um eine für den menschlichen Organismus erträgliche Sauerstoffmenge festzulegen. (1 UPTD = 1 min O₂-Atmung bei 1 bar). [4]

Bei ordnungsgemäßer Einhaltung der heute üblichen Therapieschemata und regelmäßigen Kontrollen ist nur von einem geringen Risiko auszugehen. [11]

3 Elektroneurographie

3.1 Definition

Es handelt sich hierbei um ein nicht invasives, standardisiertes Untersuchungsverfahren zur elektrophysiologischen Diagnostik peripherer Nerven. Mittels Oberflächenelektroden werden dabei die motorischen und sensiblen Funktionen ausgewertet. [15]

3.2 Anatomisches Hintergrundwissen

Ein Nerv ist aus unterschiedlich schnell leitenden Nervenfasern aufgebaut. [7] [10]

Fasertyp (ABC) (afferent und efferent)	Fasertyp (I – III) (afferent)	Markhaltig	Durchmesser (µm)	Leitungsgeschwindigkeit (m/s)	Vorkommen
Aα	I	++	15-20	~100 (70-120)	Motor-Afferenzen Aα Muskelspindelafferenzen I
Aβ	II	+	5-10	~50 (30-70)	Mechanorezeptoren der Haut Aβ Sekundäre Muskelspindelafferenz (II)
Aγ		+	5-10	~30 (15-40)	Efferente Muskelspindelefferenzen
Aδ	III	(+)	1-5	~20 (5-30)	Thermoafferenz (kalt), nozizeptive Afferenzen (scharfer Schmerz)
B		(+)	1-3	~10 (3-15)	Efferente präganglionäre vegetative Fasern
C	IV	-	1	~1 (0,5-2)	Efferente postganglionäre vegetative Fasern, sensibler Schmerz (dumpf) Thermoafferenz (warm)

Tab. 3-3: Einteilung der Nervenfasern [7] [10]

In Tab. 3-3 wird ein Überblick über die Einteilung der Nervenfasern, sowie deren Vorkommen und Eigenschaften, gegeben. Die Klassifikation erfolgt nach Elanger und Gasser (A – C) sowie nach Lloyd und Hunt (I – IV). [7] [10]

3.3 Motorische Neurographie

Bei der Motorischen Neurographie wird die Leitungsfähigkeit motorischer oder gemischter Nerven untersucht. [8]

3.3.1 Durchführung

Am peripheren Nerv (meistens N. medianus, N. ulnaris, N. peroneus, N. tibialis) werden an mindestens zwei verschiedenen Stellen Oberflächenelektroden angebracht. Es ist wichtig, die proximale und distale Elektrode in einem genügend großen Abstand (ca. 20 cm) voneinander anzubringen, da bei kürzeren Distanzen der Messfehler erheblich zunimmt. [3]

Die neurographischen Parameter werden durch unterschiedliche Faktoren bestimmt, daher müssen das Patientenalter und die Hauttemperatur bei jeder Untersuchung berücksichtigt werden. Die Nervenleitgeschwindigkeit steigt um 2 – 2,4 m/s je Grad Celsius Hauttemperatur-Erwärmung und nimmt jenseits des 60. Lebensjahrs ab. [1]

Die Stimulation erfolgt durch supramaximal definierte Rechteckstromimpulse. Dabei wird die Reizintensität so lange gesteigert, bis es zu keiner weiteren Erhöhung der Summenpotentialamplitude kommt, danach wird die Reizintensität noch um weitere 25 % erhöht. Ein vorsichtiges Herantasten an die supramaximale Reizintensität ist wichtig, um ein Übergreifen der elektrischen Impulse auf Nachbarnerven zu verhindern. Bei submaximalen Reizen besteht das Risiko, dass nicht der gesamte Querschnitt der Nerven erregt wird und es so zu falschen Untersuchungsergebnissen kommt. [1] [26]

Die Reizantwort (M-Antwort, evoziertes Muskelaktionspotential [EMAP] oder Muskelsummenaktionspotential [MSAP]) wird an einem meist distal gelegenen, von diesem Nerv innervierten Muskel gemessen, dabei liegt die differente Elektrode über dem Muskelbauch (Endplattenzone) und die indifferente Elektrode (Referenzelektrode) über der Sehne des Muskels. Somit stellt sich die EMAP als initial negativ und im Normalfall als biphasisches Summenaktionspotential dar. [1] [26]

3.3.2 Nervenleitgeschwindigkeit

Diese spiegelt die Leitgeschwindigkeit der am schnellsten leitenden motorischen Fasern (m/s) wider.

Die Berechnung der maximal motorischen Erregungsleitung (max. mot. NLG) ergibt sich aus den zwei unterschiedlichen Latenzzeiten zum Muskel und dem Abstand zwischen den beiden Stimulationselektroden. Als Latenz wird die Zeit zwischen dem Reizimpuls und der Reizantwort bezeichnet. [15] [24]

Die maximale motorische NLG basiert auf folgender Formel:

$$v = \frac{\Delta d}{\Delta t}$$

$$\text{Geschwindigkeit} = \frac{\text{Weg}}{\text{Zeit}}$$

Folglich ergibt sich:

$$\text{Nervenleitgeschwindigkeit} = \frac{\text{Distanz zwischen den beiden Stimulationselektroden (mm)}}{\text{Differenz zwischen proximaler und distaler Latenzzeit (ms)}}$$

Beispiel am N. Medianus: Distanz zwischen den beiden Elektroden 22 cm

Proximale Latenzzeit 7,1 ms

Distale Latenzzeit 3,1 ms

$$NLG = \frac{220\text{mm}}{7,1\text{ms} - 3,1\text{ms}} = 55\text{ms}$$

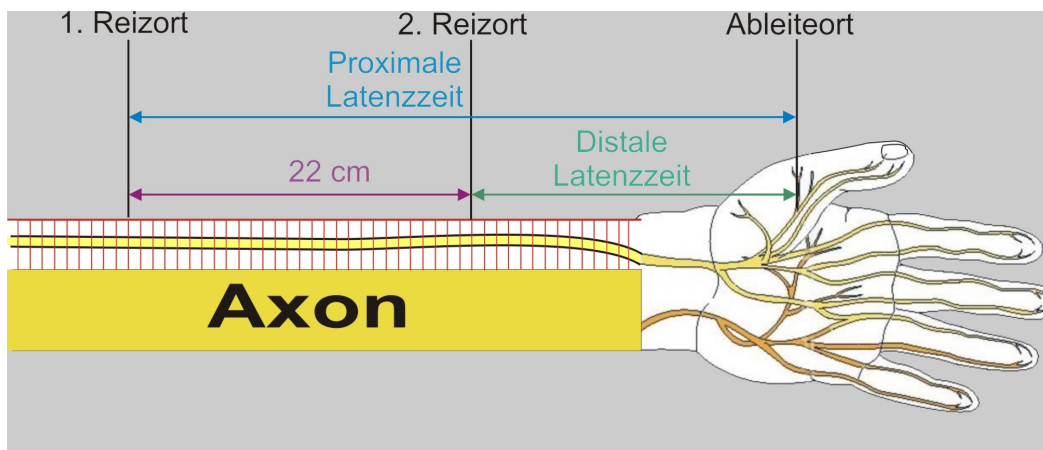


Abb. 3-7: Darstellung der einfließenden Größen der NLG-Berechnung [9]

Nerv	Ableitungsmuskel	Distale Latenz [ms]		NLG [m/s]		Amplitude [mV]	
		Mittelwert	Oberer Grenzwert	Mittelwert	Unterer Grenzwert	Mittelwert	Unterer Grenzwert
N. medianus	M. abductor pollicis brevis	3,7	4,2	56,7	50,0	13,2	5,0
N. ulnaris	M. abductor digiti minimi	2,5	3,3	59,8	50,6	12,2	4,0
N. peroneus	M. extensor digitorum brevis	3,7	4,8	49,5	41,7	10,1	4,0
N. tibialis	M. abductor hallucis	3,9	5,1	48,8	40,6	19,1	5,0

Tab. 3-4: Normwerte für die motorische Nervenleitgeschwindigkeit [1]

Weiters werden die Amplitudenhöhe des MSAP, die distale und proximale Amplitude, die distale Latenz, die Fläche und die Dauer der Amplitude bestimmt. [1]

3.4 Sensible Neurographie

Hierbei wird die zeitliche und räumliche Summation der Aktionspotentiale myelinisierter sensibler Nervenfasern zusammengefasst.

Die sensible Nervenleitgeschwindigkeit errechnet sich direkt aus der Distanz der Reiz- und Ableitungspunkte und der Latenzzeit. Im Gegensatz zur motorischen Nervenleitgeschwindigkeit erfolgt die Reizung der sensiblen NLG nur mit submaximaler Reizintensität. Da ein Nerv prinzipiell in beide Richtungen leiten kann, gibt es die Möglichkeit, die sensible NLG in zwei verschiedenen Ableitungsrichtungen zu messen. [26]

3.4.1 Orthodrome sensible Nervenleitgeschwindigkeit

Dabei erfolgt die Stimulation am distalen Ende des Nervs, z. B. mit Ringelektroden am Finger, und wird proximal, z. B. am Handgelenk, gemessen.

3.4.2 Antidrome sensible Nervenleitgeschwindigkeit

Die erhaltene Amplitude des sensiblen Nervenaktionspotentials (SNAP) ist bei dieser Technik etwas größer und somit leichter erhältlich bzw. messbar.

Hierbei erfolgt die Stimulation des Nervs proximal (gleiche Stimulationspunkte wie für die motorische NLG können verwendet werden) und wird distal mittels Ringelektroden abgeleitet.

Die Summe aller zeitlichen und räumlichen Aktionspotentiale sensibler Nervenfasern wird als sensible Nervenleitgeschwindigkeit angegeben. [8] [17]

3.5 Bestimmung der F-Welle

Bei der Stimulation von motorischen Nerven wird eine physiologische Spätantwort ausgelöst, die so genannte F-Welle. „F“ steht für „Fuß“, da dieses Potenzial das erste Mal an den kleinen Fußmuskeln beobachtet wurde.

Nach der elektrischen Stimulation wird der Reiz nicht nur orthodrom (Auslösung der M-Antwort), das heißt, in Richtung des innervierten Muskels fortgeleitet, sondern auch in antidromer Richtung. Dabei wird der Reiz bis zur motorischen Vorderhornzelle im Rückenmark geleitet. Von dort wird der Reiz wieder über den peripheren Nerv zum innervierten Muskel zurückgelenkt. Da viele der erreichten Vorderhornzellen refraktär sind, ist die F-Wellen Amplitude viel geringer als die erste direkte Erregungsantwort. Da keine Synapsen zwischengeschaltet sind, handelt es sich bei der F-Welle um eine Spätantwort und nicht wie anfangs angenommen um einen Reflex.

Diese kleine „Rückschlagwelle“ folgt der M-Antwort mit erheblicher Verzögerung. [1] [21] [26]

3.5.1 Bedeutung der F-Welle

Der F-Welle kommt in der elektrophysiologischen Diagnostik eine ganz besondere Bedeutung zu. Da die Impulswelle fast 2-mal über den gesamten Nerv geleitet wird, können somit diffuse Axonläsionen oder segmentale Myelinisierungsstörungen hervorragend diagnostiziert werden. Es können auch die proximalen Abschnitte des Nervs bis zu den Spinalnerven mit beurteilt werden. [1]

Da die F-Welle jedoch nur 5 – 10 % der M-Antwort ausmacht, ist es nicht möglich, diese bei einem sehr geringen MSAP auszulösen. [18]

Nerv	Ableiteort/Reizort	Latenz [ms]		Max. Seitendifferenz. der Latenz [ms]
		Oberer Grenzwert	Bei Körper- größe	
N. medianus	M. abductor pollicis brevis / Handgelenk	31		2,0
N. ulnaris	M. abductor digiti minimi / Handgelenk	31		2,0
N. peroneus	M. extensor digitorum brevis /distaler Unterschenkel	52,7	147-160 cm	
		56,9	163-175 cm	
		61,2	178-193 cm	
N. tibialis	M. flexor hallucis brevis / Malleolus medialis	54,5	147-160 cm	
		58	163-175 cm	
		63,6	178-193 cm	

Tab. 3-5: Normwert der F-Welle

Wie aus der Tab. 3-5 ersichtlich ist, sind die Normwerte der F-Welle und des H-Reflexes von der Extremitätenlänge und somit von der Körpergröße abhängig. [1]

4 Material und Methoden

Fragestellung: Wird die Nervenleitfähigkeit durch die Anwendung von Sauerstoff unter hyperbaren Bedingungen beeinflusst?

4.1 Experiment

Es soll ein Basisexperiment in der Druckkammer durchgeführt werden. In 8 Tauchgängen sollen zwei Gruppen von Versuchspersonen untersucht und dokumentiert werden.

Eine Gruppe atmet Reinsauerstoff nach einem standardisierten Verfahren, die Vergleichsgruppe atmet über den gesamten Tauchgang Umgebungsluft mit 21 % O₂ ein. Die Teilung in zwei Gruppen erfolgt, um die möglichen Veränderungen der Nervenleitfähigkeit unter hyperbarer O₂-Einwirkung in wissenschaftlicher und statistisch auswertbarer Art und Weise vergleichen zu können.

4.2 Ziel des Experiments

Das Ziel des Experimentes ist die Erfassung von möglichen Veränderungen bestimmter neurologischer Parameter während der Exposition in reinem Sauerstoff unter hyperbaren Bedingungen (1 bar – 2,5 bar absolut). Die Messung erfolgt im peripheren Nervensystem (PNS) am N. medianus und beinhaltet die Untersuchung der motorischen und sensiblen Nervenleitfähigkeit sowie der F-Welle.

4.3 Exklusionskriterien

- Personen ohne Tauchausbildung
- Taucher unter 18. Jahren, bzw. über 60. Jahren
- Frauen im gebärfähigen Alter
- Taucher mit akuten Atemwegserkrankungen
- Taucher mit Druckausgleichproblemen
- Taucher mit bekannten neuromuskulären bzw. peripheren Nervenerkrankungen

4.4 Durchführung

Es werden standardisierte Messungen der Nervenleitfähigkeit bei konstanter Hauttemperatur ($34 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$) am N. medianus mittels Elektroneurographie an Probanden durchgeführt.

Die Untersuchungen erfolgen während Druckkammerfahrten an der Univ.-Klinik für Thorax- und Hyperbare Chirurgie am LKH Graz, zuerst unter normobaren und anschließend unter hyperbaren Bedingungen, sowie nach Wiedererlangen der Oberfläche. Pathologische Veränderungen (z. B. Karpaltunnelsyndrom) der Probanden werden bereits unter normobarer Umgebung ausgeschlossen.

4.5 Verwendete Software

Die elektrophysiologischen Messungen der Nervenleitfähigkeit erfolgten mittels Medtronic® Keypoint® v5.06 für windows®.

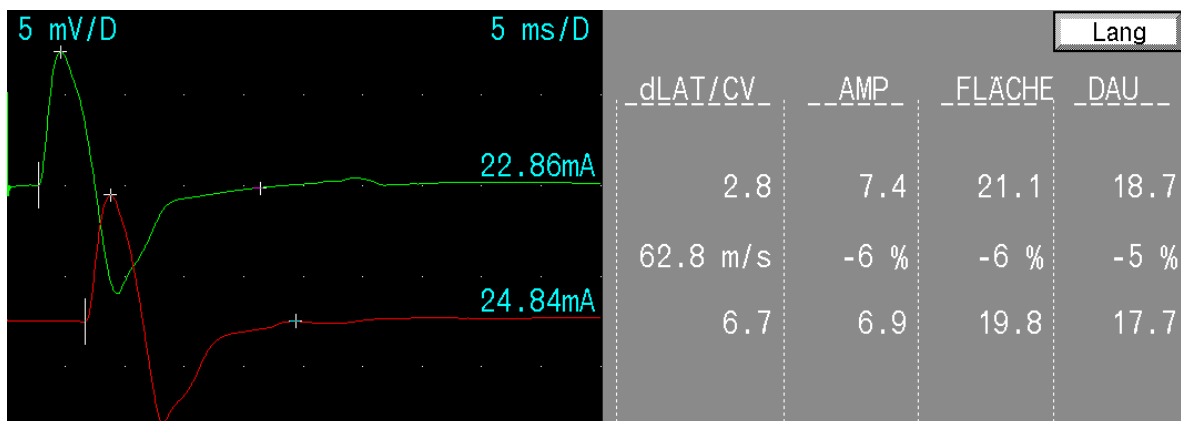


Abb. 4-8: Bildschirmansicht Medtronic® (Wurzinger 2009)

4.6 Neurologische Parameter

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die neurologischen Parameter im Zuge des Experimentes erhoben und erläutert. [3]

4.6.1 Motorische Nervenleitgeschwindigkeit

Der N. medianus wird an 2 Stellen (Position 1 = 6,5 cm proximal des Handgelenkes und Position 2 = Cubita) mit supramaximaler Reizintensität stimuliert.

Die Reizantwort wird am M. abductor pollicis brevis in Form von evoziertem Muskelaktionspotenzial [EMAP oder MSAP] mittels bipolaren Oberflächen-Klebe-elektroden

mit fixem Elektrodenabstand abgeleitet. Zur Nervenstimulation werden Rechteckimpulse mit einer Dauer von 0,2 ms verwendet. [3] [21]

Filtereinstellungen:

Untere Grenzfrequenz: 10 Hz, obere Grenzfrequenz: 10 kHz

Kippgeschwindigkeit (Ablenkgeschwindigkeit): 2 ms / Division

Verstärkung: 0,2 mV / Division

Dabei werden folgende Parameter erfasst:

- Nervenleitgeschwindigkeit
- Distale Latenz (dlat)
- Amplitudenhöhe des MSAP (amp)
- Fläche unter der Amplitude (fl)
- Dauer der Amplitude (dau)

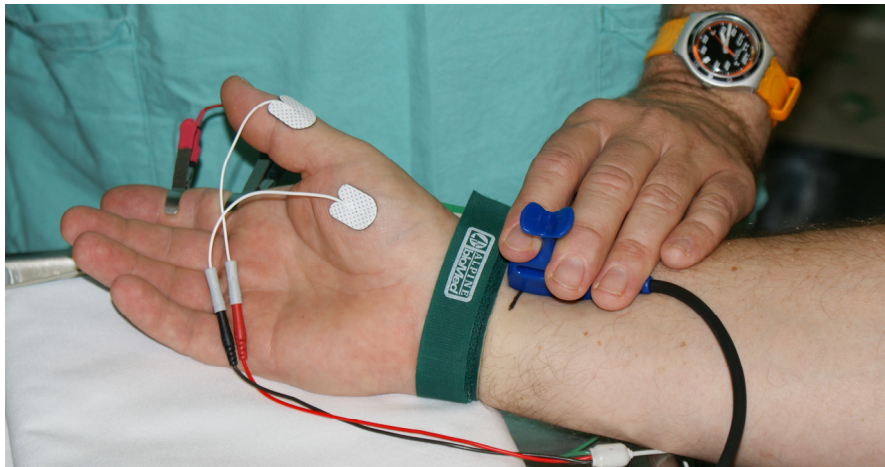


Abb. 4-9: Messung der Nervenleitgeschwindigkeit am N. medianus (Wurzinger 2009)

4.6.2 Sensible Nervenleitgeschwindigkeit

Der N. medianus wird bei der antidromen Methode an zwei Punkten (Handgelenk und Cubita) submaximal stimuliert. Das evozierte sensible Nervenaktionspotential (SNAP) wird mittels Ringlelektrode distal am Zeigefinger gemessen. [3] [21]

Filtereinstellungen:

Untere Grenzfrequenz: 10 Hz, obere Grenzfrequenz 10 kHz

Kippgeschwindigkeit (Ablenkungsgeschwindigkeit): 2 ms / Division

Verstärkung: 5 – 50 μ V / Division

Dabei werden folgende Parameter erfasst:

- Nervenleitgeschwindigkeit (nlgs)
- Amplitude des SNAP (amps)
- Latenz (lats)

4.6.3 F-Welle

Hierbei wird die Reizkathode proximal von der Anode platziert und die Reizstärke um 20 % erhöht. Weiters werden 20 Messwerte pro Untersuchung (Stimulationsfrequenz: 1 Hz) abgeleitet. [3] [21]

Filtereinstellungen:

Untere Grenzfrequenz: 10 Hz, obere Grenzfrequenz: 10 kHz

Kippgeschwindigkeit (Ablenkungsgeschwindigkeit): 5 ms / Division

Verstärkung: 100 – 200 μ V

Dabei werden folgende Parameter erfasst:

Persistenz: Auslösbarkeit der F-Wellen in Relation zu den applizierten Reizen

M-Latenz: orthodrom ausgelöste motorische Antwort (mlat)

F-Latenz min.: kürzeste F-Wellen Latenz (fmmin)

F-Latenz max.: längste F-Wellen Latenz (fmmax)

F-Latenz mtl.: gemittelte F-Wellen Latenz (fmmit)

4.7 Tauchprofile

Das Experiment wurde mit 25 Probanden ($n = 25$) durchgeführt, wobei eine randomisierte Teilung in zwei Gruppen erfolgte. Die erste Messung fand an der Oberfläche bei Luftatmung unter Umgebungsdruck statt. Das Abtauchen auf 250 kPa (2,5 bar, 15 MSW) erfolgte weiterhin mit 21 % O_2 , um die Durchführung des Druckausgleiches (Valsalva-Manöver) zu ermöglichen. Nach Erreichen der maximalen Tauchtiefe erfolgte die zweite Messung. Bei der Versuchsgruppe wurde danach auf 100 % O_2 Atemgas über Maske gewechselt, die Vergleichsgruppe atmete während des ganzen Tauchganges Luft. Der Aufenthalt in dieser Tiefe (Bottomtime) betrug bei beiden Gruppen 55 min. Vor dem Auftauchen erfolgte die dritte Messung. Das Auftauchen erfolgte mit einer maximalen Auftauchgeschwindigkeit von 1 m/min unter Einhaltung eines Sicherheitsdekompressionsstops auf 130 kPa (1,3 bar, 3 MSW) für 5 Minuten. Nach Erreichen der Oberfläche wurde die vierte Messung vorgenommen.



Abb. 4-10: Druckkammer Graz, Außenansicht (Wurzinger 2009)

4.7.1 Messalgorithmus

1. Messung an der Oberfläche bei Raumluft
2. Messung auf 250 kPa (\cong 5 bar, 15 MSW)
3. Messung auf 250 kPa (\cong 2,5 bar, 15 MSW) nach 55 Minuten
4. Messung an der Oberfläche, 10 Minuten nach dem Auftauchen bei Raumluft

4.7.2 Probanden

Als Probanden dienten 25 gesunde, freiwillige und tauchfähige Personen. Nach der positiven Absolvierung einer Tauchtauglichkeitsuntersuchung nach den geltenden Richtlinien der Österreichischen Gesellschaft für Tauch- und Überdruckmedizin nahmen die Testpersonen an den Tauchgängen teil. Die medizinische Betreuung der Probanden während der Dauer des Experimentes und der Druckkammerfahrten erfolgte durch einen anwesenden hyperbarmedizinisch spezialisierten Facharzt der Abteilung für Thorax- und Hyperbare Chirurgie der Univ.-Klinik für Chirurgie (MUG) sowie einen Facharzt für Neurologie.

Für die statistische Auswertung der biometrischen Daten wurden Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht der Probanden erhoben. Das Rauchverhalten der Probanden wurde ebenfalls erfasst.

4.7.3 Druckkammer

Die Druckkammer wurde 1968 als eine Sonderanfertigung der Firma Waagner Biro AG Graz/Wien gebaut und im Keller des damals im Bau befindlichen Chirurgie-Traktes installiert. 1971 wurde sie in Betrieb genommen. Die erlaubte maximale Tauchtiefe beträgt 650 kPa (=6,5 bar, 55 MSW). Es handelt sich hiermit um die größte operative Druckkammeranlage Europas und um die zweitgrößte Druckkammer der Welt.

Der Stahlbehälter mit einer Länge von 11 m und einem Innendurchmesser von 4 m bildet den Hauptdruckkörper. Daran angeschlossen befindet sich eine Personenschleuse mit 2 m Durchmesser und einer Höhe von 4 m. Eine zweite Schleuse wurde 2009 im Zuge von Umbauarbeiten angebaut. Der Stahlbehälter teilt sich in zwei getrennte Bereiche. Somit können beide Kammern unabhängig von einander betrieben werden. Die erste Kammer ist mit 6,5 m und einen Rauminhalt von 75.000 l etwas größer als die zweite. Diese ist als OP nach dem heutigen Stand der Medizin eingerichtet. In der zweiten Kammer, welche mit einer Innenlänge von 4,5 m und einem Rauminhalt von 60.100 l etwas kleiner ist, werden hauptsächlich ambulante und HBO-Patienten behandelt. Beide Kammern verfügen über eine Personenschleuse und eine Materialschleuse mit einem Durchmesser von 500 mm. In den beiden großen Kammern befinden sich Absaugverfahren und zahlreiche Anschlüsse für O₂, Druckluft, Vakuum und N₂O. Seit dem Umbau im Jahre 2009 verfügen beide Kammern über 12-Volt-Anschlüsse.

Die Druckkammer lässt sich mittels der Steuerbrücke, welche sich außerhalb der Kammer befindet, auf drei verschiedene Arten bedienen. [21]



Abb. 4-11: Druckkammer Graz, Innenansicht mit Sauerstoffversorgung (Wurzinger 2009)

5 Ergebnisse – Resultate

Die Dokumentation und Auswertung der Daten erfolgte mittels SPSS® Statistics Version 17.0.

Als Maß der zentralen Tendenz wurden sowohl der Median als auch der Mean herangezogen. Aufgrund der Fallzahl ($n = 25$) war statistisch nur der Median als standardisiertes Maß der zentralen Tendenz zulässig. Die Erhebung des Mean erfolgte zur besseren Vergleichbarkeit im Sinne einer Trendanalyse.

Im Rahmen der deskriptiven Statistik wurden Minimum, Maximum, stand. Fehler des Mittelwerts und stand. Deviation (Standardabweichung) erhoben.

Mit dem Qui-Quadrat-Test (χ^2 -Test) und dem K-S-Test (Kolmogorov-Smirnov-Test) wurde das Vorliegen einer Normalverteilung überprüft.

Für gepaarte Stichproben wurde der T-Test zum Mittelwertvergleich durchgeführt. Der T-Test muss aufgrund der Fallzahl ($n = 25$) als Trendanalyse aufgefasst werden.

Der Wilcoxon-Test wurde zum Vergleich zweier abhängiger Stichproben als nicht-parametrischer Test angewandt.

Der Friedman-Test wurde zum Vergleich n-abhängiger Stichproben als nicht-parametrischer Test angewandt.

Der Mann-Whitney-U-Test wurde zum Vergleich zweier unabhängiger Stichproben als nicht-parametrischer Test herangezogen.

5.1 Biometrische Daten

Die Auswertung der biometrischen Daten der 25 Probanden (n = 25) ergab:

Variabel	Körpergröße (cm)	Gewicht (kg)	Body-Mass-Index (BMI)	Alter
Mittelwert (Mean)	177,40	86,40	27,2044	43,52
Standardfehler des Mittelwertes	1,774	3,865	0,85781	2,554
Median	179,00	85,00	27,7177	47,00
Standardabweichung	8,869	19,324	4,28907	12,768
Varianz	78,667	373,417	18,396	163,010
Spannweite	37	69	13,36	39
Minimum	162	54	19,66	19
Maximum	199	123	33,02	58

Tab. 5-6: Deskriptive Statistik – Biometrische Daten der Probanden

5.2 Maß der zentralen Tendenz – deskriptive Statistik

5.2.1 Motorische Nervenleitgeschwindigkeit bei Luftatmung

Beschreibung der Stimulationsposition:

Position 1: Stimulus am Handgelenk (#1)

Position 2: Stimulus in der Cubita (#2)

5.2.1.1 Distale motorische Latenz in ms (n = 13)

Position 1:

	dlat#1_nb 1. Messung	dlat#1_15an 2. Messung	dlat#1_15ab 3. Messung	dlat#1_0 4. Messung
Mittelwert	3,3692	3,3154	3,3923	3,4385
Standardfehler des Mittelwertes	0,09960	0,11371	0,14783	0,13133
Median	3,2000	3,2000	3,3000	3,4000
Standardabweichung	0,35913	0,40997	0,53301	0,47353
Varianz	0,129	0,168	0,284	0,224
Spannweite	1,20	1,50	1,80	1,70
Minimum	2,90	2,80	2,70	2,80
Maximum	4,10	4,30	4,50	4,50

Position 2:

	dlat#2_nb	dlat#2_15an	dlat#2_15ab	dlat#2_0
Mittelwert	7,4385	7,5000	7,4692	7,5154
Standardfehler des Mittelwertes	0,19200	0,22532	0,20767	0,22669
Median	7,6000	7,4000	7,4000	7,7000
Standardabweichung	0,69226	0,81240	0,74876	0,81736
Varianz	0,479	0,660	0,561	0,668
Spannweite	2,20	3,00	2,60	2,80
Minimum	6,20	6,10	6,30	6,40
Maximum	8,40	9,10	8,90	9,20

Tab. 5-7: Deskriptive Statistik – Distale motorische Latenz

5.2.1.2 Amplitudenhöhe in mV (n = 13)

Position 1:

	amp#1_nb	amp#1_15an	amp#1_15ab	amp#1_0
Mittelwert	6,1154	5,1417	5,6769	6,3769
Standardfehler des Mittelwertes	0,76551	0,61181	0,71308	0,92868
Median	5,8000	5,0500	5,4000	5,8000
Standardabweichung	2,76009	2,11937	2,57104	3,34842
Varianz	7,618	4,492	6,610	11,212
Spannweite	10,30	7,20	9,50	11,70
Minimum	1,90	1,80	1,90	1,60
Maximum	12,20	9,00	11,40	13,30

Position 2:

	amp#2_nb	amp#2_15an	amp#2_15ab	amp#2_0
Mittelwert	6,2077	4,9083	5,1769	6,3000
Standardfehler des Mittelwertes	0,79940	0,48453	0,55909	0,96808
Median	5,7000	5,1000	5,4000	5,7000
Standardabweichung	2,88226	1,67845	2,01583	3,49046
Varianz	8,307	2,817	4,064	12,183
Spannweite	10,60	5,60	7,40	11,10
Minimum	1,90	1,70	1,70	1,70
Maximum	12,50	7,30	9,10	12,80

Tab. 5-8: Deskriptive Statistik – Amplitudenhöhe

5.2.1.3 Fläche unter der Amplitude in x^2 (n = 13)

Position 1:

	fl#1_nb	fl#1_15an	fl#1_15ab	fl#1_0
Mittelwert	19,0385	13,6231	17,0385	18,2385
Standardfehler des Mittelwertes	2,30063	2,08699	2,47116	2,66784
Median	16,7000	15,2000	17,0000	17,6000
Standardabweichung	8,29503	7,52475	8,90988	9,61904
Varianz	68,808	56,622	79,386	92,526
Spannweite	25,30	23,90	32,60	31,10
Minimum	6,20	1,20	4,90	4,70
Maximum	31,50	25,10	37,50	35,80

Position 2:

	fl#2_nb	fl#2_15an	fl#2_15ab	fl#2_0
Mittelwert	18,3769	12,7769	16,3462	17,9308
Standardfehler des Mittelwertes	2,21012	1,45959	2,15952	2,79563
Median	17,8000	15,4000	17,5000	18,2000
Standardabweichung	7,96870	5,26263	7,78627	10,07980
Varianz	63,500	27,695	60,626	101,602
Spannweite	26,00	15,70	26,40	30,20
Minimum	6,20	3,00	4,70	4,80
Maximum	32,20	18,70	31,10	35,00

Tab. 5-9: Deskriptive Statistik – Fläche unter der Amplitude

5.2.1.4 Dauer der Amplitude in ms (n = 13)

Position 1:

	dau#1_nb	dau#1_15an	dau#1_15ab	dau#1_0
Mittelwert	17,2308	15,0615	15,9231	16,8538
Standardfehler des Mittelwertes	0,67296	1,27000	0,77444	0,75240
Median	17,3000	17,1000	16,9000	17,2000
Standardabweichung	2,42638	4,57904	2,79230	2,71281
Varianz	5,887	20,968	7,797	7,359
Spannweite	9,60	18,10	8,10	8,30
Minimum	12,90	2,40	11,30	12,20
Maximum	22,50	20,50	19,40	20,50

Position 2:

	dau#2_nb	dau#2_15an	dau#2_15ab	dau#2_0
Mittelwert	16,8000	15,5231	15,9154	16,4846
Standardfehler des Mittelwertes	0,59979	0,67055	0,65778	0,75438
Median	17,4000	15,8000	16,1000	16,7000
Standardabweichung	2,16256	2,41770	2,37165	2,71994
Varianz	4,677	5,845	5,625	7,398
Spannweite	6,20	8,60	7,50	7,70
Minimum	13,50	11,80	11,80	12,20
Maximum	19,70	20,40	19,30	19,90

Tab. 5-10: Deskriptive Statistik – Dauer der Amplitude

5.2.1.5 Nervenleitgeschwindigkeit in m/s (n = 13)

	nlgmot_nb	nlgmot_15an	nlgmot_15ab	nlgmot_0
Mittelwert	60,0308	58,6538	59,8231	59,9077
Standardfehler des Mittelwertes	1,08895	1,35309	1,04557	1,15622
Median	61,1000	59,0000	59,3000	61,1000
Standardabweichung	3,92628	4,87863	3,76987	4,16883
Varianz	15,416	23,801	14,212	17,379
Spannweite	13,60	14,80	13,20	15,50
Minimum	52,20	51,00	54,40	52,10
Maximum	65,80	65,80	67,60	67,60

Tab. 5-11: Deskriptive Statistik – Motorische Nervenleitgeschwindigkeit

5.2.2 F-Welle bei Luftatmung

5.2.2.1 M-Latenz in ms (n = 13)

	mlat_nb	mlat_15an	mlat_15ab	mlat_0
Mittelwert	3,4846	3,5462	3,4667	3,4231
Standardfehler des Mittelwertes	0,13721	0,14170	0,13162	0,14013
Median	3,4000	3,6000	3,3500	3,4000
Standardabweichung	0,49472	0,51091	0,45594	0,50523
Varianz	0,245	0,261	0,208	0,255
Spannweite	1,80	2,20	1,50	1,80
Minimum	2,50	2,60	2,80	2,50
Maximum	4,30	4,80	4,30	4,30

Tab. 5-12: Deskriptive Statistik – M-Latenz

5.2.2.2 Minimale F-Latenz in ms (n = 13)

	fmmin_nb	fmmin_15an	fmmin_15ab	fmmin_0
Mittelwert	26,5769	26,5615	26,0500	26,6154
Standardfehler des Mittelwertes	0,57537	0,47401	0,51235	0,54759
Median	26,3000	26,8000	25,4500	26,2000
Standardabweichung	2,07451	1,70906	1,77482	1,97435
Varianz	4,304	2,921	3,150	3,898
Spannweite	6,60	5,10	5,70	5,60
Minimum	23,40	24,20	23,80	23,80
Maximum	30,00	29,30	29,50	29,40

Tab. 5-13: Deskriptive Statistik – Minimale F-Latenz

5.2.2.3 Maximale F-Latenz in ms (n = 13)

	fmmax_nb	fmmax_15an	fmmax_15ab	fmmax_0
Mittelwert	29,9692	29,9833	29,4500	31,3692
Standardfehler des Mittelwertes	0,80777	0,71962	0,72619	1,71170
Median	29,5000	30,1000	29,2500	29,8000
Standardabweichung	2,91244	2,49284	2,51559	6,17163
Varianz	8,482	6,214	6,328	38,089
Spannweite	9,00	9,10	7,90	24,00
Minimum	25,80	26,20	26,00	25,80
Maximum	34,80	35,30	33,90	49,80

Tab. 5-14: Deskriptive Statistik – Maximale F-Latenz

5.2.2.4 Mittlere F-Latenz in ms (n = 13)

	fmmit_nb	fmmit_15an	fmmit_15ab	fmmit_0
Mittelwert	27,8538	28,7385	27,4750	27,9538
Standardfehler des Mittelwertes	0,62528	0,82006	0,59354	0,60252
Median	27,7000	28,4000	27,3500	27,3000
Standardabweichung	2,25448	2,95678	2,05609	2,17241
Varianz	5,083	8,743	4,228	4,719
Spannweite	7,20	11,10	6,70	6,10
Minimum	24,60	25,30	24,60	25,20
Maximum	31,80	36,40	31,30	31,30

Tab. 5-15: Deskriptive Statistik – Mittlere F-Latenz

5.2.3 Sensible Nervenleitgeschwindigkeit bei Luftatmung

5.2.3.1 Sensible Nervenleitgeschwindigkeit in m/s (n = 13)

Position 1:

	nlgs#1_nb	nlgs#1_15an	nlgs#1_15ab	nlgs#1_0
Mittelwert	58,8846	59,5083	59,2923	59,5154
Standardfehler des Mittelwertes	1,53685	1,74584	1,44530	1,77702
Median	56,0000	59,4000	58,7000	60,4000
Standardabweichung	5,54119	6,04776	5,21112	6,40714
Varianz	30,705	36,575	27,156	41,051
Spannweite	15,50	20,50	17,30	23,80
Minimum	51,90	50,00	51,70	50,00
Maximum	67,40	70,50	69,00	73,80

Position 2:

	nlgs#2_nb	nlgs#2_15an	nlgs#2_15ab	nlgs#2_0
Mittelwert	58,4000	62,6833	62,4583	62,2000
Standardfehler des Mittelwertes	2,32070	0,96459	1,02539	1,21281
Median	61,9000	62,6500	62,1000	62,3000
Standardabweichung	8,36740	3,34143	3,55207	4,37283
Varianz	70,013	11,165	12,617	19,122
Spannweite	26,80	13,10	10,90	18,00
Minimum	40,40	55,70	59,10	53,30
Maximum	67,20	68,80	70,00	71,30

Tab. 5-16: Deskriptive Statistik – Sensible Nervenleitgeschwindigkeit

5.2.3.2 Sensible Amplitudenhöhe in mV (n = 13)

Position 1:

	amps#1_nb	amps#1_15an	amps#1_15ab	amps#1_0
Mittelwert	17,3462	17,1250	16,5154	19,2846
Standardfehler des Mittelwertes	3,97965	2,53918	2,77599	2,67059
Median	11,0000	15,5000	12,0000	19,0000
Standardabweichung	14,34885	8,79598	10,00898	9,62894
Varianz	205,889	77,369	100,180	92,716
Spannweite	48,60	25,50	29,40	32,20
Minimum	5,40	5,50	4,60	4,80
Maximum	54,00	31,00	34,00	37,00

Position 2:

	amps#2_nb	amps#2_15an	amps#2_15ab	amps#2_0
Mittelwert	9,8385	10,6833	11,0833	12,0846
Standardfehler des Mittelwertes	1,38641	1,24516	2,07225	1,81362
Median	8,4000	9,8500	9,0000	11,0000
Standardabweichung	4,99876	4,31337	7,17848	6,53909
Varianz	24,988	18,605	51,531	42,760
Spannweite	19,90	17,00	25,30	24,80
Minimum	4,10	5,00	3,70	2,20
Maximum	24,00	22,00	29,00	27,00

Tab. 5-17: Deskriptive Statistik – Sensible Amplitudenhöhe

5.2.3.3 Sensible distale Latenz in ms (n = 13)

Position 1:

	lats#1_nb	lats#1_15an	lats#1_15ab	lats#1_0
Mittelwert	3,2077	3,2167	3,2000	3,2077
Standardfehler des Mittelwertes	0,08583	0,07961	0,08086	0,07022
Median	3,1000	3,1000	3,1000	3,1000
Standardabweichung	0,30947	0,27579	0,29155	0,25318
Varianz	0,096	0,076	0,085	0,064
Spannweite	0,90	0,90	0,90	0,70
Minimum	2,80	2,90	2,80	2,80
Maximum	3,70	3,80	3,70	3,50

Position 2:

	lats#2_nb	lats#2_15an	lats#2_15ab	lats#2_0
Mittelwert	7,2538	7,1750	7,1167	7,2077
Standardfehler des Mittelwertes	0,17673	0,16055	0,14814	0,15667
Median	7,1000	7,1000	7,0500	7,1000
Standardabweichung	0,63720	0,55616	0,51316	0,56489
Varianz	0,406	0,309	0,263	0,319
Spannweite	2,10	1,80	1,50	1,80
Minimum	6,30	6,30	6,30	6,20
Maximum	8,40	8,10	7,80	8,00

Tab. 5-18: Deskriptive Statistik – Sensible distale Latenz

5.2.4 Motorische Nervenleitgeschwindigkeit bei Reinsauerstoffatmung

5.2.5 Distale motorische Latenz in ms (n = 12)

Position 1:

	dlat#1_nb	dlat#1_15an	dlat#1_15ab	dlat#1_0
Mittelwert	3,7667	3,7833	3,7167	3,7167
Standardfehler des Mittelwertes	0,16392	0,17487	0,19063	0,20332
Median	3,7500	3,6000	3,6000	3,5000
Standardabweichung	0,56782	0,60578	0,66035	0,70432
Varianz	0,322	0,367	0,436	0,496
Spannweite	1,80	2,10	2,40	2,30
Minimum	3,00	3,10	3,00	3,10
Maximum	4,80	5,20	5,40	5,40

Position 2:

	dlat#2_nb	dlat#2_15an	dlat#2_15ab	dlat#2_0
Mittelwert	7,8833	7,8833	7,7833	7,8833
Standardfehler des Mittelwertes	0,21421	0,25490	0,23895	0,22219
Median	7,7500	7,6500	7,5500	7,6500
Standardabweichung	0,74203	0,88300	0,82774	0,76969
Varianz	0,551	0,780	0,685	0,592
Spannweite	2,30	2,80	2,60	2,50
Minimum	7,10	7,00	6,90	7,10
Maximum	9,40	9,80	9,50	9,60

Tab. 5-19: Deskriptive Statistik – Distale motorische Latenz

5.2.5.1 Amplitudenhöhe in mV (n = 12)

Position 1:

	amp#1_nb	amp#1_15an	amp#1_15ab	amp#1_0
Mittelwert	7,2417	7,0417	7,0417	7,4000
Standardfehler des Mittelwertes	0,80974	0,88809	0,84472	0,92834
Median	6,7000	6,3000	6,5500	7,0500
Standardabweichung	2,80501	3,07644	2,92620	3,21587
Varianz	7,868	9,464	8,563	10,342
Spannweite	9,00	9,60	8,70	10,10
Minimum	2,60	2,50	2,40	2,50
Maximum	11,60	12,10	11,10	12,60

Position 2:

	amp#2_nb	amp#2_15an	amp#2_15ab	amp#2_0
Mittelwert	6,9750	6,6667	6,6333	6,9250
Standardfehler des Mittelwertes	0,85848	0,86588	0,87761	0,91272
Median	6,3000	6,1500	5,9500	5,7500
Standardabweichung	2,97386	2,99949	3,04014	3,16174
Varianz	8,844	8,997	9,242	9,997
Spannweite	9,00	9,00	9,00	9,90
Minimum	2,50	2,40	2,20	2,40
Maximum	11,50	11,40	11,20	12,30

Tab. 5-20: Deskriptive Statistik – Amplitudenhöhe

5.2.5.2 Fläche unter der Amplitude in x^2 (n = 12)

Position 1:

	fl#1_nb	fl#1_15an	fl#1_15ab	fl#1_0
Mittelwert	21,4917	19,8083	19,7500	20,2750
Standardfehler des Mittelwertes	2,04511	2,23415	2,05199	2,18858
Median	20,8000	18,6500	18,7500	19,1500
Standardabweichung	7,08448	7,73933	7,10832	7,58145
Varianz	50,190	59,897	50,528	57,478
Spannweite	24,50	26,30	23,20	25,60
Minimum	8,60	7,20	7,40	7,60
Maximum	33,10	33,50	30,60	33,20

Position 2:

	fl#2_nb	fl#2_15an	fl#2_15ab	fl#2_0
Mittelwert	20,9750	18,9583	18,6750	19,2250
Standardfehler des Mittelwertes	2,21223	2,26353	2,21808	2,17305
Median	20,8500	17,0500	18,4500	19,2500
Standardabweichung	7,66339	7,84109	7,68365	7,52766
Varianz	58,728	61,483	59,038	56,666
Spannweite	26,00	25,60	24,50	25,20
Minimum	8,10	6,90	6,90	7,30
Maximum	34,10	32,50	31,40	32,50

Tab. 5-21: Deskriptive Statistik – Fläche unter der Amplitude

5.2.5.3 Dauer der Amplitude in ms (n = 12)

Position 1:

	dau#1_nb	dau#1_15an	dau#1_15ab	dau#1_0
Mittelwert	17,6583	17,5750	17,1917	17,8500
Standardfehler des Mittelwertes	1,17824	0,52630	0,58601	0,51190
Median	18,8500	17,6000	17,1500	17,6500
Standardabweichung	4,08155	1,82315	2,02998	1,77329
Varianz	16,659	3,324	4,121	3,145
Spannweite	14,80	6,20	7,40	6,30
Minimum	6,90	14,60	13,20	14,30
Maximum	21,70	20,80	20,60	20,60

Position 2:

	dau#2_nb	dau#2_15an	dau#2_15ab	dau#2_0
Mittelwert	15,7833	16,1083	15,6000	16,0417
Standardfehler des Mittelwertes	1,43257	0,98700	0,94452	0,87538
Median	17,2000	17,0000	16,5000	16,7500
Standardabweichung	4,96256	3,41905	3,27192	3,03239
Varianz	24,627	11,690	10,705	9,195
Spannweite	15,70	13,10	12,20	11,60
Minimum	5,00	6,50	7,10	7,30
Maximum	20,70	19,60	19,30	18,90

Tab. 5-22: Deskriptive Statistik – Dauer der Amplitude

5.2.5.4 Nervenleitgeschwindigkeit in m/s (n = 12)

	nlgmot_nb	nlgmot_15an	nlgmot_15ab	nlgmot_0
Mittelwert	58,9167	59,2500	59,7083	58,0333
Standardfehler des Mittelwertes	1,20948	1,32359	1,37331	0,75401
Median	58,6500	58,5500	59,6500	58,2000
Standardabweichung	4,18978	4,58505	4,75728	2,61198
Varianz	17,554	21,023	22,632	6,822
Spannweite	15,00	13,80	16,80	9,90
Minimum	52,10	53,30	52,10	52,30
Maximum	67,10	67,10	68,90	62,20

Tab. 5-23: Deskriptive Statistik – Nervenleitgeschwindigkeit

5.2.6 F-Welle bei Reinsauerstoffatmung

5.2.6.1 M-Latenz in ms (n = 12)

	mlat_nb	mlat_15an	mlat_15ab	mlat_0
Mittelwert	3,8583	3,8833	3,9333	3,8917
Standardfehler des Mittelwertes	0,21301	0,20257	0,19784	0,21336
Median	3,7500	3,7500	3,8000	3,8500
Standardabweichung	0,73788	0,70173	0,68534	0,73911
Varianz	0,544	0,492	0,470	0,546
Spannweite	2,50	2,50	2,40	2,80
Minimum	2,80	2,80	3,20	2,80
Maximum	5,30	5,30	5,60	5,60

Tab. 5-24: Deskriptive Statistik – M-Latenz

5.2.6.2 Minimale F-Latenz in ms (n = 12)

	fmmin_nb	fmmin_15an	fmmin_15ab	fmmin_0
Mittelwert	27,0250	27,1500	27,0833	27,1833
Standardfehler des Mittelwertes	0,57037	0,49244	0,44685	0,51769
Median	26,7000	26,6500	26,7000	26,6500
Standardabweichung	1,97582	1,70587	1,54792	1,79334
Varianz	3,904	2,910	2,396	3,216
Spannweite	7,10	5,50	5,00	5,80
Minimum	24,30	25,40	25,30	25,20
Maximum	31,40	30,90	30,30	31,00

Tab. 5-25: Deskriptive Statistik – Minimale F-Latenz

5.2.6.3 Maximale F-Latenz in ms (n = 12)

	fmmx_nb	fmmx_15an	fmmx_15ab	fmmx_0
Mittelwert	31,9667	30,8833	32,5750	32,2667
Standardfehler des Mittelwertes	0,72836	0,67799	1,72575	1,65696
Median	31,5000	30,7000	30,6000	30,2000
Standardabweichung	2,52311	2,34863	5,97816	5,73987
Varianz	6,366	5,516	35,738	32,946
Spannweite	8,60	6,40	21,50	20,80
Minimum	28,80	28,20	28,30	28,50
Maximum	37,40	34,60	49,80	49,30

Tab. 5-26: Deskriptive Statistik – Maximale F-Latenz

5.2.6.4 Mittlere F-Latenz in ms (n = 12)

	fmmit_nb	fmmit_15an	fmmit_15ab	fmmit_0
Mittelwert	28,6000	28,5083	28,5250	28,7917
Standardfehler des Mittelwertes	0,50377	0,48092	0,56302	0,58484
Median	28,2000	28,0500	28,2000	28,2000
Standardabweichung	1,74512	1,66595	1,95035	2,02595
Varianz	3,045	2,775	3,804	4,104
Spannweite	6,00	5,80	6,70	6,00
Minimum	26,50	26,50	26,50	26,60
Maximum	32,50	32,30	33,20	32,60

Tab. 5-27: Deskriptive Statistik – Mittlere F-Latenz

5.2.7 Sensible Nervenleitgeschwindigkeit bei Reinsauerstoffatmung

5.2.7.1 Sensible Nervenleitgeschwindigkeit in m/s (n = 12)

Position 1:

	nlgs#1_nb	nlgs#1_15an	nlgs#1_15ab	nlgs#1_0
Mittelwert	58,5833	58,6583	58,3750	56,8250
Standardfehler des Mittelwertes	1,99901	2,11196	1,72095	1,92216
Median	58,6500	58,6500	57,8500	58,6500
Standardabweichung	6,92477	7,31604	5,96156	6,65857
Varianz	47,952	53,524	35,540	44,337
Spannweite	23,00	23,00	21,30	25,30
Minimum	48,40	48,40	46,90	42,90
Maximum	71,40	71,40	68,20	68,20

Position 2:

	nlgs#2_nb	nlgs#2_15an	nlgs#2_15ab	nlgs#2_0
Mittelwert	60,7583	61,3667	61,9583	62,2000
Standardfehler des Mittelwertes	1,49019	1,34036	1,35727	1,38400
Median	60,3000	60,6000	61,9000	62,6000
Standardabweichung	5,16218	4,64314	4,70173	4,79431
Varianz	26,648	21,559	22,106	22,985
Spannweite	17,10	15,70	15,70	17,40
Minimum	52,70	54,10	54,10	54,90
Maximum	69,80	69,80	69,80	72,30

Tab. 5-28: Deskriptive Statistik – Sensible Nervenleitgeschwindigkeit

5.2.7.2 Sensible Amplitudenhöhe in mV (n = 12)

Position 1:

	amps#1_nb	amps#1_15an	amps#1_15ab	amps#1_0
Mittelwert	16,8000	18,0500	15,0750	14,8583
Standardfehler des Mittelwertes	2,71787	3,17463	2,23299	2,35608
Median	14,0000	15,0000	11,5000	11,5000
Standardabweichung	9,41498	10,99723	7,73529	8,16171
Varianz	88,642	120,939	59,835	66,614
Spannweite	26,70	39,40	20,00	23,80
Minimum	4,30	3,60	7,00	6,20
Maximum	31,00	43,00	27,00	30,00

Position 2:

	amps#2_nb	amps#2_15an	amps#2_15ab	amps#2_0
Mittelwert	9,4833	9,7417	9,7500	11,7417
Standardfehler des Mittelwertes	1,00377	1,02258	1,30747	1,66121
Median	9,2000	9,2500	8,2500	10,2000
Standardabweichung	3,47715	3,54233	4,52920	5,75460
Varianz	12,091	12,548	20,514	33,115
Spannweite	13,50	11,60	14,30	21,20
Minimum	3,50	4,40	4,70	6,80
Maximum	17,00	16,00	19,00	28,00

Tab. 5-29: Deskriptive Statistik – Sensible Amplitudenhöhe

5.2.7.3 Sensible Distale Latenz in ms (n = 12)

Position 1:

	lats#1_nb	lats#1_15an	lats#1_15ab	lats#1_0
Mittelwert	3,3833	3,3750	3,4250	3,4833
Standardfehler des Mittelwertes	0,12050	0,12005	0,11489	0,12663
Median	3,3000	3,2500	3,3500	3,4500
Standardabweichung	0,41742	0,41588	0,39801	0,43866
Varianz	0,174	0,173	0,158	0,192
Spannweite	1,50	1,40	1,30	1,60
Minimum	2,70	2,70	2,80	2,80
Maximum	4,20	4,10	4,10	4,40

Position 2:

	lats#2_nb	lats#2_15an	lats#2_15ab	lats#2_0
Mittelwert	7,4250	7,3833	7,3333	7,4083
Standardfehler des Mittelwertes	0,17194	0,16322	0,16392	0,17942
Median	7,4000	7,3000	7,3500	7,2500
Standardabweichung	0,59563	0,56542	0,56782	0,62152
Varianz	0,355	0,320	0,322	0,386
Spannweite	2,00	1,90	1,90	2,20
Minimum	6,50	6,50	6,50	6,40
Maximum	8,50	8,40	8,40	8,60

Tab. 5-30: Deskriptive Statistik – Sensible Distale Latenz in ms

5.3 Statistische Überprüfung auf Vorliegen einer Normalverteilung

5.3.1 Biometrische Daten

5.3.1.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	Körpergröße	Gewicht	BMI	Alter
Chi-Quadrat	11,400 ^a	3,080 ^b	3,080 ^b	10,880 ^c
df	13	17	17	12
Asymptotische Signifikanz	0,577	1,000	1,000	0,539

a. Bei 14 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,8.

b. Bei 18 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,4.

c. Bei 13 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,9.

Tab. 5-31: χ^2 -Test, biometrische Daten

5.3.1.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest

		Größe	Gewicht	BMI	Alter
N		25	25	25	25
Parameter der Normalverteilung^{a, b}	Mittelwert	177,40	86,40	27,2044	43,52
	Standardabweichung	8,869	19,324	4,28907	12,768
Extremste Differenzen	Absolut	0,225	0,108	0,137	0,162
	Positiv	0,225	0,108	0,087	0,162
	Negativ	-0,092	-0,079	-0,137	-0,161
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,124	0,541	0,683	0,810
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,160	0,931	0,739	0,527

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung

b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-32: K-S-Test, biometrische Daten

5.3.2 NLG, Stimulus (ma)

5.3.2.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	ma#1_nb	ma#1_15an	ma#1_15ab	ma#1_0	ma#2_nb	ma#2_15an	ma#2_15ab	ma#2_0
Chi-Quadrat	0,000 ^f	0,000 ^f	0,000 ^f	0,000 ^f	0,000 ^f	0,000 ^f	0,920 ^g	0,000 ^f
df	24	24	24	24	24	24	23	24
Asymptotische Signifikanz	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1

f. Bei 25 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.

g. Bei 24 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.

Tab. 5-33: χ^2 -Test, Stimulus

5.3.2.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		ma#1_nb	ma#1_15an	ma#1_15ab	ma#1_0	ma#2_nb	ma#2_15an	ma#2_15ab	ma#2_0
N		25	25	25	25	25	25	25	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	25,669	31,138	26,88	25,279	33,814	37,938	32,1612	29,272
	Stan-dardabweichung	11,7851	18,6343	14,5725	15,025	16,7614	19,5964	17,7023	9,7567
Extremste Differenzen	Absolut	0,149	0,276	0,187	0,169	0,135	0,179	0,157	0,130
	Positiv	0,149	0,276	0,187	0,169	0,135	0,179	0,157	0,130
	Negativ	-0,091	-0,165	-0,142	-0,156	-0,122	-0,114	-0,150	-0,072
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,745	1,378	0,937	0,846	0,676	0,897	0,785	0,652
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,636	0,045	0,344	0,472	0,751	0,397	0,568	0,79

- a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-34: K-S-Test, Stimulus

Die Stromstärke des Stimulus folgt grenzwertig einer Normalverteilung.

5.3.3 NLG, Distale motorische Latenz (dlat)

5.3.3.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	dlat#1_nb	Dlat#1_15an	dlat#1_15ab	dlat#1_0	dlat#2_nb	dlat#2_15an	dlat#2_15ab	dlat#2_0
Chi-Quadrat	11,920 ^c	8,800 ^c	6,920 ^a	10,280 ^a	5,600 ^h	3,120 ⁱ	4,520 ^b	6,360 ^j
df	12	12	13	13	16	18	17	15
Asymptotische Signifikanz	0,452	0,720	0,906	0,671	0,992	1,000	0,999	0,973

- c. Bei 13 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,9.
a. Bei 14 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,8.
h. Bei 17 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,5.
i. Bei 19 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,3.
b. Bei 18 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,4.
j. Bei 16 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,6.

Tab. 5-35: χ^2 -Test, distale motorische Latenz

5.3.3.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		dlat#1_nb	dlat#1_15an	dlat#1_15ab	dlat#1_0	dlat#2_nb	dlat#2_15an	dlat#2_15ab	dlat#2_0
N		25	25	25	25	25	25	25	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	3,5600	3,5400	3,5480	3,5720	7,6520	7,6840	7,6200	7,6920
	Standardabweichung	0,50332	0,55603	0,60767	0,5997	0,73718	0,85180	0,78740	0,80048
Extremste Differenzen	Absolut	0,147	0,209	0,226	0,188	0,118	0,113	0,115	0,126
	Positiv	0,147	0,209	0,226	0,188	0,118	0,113	0,115	0,126
	Negativ	-0,095	-0,094	-0,103	-0,130	-0,070	-0,072	-0,068	-0,070
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,737	1,043	1,130	0,939	0,592	0,563	0,573	0,632
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,649	0,226	0,156	0,341	0,874	0,909	0,897	0,82

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-36: K-S-Test, distale motorische Latenz

Die distale motorische Latenz folgt einer Normalverteilung.

5.3.4 NLG, Höhe der Amplitude (amp)

5.3.4.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	amp#1_nb	Amp#1_15an	amp#1_15ab	amp#1_0	amp#2_nb	amp#2_15an	amp#2_15ab	amp#2_0
Chi-Quadrat	2,720 ^k	4,000 ^l	0,920 ^g	0,920 ^g	1,680 ^m	0,917 ⁿ	0,000 ^f	0,920 ^g
df	20	20	23	23	22	22	24	23
Asymptotische Signifikanz	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

g. Bei 24 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.

k. Bei 21 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,2.

l. Bei 21 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.

f. Bei 25 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.

g. Bei 24 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.

m. Bei 23 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.

n. Bei 23 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.

Tab. 5-37: χ^2 -Test, Höhe der Amplitude

5.3.4.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		amp#1_nb	amp#1_15an	amp#1_15ab	amp#1_0	amp#2_nb	amp#2_15an	amp#2_15ab	amp#2_0
N		25	24	25	25	25	24	25	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	6,6560	6,0917	6,3320	6,8680	6,5760	5,7875	5,8760	6,6000
	Standardabweichung	2,78300	2,75979	2,77740	3,2585	2,89141	2,54102	2,61140	3,2825
Extremste Differenzen	Absolut	0,115	0,137	0,122	0,131	0,190	0,128	0,126	0,161
	Positiv	0,115	0,137	0,122	0,131	0,190	0,128	0,126	0,161
	Negativ	-0,087	-0,068	-0,094	-0,094	-0,084	-0,100	-0,092	-0,092
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,573	0,669	0,609	0,656	0,952	0,629	0,628	0,803
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,898	0,762	0,852	0,783	0,325	0,824	0,825	0,540

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-38: K-S-Test, Höhe der Amplitude

Die Höhe der Amplitude folgt einer Normalverteilung.

5.3.5 NLG, Fläche unter der Amplitude (fl)

5.3.5.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	fl#1_nb	fl#1_15an	fl#1_15ab	fl#1_0	fl#2_nb	fl#2_15an	fl#2_15ab	fl#2_0
Chi-Quadrat	0,000 ^f	1,680 ^m	1,680 ^m	0,000 ^f	0,000 ^f	2,720 ^k	0,920 ^g	1,680 ^m
df	24	22	22	24	24	20	23	22
Asymptotische Signifikanz	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

f. Bei 25 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.

g. Bei 24 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.

k. Bei 21 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,2.

m. Bei 23 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.

Tab. 5-39: χ^2 -Test, Fläche unter der Amplitude

5.3.5.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		fl#1_nb	fl#1_15an	fl#1_15ab	fl#1_0	fl#2_nb	fl#2_15an	fl#2_15ab	fl#2_0
N		25	25	25	25	25	25	25	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	20,216	16,5920	18,3400	19,2160	19,6240	15,7440	17,4640	18,5520
	Standardabweichung	7,6793	8,10622	8,04757	8,58403	7,77315	7,20845	7,66697	8,78683
Extremste Differenzen	Absolut	0,096	0,112	0,136	0,093	0,105	0,161	0,136	0,133
	Positiv	0,055	0,089	0,127	0,093	0,105	0,141	0,136	0,133
	Negativ	-0,096	-0,112	-0,136	-0,071	-0,092	-0,161	-0,091	-0,083
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,480	0,559	0,681	0,466	0,523	0,805	0,678	0,665
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,975	0,913	0,743	0,982	0,947	0,536	0,748	0,769

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-40: K-S-Test, Fläche unter der Amplitude

Die Fläche unter der Amplitude folgt einer Normalverteilung.

5.3.6 NLG, Dauer der Amplitude (dau)

5.3.6.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	dau#1_nb	Dau#1_15an	dau#1_15ab	dau#1_0	dau#2_nb	dau#2_15an	dau#2_15ab	dau#2_0
Chi-Quadrat	0,920 ^g	2,720 ^k	3,000 ^o	2,720 ^k	2,720 ^k	3,000 ^o	2,720 ^k	2,280 ^p
df	23	20	19	20	20	19	20	21
Asymptotische Signifikanz	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

k. Bei 21 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,2.

o. Bei 20 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,3.

p. Bei 22 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.

g. Bei 24 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.

Tab. 5-41: χ^2 -Test, Dauer der Amplitude

5.3.6.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		dau#1_nb	dau#1_15an	dau#1_15ab	dau#1_0	Dau#2_nb	dau#2_15an	dau#2_15ab	dau#2_0
N		25	25	25	25	25	25	25	25
Parameter der	Mittelwert	17,4360	16,2680	16,5320	17,3320	16,3120	15,8040	15,7640	16,2720
Normalverteilung^{a,b}	Standardabweichung	3,25984	3,69456	2,49110	2,31925	3,72752	2,89302	2,78297	2,82216
Extremste Differenzen	Absolut	0,143	0,229	0,159	0,160	0,160	0,114	0,166	0,148
	Positiv	0,060	0,110	0,103	0,089	0,121	0,078	0,102	0,099
	Negativ	-0,143	-0,229	-0,159	-0,160	-0,160	-0,114	-0,166	-0,148
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,713	1,145	0,794	0,799	0,801	0,572	0,829	0,741
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,689	0,145	0,555	0,545	0,543	0,899	0,498	0,642

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-42: K-S-Test, Dauer der Amplitude

Die Dauer der Amplitude folgt einer Normalverteilung.

5.3.7 Motorische Nervenleitgeschwindigkeit (nlgmot)

5.3.7.1 Qui-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	nlgmot_nb	nlgmot_15an	nlgmot_15ab	nlgmot_0
Chi-Quadrat	2,280 ^p	2,280 ^p	0,920 ^g	3,000 ^o
df	21	21	23	19
Asymptotische Signifikanz	1,000	1,000	1,000	1,000

g. Bei 24 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.

o. Bei 20 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,3.

p. Bei 22 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.

Tab. 5-43: χ^2 -Test, motorische Nervenleitgeschwindigkeit

5.3.7.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		nlgmot_nb	Nlgmot_15an	nlgmot_15ab	nlgmot_0
N		25	25	25	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	59,4960	58,9400	59,7680	59,0080
	Standardabweichung	4,00952	4,65063	4,18118	3,56790
Extremste Differenzen	Absolut	0,111	0,115	0,059	0,070
	Positiv	0,074	0,087	0,059	0,070
	Negativ	-0,111	-0,115	-0,051	-0,064
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,577	0,553	0,577	0,352
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,893	0,920	0,893	1,000

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-44: K-S-Test, motorische Nervenleitgeschwindigkeit

Die motorische Nervenleitgeschwindigkeit folgt einer Normalverteilung.

5.3.8 F-Welle, Penetranz (pers)

5.3.8.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	pers_nb	pers_15an	pers_15ab	pers_0
Chi-Quadrat	9,800 ^y	6,200 ^z	4,200 ^y	11,000 ^z
df	9	11	9	11
Asymptotische Signifikanz	0,367	0,860	0,898	0,443

y. Bei 10 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 2,5.

z. Bei 12 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 2,1.

Tab. 5-45: χ^2 -Test, Penetranz der F-Welle

5.3.8.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		pers_nb	Pers_15an	pers_15ab	pers_0
N		25	25	25	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	16,9200	15,2800	15,8800	15,4400
	Standardabweichung	2,59679	4,58730	3,53930	3,06974
Extremste Differenzen	Absolut	0,181	0,166	0,144	0,174
	Positiv	0,118	0,152	0,122	0,083
	Negativ	-0,181	-0,166	-0,144	-0,174
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,906	0,831	0,721	0,872
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,384	0,495	0,676	0,433

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-46: K-S-Test, Penetranz der F-Welle

Die Penetranz der F-Welle folgt einer Normalverteilung.

5.3.9 F-Welle, M-Latenz (mlat)

5.3.9.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	mlat_nb	mlat_15an	mlat_15ab	mlat_0
Chi-Quadrat	6,360 ^j	8,920 ^j	7,250 ^w	3,800 ^j
df	15	15	14	15
Asymptotische Signifikanz	0,973	0,882	0,925	0,998

j. Bei 16 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,6.

w. Bei 15 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,6.

Tab. 5-47: χ^2 -Test, M-Latenz

5.3.9.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		mlat_nb	mlat_15an	mlat_15ab	mlat_0
N		25	25	24	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	3,6640	3,7080	3,7000	3,6480
	Standardabweichung	0,63893	0,62110	0,61715	0,65962
Extremste Differenzen	Absolut	0,099	0,201	0,144	0,111
	Positiv	0,099	0,201	0,144	0,111
	Negativ	-0,084	-0,087	-0,124	-0,083
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,497	1,006	0,705	0,556
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,966	0,264	0,702	0,917

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
 b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-48: K-S-Test, M-Latenz

Die M-Latenz der F-Welle folgt einer Normalverteilung.

5.3.10 F-Welle, F-Latenzen (fmin, fmax, fmit)

5.3.10.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	fmmin_nb	fmmin_15an	fmmin_15ab	fmmin_0	fmmax_nb	fmmax_15an	fmmax_15ab	fmmax_0	fmit_nb	fmit_15an	fmit_15ab	fmit_0
Chi-Quadrat	4,040 ^p	3,000 ^o	4,500 ^s	4,640 ⁱ	0,920 ^g	4,333 ^{aa}	0,917 ⁿ	4,400 ^k	3,000 ^o	2,720 ^k	1,667 ^r	3,000 ^o
df	21	19	17	18	23	19	22	20	19	20	21	19
Asymptotische Signifikanz	1,000	1,000	0,999	0,999	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1

- g. Bei 24 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.
- i. Bei 19 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,3.
- o. Bei 20 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,3.
- s. Bei 18 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,3.
- aa. Bei 20 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,2.
- k. Bei 21 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,2.
- n. Bei 23 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.
- r. Bei 22 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.
- p. Bei 22 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.

Tab. 5-49: χ^2 -Test, F-Latenzen

5.3.10.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		fmmin_nb	fmmin_15an	fmmin_15ab	fmmin_0	fmmx_nb	fmmx_15an	fmmx_15ab	fmmx_0	fmmit_nb	fmmit_15an	fmmit_15ab	fmmit_0
N		25	25	24	25	25	24	24	25	25	25	24	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	26,792	26,844	26,5667	26,8880	30,9280	30,4333	31,0125	31,800	28,212	28,6280	28	28,356
	Standardabweichung	1,9983	1,6983	1,71202	1,87268	2,86291	2,41277	4,76092	5,86124	2,0204	2,37847	2,03192	2,1032
Extremste Differenzen	Absolut	0,138	0,110	0,108	0,159	0,106	0,106	0,189	0,249	0,102	0,161	0,134	0,142
	Positiv	0,138	0,110	0,108	0,159	0,106	0,106	0,189	0,249	0,102	0,161	0,134	0,142
	Negativ	-0,087	-0,060	-0,096	-0,092	-0,086	-0,102	-0,159	-0,167	-0,051	-0,087	-0,064	-0,086
Kolmogorov-Smirnov-Z Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,689	0,548	0,531	0,794	0,530	0,521	0,925	1,243	0,512	0,807	0,656	0,712
		0,730	0,925	0,940	0,554	0,941	0,949	0,360	0,091	0,956	0,532	0,783	0,691

- a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
- b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-50: K-S-Test, F-Latenzen

Die Latenzen der F-Welle folgen einer Normalverteilung.

5.3.11 Sensible Nervenleitgeschwindigkeit (snlg)

5.3.11.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	nlg#1_nb	nlg#1_15an	nlg#1_15ab	nlg#1_0	nlg#2_nb	nlg#2_15an	nlg#2_15ab	nlg#2_0
Chi-Quadrat	4,400 ^k	4,500 ^q	4,640 ⁱ	7,400 ^b	0,000 ^f	1,667 ^r	2,250 ^l	0,920 ^g
df	20	18	18	17	24	21	20	23
Asymptotische Signifikanz	1,000	0,999	0,999	0,978	1,000	1,000	1,000	1,000

- g. Bei 24 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.
- k. Bei 21 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,2.
- q. Bei 19 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,3.
- b. Bei 18 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,4.
- f. Bei 25 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,0.
- i. Bei 19 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,3.
- l. Bei 21 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.
- r. Bei 22 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.

Tab. 5-51: χ^2 -Test, sensible NLG

5.3.11.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		nlgs#1_nb	nlgs#1_15an	nlgs#1_15ab	nlgs#1_0	nlgs#2_nb	nlgs#2_15an	nlgs#2_15ab	nlgs#2_0
N		25	24	25	25	25	24	24	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	58,7400	59,0833	58,8520	58,2240	59,5320	62,0250	62,2083	62,2000
	Standardabweichung	6,11181	6,57873	5,48506	6,53671	6,97613	4,01283	4,08315	4,48284
Extremste Differenzen	Absolut	0,113	0,099	0,156	0,141	0,155	0,110	0,116	0,083
	Positiv	0,113	0,086	0,114	0,141	0,104	0,110	0,116	0,083
	Negativ	-0,079	-0,099	-0,156	-0,110	-0,155	-0,074	-0,102	-0,060
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,565	0,486	0,778	0,706	0,777	0,540	0,568	0,415
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,907	0,972	0,580	0,702	0,583	0,932	0,903	0,995

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-52: K-S-Test, sensible NLG

Die sensible Nervenleitgeschwindigkeit folgt einer Normalverteilung.

5.3.12 Sensible Amplitudenhöhe (amps)

5.3.12.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	amps#1_nb	amps#1_15an	amps#1_15ab	amps#1_0	amps#2_nb	amps#2_15an	amps#2_15ab	amps#2_0
Chi-Quadrat	2,720 ^k	4,500 ^s	7,680 ^j	1,680 ^m	3,120 ⁱ	5,750 ^t	2,250 ^l	12,400 ^h
df	20	17	18	22	18	16	20	16
Asymptotische Signifikanz	1,000	0,999	0,983	1,000	1,000	0,991	1,000	0,716

h. Bei 17 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,5.

i. Bei 19 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,3.

l. Bei 21 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.

t. Bei 17 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,4.

k. Bei 21 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,2.

m. Bei 23 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,1.

s. Bei 18 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,3.

Tab. 5-53: χ^2 -Test, sensible Amplitudenhöhe

5.3.12.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		amps#1_ nb	amps#1_ 15an	amps#1_ 15ab	amps#1_ 0	amps#2_ nb	amps#2_ 15an	amps#2_ 15ab	amps#2_ 0
N		25	24	25	25	25	24	24	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	17,0840	17,5875	15,8240	17,1600	9,6680	10,2125	10,4167	11,9200
	Standardabweichung	11,98540	9,75020	8,83479	9,05446	4,25066	3,88982	5,90929	6,04883
Extremste Differenzen	Absolut	0,176	0,191	0,227	0,157	0,156	0,132	0,204	0,200
	Positiv	0,176	0,191	0,227	0,157	0,156	0,132	0,204	0,200
	Negativ	-0,143	-0,083	-0,102	-0,086	-0,121	-0,068	-0,128	-0,119
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,880	0,938	1,137	0,785	0,779	0,647	1,000	1,002
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,421	0,342	0,151	0,568	0,579	0,796	0,270	0,268

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

Tab. 5-54: K-S-Test, sensible Amplitudenhöhe

Die sensible Amplitudenhöhe folgt einer Normalverteilung.

5.3.13 Sensible distale Latenz (lats)

5.3.13.1 Chi-Quadrat-Test (χ^2 -Test)

	lats#1_nb	lats#1_15an	lats#1_15ab	lats#1_0	lats#2_nb	lats#2_15an	lats#2_15ab	lats#2_0
Chi-Quadrat	9,840 ^c	13,583 ^u	8,000 ^d	7,040 ^v	5,800 ^a	4,750 ^w	6,333 ^x	8,920 ^l
df	12	10	10	8	13	14	13	15
Asymptotische Signifikanz	0,630	0,193	0,629	0,532	0,953	0,989	0,933	0,882

c. Bei 13 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,9.

a. Bei 14 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,8.

d. Bei 11 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 2,3.

u. Bei 11 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 2,2.

v. Bei 9 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 2,8.

w. Bei 15 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,6.

j. Bei 16 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,6.

x. Bei 14 Zellen (100,0%) werden weniger als 5 Häufigkeiten erwartet. Die kleinste erwartete Zellenhäufigkeit ist 1,7.

Tab. 5-55: χ^2 -Test, sensible distale Latenz

5.3.13.2 Kolmogorov-Smirnov-Test (K-S-Test)

		lats#1_nb	lats#1_15an	lats#1_15ab	lats#1_0	lats#2_nb	lats#2_15an	lats#2_15ab	lats#2_0
N		25	24	25	25	25	24	24	25
Parameter der Normalverteilung^{a,b}	Mittelwert	3,2920	3,2958	3,3080	3,3400	7,3360	7,2792	7,2250	7,3040
	Standardabweichung	0,36847	0,35445	0,35814	0,37417	0,61093	0,55871	0,54073	0,58912
Extremste Differenzen	Absolut	0,131	0,190	0,159	0,164	0,130	0,140	0,133	0,155
	Positiv	0,131	0,190	0,159	0,164	0,130	0,140	0,133	0,155
	Negativ	-0,078	-0,124	-0,081	-0,106	-0,079	-0,092	-0,089	-0,109
Kolmogorov-Smirnov-Z		0,657	0,930	0,797	0,818	0,652	0,684	0,652	0,777
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,782	0,352	0,550	0,515	0,789	0,737	0,789	0,582

Tab. 5-56: K-S-Test, sensible distale Latenz

Die sensible distale Latenz folgt einer Normalverteilung.

5.4 Statistische Datenanalyse

5.4.1 Wilcoxon-Test, nicht parametrischer Test

5.4.1.1 1. Messung an der Oberfläche (_nb) verglichen mit 2. Messung auf 2,5 bar (_15an).

Statistik für Test^c

	dlat#1_15an - dlat#1_nb	dlat#2_15an - dlat#2_nb	amp#1_15an - amp#1_nb	amp#2_15an - amp#2_nb	fl#1_15an - fl#1_nb
Z	-0,286 ^a	-0,670 ^b	-1,420 ^a	-3,096 ^a	-3,459 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,775	0,503	0,156	0,002	0,001
	fl#2_15an - fl#2_nb	dau#1_15an - dau#1_nb	dau#2_15an - dau#2_nb	nlgmot_15an - nlgmot_nb	nlgs#1_15an - nlgs#1_nb
Z	-3,915 ^a	-2,720 ^a	-2,129 ^a	-0,710 ^a	-0,440 ^b
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,000	0,007	0,033	0,478	0,660
	nlgs#2_15an - nlgs#2_nb	amps#1_15an - amps#1_nb	amps#2_15an - amps#2_nb	lats#1_15an - lats#1_nb	lats#2_15an - lats#2_nb
Z	-0,803 ^b	-1,201 ^b	-0,380 ^b	-0,474 ^b	-0,426 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,422	0,230	0,704	0,635	0,670
	mlat_15an - mlat_nb	fmmin_15an - fmmin_nb	fmmax_15an - fmmax_nb	fmmit_15an - fmmit_nb	
Z	-0,675 ^b	-0,114 ^a	-1,215 ^a	-0,179 ^a	
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,500	0,909	0,224	0,858	

a. Basiert auf negativen Rängen.

b. Basiert auf positiven Rängen.

c. Wilcoxon-Test

Tab. 5-57: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 1. und 2. Messung ohne Sauerstoff

Der Wilcoxon-Test weist eine signifikante Abweichung der Nullhypothese für die Variable „Höhe der Amplitude in Position 2“ (Irrtumswahrscheinlichkeit: 0,2 %), „Fläche unter der Amplitude in der Position 1“ (Irrtumswahrscheinlichkeit: 0,1 %), „Fläche unter der Amplitude in der Position 2“ (Irrtumswahrscheinlichkeit: 0 %) und für die Variable „Dauer der Amplitude in der Position 1“ (Irrtumswahrscheinlichkeit: 0,7 %), beim Vergleich der Stichproben „_nb“ zu „_15an“ auf.

5.4.1.2 2. Messung auf 2,5 bar (_15an) verglichen mit 3. Messung auf 2,5 bar (_15ab) nach 55 Minuten ohne Sauerstoff.

Statistik für Test^d

	dlat#1_15ab - dlat#1_15an	dlat#2_15ab - dlat#2_15an	amp#1_15ab - amp#1_15an	amp#2_15ab - amp#2_15an	fl#1_15ab - fl#1_15an
Z	-0,819 ^a	-0,261 ^b	-1,284 ^b	-0,654 ^b	-0,549 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,413	0,794	0,199	0,513	0,583
	fl#2_15ab - fl#2_15an	dau#1_15ab - dau#1_15an	dau#2_15ab - dau#2_15an	nlgmot_15ab - nlgmot_15an	nlgs#1_15ab - nlgs#1_15an
Z	-0,874 ^a	-0,175 ^b	-0,105 ^a	-0,549 ^a	0,000 ^c
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,382	0,861	0,916	0,583	1,000
	nlgs#2_15ab - nlgs#2_15an	amps#1_15ab - amps#1_15an	amps#2_15ab - amps#2_15an	lats#1_15ab - lats#1_15an	lats#2_15ab - lats#2_15an
Z	-0,255 ^b	-0,628 ^b	-0,178 ^a	-0,250 ^b	-1,146 ^b
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,799	0,530	0,859	0,803	0,252
	mlat_15ab - mlat_15an	fmmin_15ab - fmmin_15an	fmmax_15ab - fmmax_15an	fmmit_15ab - fmmit_15an	
Z	-0,613 ^b	-1,201 ^b	-0,223 ^b	-1,653 ^b	
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,540	0,230	0,824	0,098	

a. Basiert auf negativen Rängen.

b. Basiert auf positiven Rängen.

d. Wilcoxon-Test

Tab. 5-58: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 2. und 3. Messung ohne Sauerstoff

Der Wilcoxon-Test weist für die Variablen der Nervenleitfähigkeit keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese auf.

5.4.1.3 2. Messung auf 2,5 bar (_15an) verglichen mit 3. Messung auf 2,5 bar (_15ab) nach 55 Minuten mit Sauerstoff.

Statistik für Test^c

	dlat#1_15ab - dlat#1_15an	dlat#2_15ab - dlat#2_15an	amp#1_15ab - amp#1_15an	amp#2_15ab - amp#2_15an	fl#1_15ab - fl#1_15an
Z	-0,956 ^a	-2,807 ^a	-0,673 ^b	-0,513 ^b	-0,039 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,339	0,005	0,501	0,608	0,969
	fl#2_15ab - fl#2_15an	dau#1_15ab - dau#1_15an	dau#2_15ab - dau#2_15an	nlgmot_15ab - nlgmot_15an	nlgs#1_15ab - nlgs#1_15an
Z	-0,089 ^b	-1,257 ^a	-1,414 ^a	-0,408 ^b	-0,169 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,929	0,209	0,157	0,683	0,866
	nlgs#2_15ab - nlgs#2_15an	amps#1_15ab - amps#1_15an	amps#2_15ab - amps#2_15an	lats#1_15ab - lats#1_15an	lats#2_15ab - lats#2_15an
Z	-1,542 ^b	-1,098 ^a	-0,157 ^b	-1,511 ^b	-1,150 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,123	0,272	0,875	0,131	0,250
	mlat_15ab - mlat_15an	fmmin_15ab - fmmin_15an	fmmax_15ab - fmmax_15an	fmmit_15ab - fmmit_15an	
Z	-0,562 ^b	-0,805 ^a	-0,746 ^b	-0,580 ^a	
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,574	0,421	0,456	0,562	

- a. Basiert auf positiven Rängen.
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Wilcoxon-Test

Tab. 5-59: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 2. und 3. Messung mit Sauerstoff

Der Wilcoxon-Test weist für die Variable „motorische distale Latenz in der Position 2“ bei Sauerstoffatmung beim Vergleich der Stichprobe „15_an“ zu „15_ab“ eine signifikante Abweichung von der Nullhypothese (Irrtumswahrscheinlichkeit: 0,5 %) auf.

5.4.1.4 1. Messung an der Oberfläche (nb) verglichen mit 3. Messung auf 2,5 bar (_15ab) nach 55 Minuten ohne Sauerstoff.

Statistik für Test^d

	dlat#1_15ab - dlat#1_nb	dlat#2_15ab - dlat#2_nb	amp#1_15ab - amp#1_nb	amp#2_15ab - amp#2_nb	fl#1_15ab - fl#1_nb
Z	-0,224 ^a	-0,360 ^a	-1,375 ^b	-2,665 ^b	-1,468 ^b
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,823	0,719	0,169	0,008	0,142
	fl#2_15ab - fl#2_nb	dau#1_15ab - dau#1_nb	dau#2_15ab - dau#2_nb	nlgmot_15ab - nlgmot_nb	nlgs#1_15ab - nlgs#1_nb
Z	-1,782 ^b	-1,257 ^b	-1,491 ^b	-0,196 ^b	-0,392 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,075	0,209	0,136	0,844	0,695
	nlgs#2_15ab - nlgs#2_nb	amps#1_15ab - amps#1_nb	amps#2_15ab - amps#2_nb	lats#1_15ab - lats#1_nb	lats#2_15ab - lats#2_nb
Z	-0,652 ^a	-0,210 ^a	-0,459 ^a	0,000 ^c	-0,404 ^b
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,515	0,834	0,646	1,000	0,686
	mlat_15ab - mlat_nb	fmmin_15ab - fmmin_nb	fmmax_15ab - fmmax_nb	fmmit_15ab - fmmit_nb	
Z	0,000 ^c	-1,061 ^b	-1,453 ^b	-1,263 ^b	
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	1,000	0,289	0,146	0,206	

a. Basiert auf negativen Rängen.

b. Basiert auf positiven Rängen.

d. Wilcoxon-Test

Tab. 5-60: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 1. und 3. Messung ohne Sauerstoff

Der Wilcoxon-Test weist für die Variable „Höhe der Amplitude in der Position 2“ beim Vergleich der Stichprobe „_nb“ zu „_15_ab“ ohne Sauerstoff eine signifikante Abweichung von der Nullhypothese (Irrtumswahrscheinlichkeit: 0,8 %) auf.

5.4.1.5 1. Messung an der Oberfläche (nb) verglichen mit 3. Messung auf 2,5 bar (_15ab) nach 55 Minuten mit Sauerstoff.

Statistik für Test^c

	dlat#1_15ab - dlat#1_nb	dlat#2_15ab - dlat#2_nb	amp#1_15ab - amp#1_nb	amp#2_15ab - amp#2_nb	fl#1_15ab - fl#1_nb
Z	-0,537 ^a	-0,895 ^a	-1,221 ^a	-1,738 ^a	-2,315 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,591	0,371	0,222	0,082	0,021
	fl#2_15ab - fl#2_nb	dau#1_15ab - dau#1_nb	dau#2_15ab - dau#2_nb	nlgmot_15ab - nlgmot_nb	nlg#1_15ab - nlg#1_nb
Z	-2,472 ^a	-1,883 ^a	-1,255 ^a	-1,646 ^b	-0,210 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,013	0,060	0,209	0,100	0,833
	nlg#2_15ab - nlg#2_nb	amps#1_15ab - amps#1_nb	amps#2_15ab - amps#2_nb	lats#1_15ab - lats#1_nb	lats#2_15ab - lats#2_nb
Z	-0,969 ^b	-0,756 ^a	-0,196 ^b	-1,026 ^b	-1,679 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,333	0,450	0,844	0,305	0,093
	mlat_15ab - mlat_nb	fmmin_15ab - fmmin_nb	fmmax_15ab - fmmax_nb	fmmit_15ab - fmmit_nb	
Z	-0,840 ^b	-0,040 ^a	-0,982 ^a	-0,419 ^a	
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,401	0,968	0,326	0,675	

a. Basiert auf positiven Rängen.

b. Basiert auf negativen Rängen.

c. Wilcoxon-Test

Tab. 5-61: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 1. und 3. Messung mit Sauerstoff

Der Wilcoxon-Test weist eine signifikante Abweichung der Nullhypothese für die Variable „Fläche der Amplitude in der Position 1,“ (Irrtumswahrscheinlichkeit: 2,1 %), „Fläche unter der Amplitude in der Position 2“ (Irrtumswahrscheinlichkeit: 1,3 %), beim Vergleich der Stichproben „_nb“ zu „_15_ab“ mit Sauerstoff auf.

5.4.1.6 1. Messung an der Oberfläche (nb) verglichen mit 4. Messung an der Oberfläche 10 Minuten nach dem Auftauchen (_0) ohne Sauerstoff.

Statistik für Test^d

	dlat#1_0 - dlat#1_nb	dlat#2_0 - dlat#2_nb	amp#1_0 - amp#1_nb	amp#2_0 - amp#2_nb	fi#1_0 - fi#1_nb
Z	-0,355 ^a	-0,514 ^a	-0,491 ^a	-0,510 ^b	-0,909 ^b
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,723	0,607	0,623	0,610	0,363
	fi#2_0 - fi#2_nb	dau#1_0 - dau#1_nb	dau#2_0 - dau#2_nb	Nlgs#1_0 - nlgs#1_nb	nlgs#1_0 - nlgs#1_nb
Z	-0,594 ^b	-0,133 ^b	-0,550 ^b	-0,400 ^b	-0,420 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,552	0,894	0,583	0,689	0,674
	nlgs#2_0 - nlgs#2_nb	amps#1_0 - amps#1_nb	amps#2_0 - amps#2_nb	lats#1_0 - lats#1_nb	lats#2_0 - lats#2_nb
Z	-0,934 ^a	-1,020 ^a	-1,647 ^a	-0,103 ^b	-0,715 ^b
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,350	0,308	0,099	0,918	0,474
	mlat_0 - mlat_nb	fmmin_0 - fmmin_nb	fmmax_0 - fmmax_nb	fmmit_0 - fmmit_nb	
Z	-0,592 ^b	0,000 ^c	-0,432 ^a	-0,204 ^a	
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,554	1,000	0,666	0,838	

a. Basiert auf negativen Rängen.

b. Basiert auf positiven Rängen.

d. Wilcoxon-Test

Tab. 5-62: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 1. und 4. Messung ohne Sauerstoff

Der Wilcoxon-Test weist keine signifikanten Abweichungen von der Nullhypothese auf.

5.4.1.7 1. Messung an der Oberfläche (nb) verglichen mit 4. Messung an der Oberfläche 10 Minuten nach dem Auftauchen (_0) mit Sauerstoff.

Statistik für Test^c

	dlat#1_0 - dlat#1_nb	dlat#2_0 - dlat#2_nb	amp#1_0 - amp#1_nb	amp#2_0 - amp#2_nb	fl#1_0 - fl#1_nb
Z	-0,282 ^a	-0,448 ^b	-0,059 ^b	-0,717 ^a	-1,201 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,778	0,654	0,953	0,474	0,230
	fl#2_0 - fl#2_nb	dau#1_0 - dau#1_nb	dau#2_0 - dau#2_nb	nlgmot_0 - nlgmot_nb	nlg#1_0 - nlg#1_nb
Z	-2,043 ^a	-1,020 ^a	-0,902 ^a	-1,335 ^a	-1,540 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,041	0,308	0,367	0,182	0,123
	nlg#2_0 - nlg#2_nb	amps#1_0 - amps#1_nb	amps#2_0 - amps#2_nb	lats#1_0 - lats#1_nb	lats#2_0 - lats#2_nb
Z	-1,824 ^b	-0,756 ^a	-0,785 ^b	-1,992 ^b	-0,241 ^a
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,068	0,450	0,433	0,046	0,809
	mlat_0 - mlat_nb	fmmin_0 - fmmin_nb	fmmax_0 - fmmax_nb	fmmit_0 - fmmit_nb	
Z	-0,211 ^b	-1,109 ^b	-1,100 ^a	-0,589 ^b	
Asymptotische Signifi- kanz (2-seitig)	0,833	0,268	0,272	0,556	

- a. Basiert auf positiven Rängen.
b. Basiert auf negativen Rängen.
c. Wilcoxon-Test

Tab. 5-63: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 1. und 4. Messung mit Sauerstoff

Der Wilcoxon-Test weist eine signifikante Abweichung der Nullhypothese für die Variable „Fläche unter der Amplitude in der Position 2“ (Irrtumswahrscheinlichkeit: 4,1 %), „sensible distale Latenz in der Position 1“ (Irrtumswahrscheinlichkeit: 4,6 %), beim Vergleich der Stichproben „_nb“ zu „_0“ mit Sauerstoff auf.

5.4.2 T-Test für gepaarte Stichproben

Der T-Test setzt eine Normalverteilung voraus. Der T-Test besitzt für alle Stichproben Gültigkeit.

5.4.2.1 2. Messung auf 2,5 bar (_15an) verglichen mit 3. Messung auf 2,5 bar (_15ab) nach 55 Minuten ohne Sauerstoff.

Test bei gepaarten Stichproben

		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paaren 1	dlat#1_15an - dlat#1_15ab	-0,07692	0,28622	0,07938	-0,24989	0,09604	-0,969	12	0,352
Paaren 2	dlat#2_15an - dlat#2_15ab	0,03077	0,19742	0,05475	-0,08853	0,15007	0,562	12	0,584
Paaren 3	amp#1_15an - amp#1_15ab	-0,05833	0,96715	0,27919	-0,67283	0,55616	-0,209	11	0,838
Paaren 4	amp#2_15an - amp#2_15ab	0,05833	0,75973	0,21932	-0,42438	0,54105	0,266	11	0,795
Paaren 5	fl#1_15an - fl#1_15ab	-3,41538	10,58811	2,93661	-9,81372	2,98295	-1,163	12	0,267
Paaren 6	fl#2_15an - fl#2_15ab	-3,56923	8,27057	2,29384	-8,56709	1,42862	-1,556	12	0,146
Paaren 7	dau#1_15an - dau#1_15ab	-0,86154	4,82555	1,33837	-3,77759	2,05451	-0,644	12	0,532
Paaren 8	dau#2_15an - dau#2_15ab	-0,39231	2,33825	0,64852	-1,80530	1,02069	-0,605	12	0,556
Paaren 9	nlgmot_15an - nlgmot_15ab	-1,16923	5,71524	1,58512	-4,62292	2,28445	-0,738	12	0,475
Paaren 10	nlg#1_15an - nlg#1_15ab	0,13333	3,49970	1,01028	-2,09027	2,35693	0,132	11	0,897
Paaren 11	nlg#2_15an - nlg#2_15ab	0,22500	2,63616	0,76099	-1,44993	1,89993	0,296	11	0,773
Paaren 12	amps#1_15an - amps#1_15ab	1,90000	9,42405	2,72049	-4,08776	7,88776	0,698	11	0,499
Paaren 13	amps#2_15an - amps#2_15ab	-0,40000	3,81909	1,10248	-2,82653	2,02653	-0,363	11	0,724
Paaren 14	lats#1_15an - lats#1_15ab	0,00833	0,11645	0,03362	-0,06566	0,08232	0,248	11	0,809
Paaren 15	lats#2_15an - lats#2_15ab	0,05833	0,15050	0,04345	-0,03729	0,15396	1,343	11	0,206
Paaren 16	mlat_15an - mlat_15ab	0,05833	0,35280	0,10185	-0,16583	0,28249	0,573	11	0,578

Tab. 5-64: T-Test, Vergleich zwischen 2. und 3. Messung ohne Sauerstoff

Der T-Test für gepaarte Stichproben weist keine signifikanten Abweichungen von der Nullhypothese für alle Variablen „_15an“ verglichen mit „_15ab“ ohne Sauerstoffatmung auf.

5.4.2.2 2. Messung auf 2,5 bar (_15an) verglichen mit 3. Messung auf 2,5 bar (_15ab) nach 55 Minuten mit Sauerstoff.

		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2-seitig)
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paaren 1	dlat#1_15an - dlat#1_15ab	0,06667	0,20151	0,05817	-0,06137	0,19470	1,146	11	0,276
Paaren 2	dlat#2_15an - dlat#2_15ab	0,10000	0,08528	0,02462	0,04582	0,15418	4,062	11	0,002
Paaren 3	amp#1_15an - amp#1_15ab	0,00000	0,76158	0,21985	-0,48388	0,48388	0,000	11	1,000
Paaren 4	amp#2_15an - amp#2_15ab	0,03333	0,69588	0,20088	-0,40880	0,47547	0,166	11	0,871
Paaren 5	fl#1_15an - fl#1_15ab	0,05833	2,16814	0,62589	-1,31924	1,43590	0,093	11	0,927
Paaren 6	fl#2_15an - fl#2_15ab	0,28333	2,74916	0,79361	-1,46340	2,03007	0,357	11	0,728
Paaren 7	dau#1_15an - dau#1_15ab	0,38333	1,04432	0,30147	-0,28020	1,04686	1,272	11	0,230
Paaren 8	dau#2_15an - dau#2_15ab	0,50833	1,17972	0,34056	-0,24123	1,25789	1,493	11	0,164
Paaren 9	nlgmot_15an - nlgmot_15ab	-0,45833	3,01676	0,87086	-2,37509	1,45842	-0,526	11	0,609
Paaren 10	nlg#1_15an - nlg#1_15ab	0,28333	2,63571	0,76086	-1,39132	1,95798	0,372	11	0,717
Paaren 11	nlg#2_15an - nlg#2_15ab	-0,59167	1,51385	0,43701	-1,55352	0,37019	-1,354	11	0,203
Paaren 12	amps#1_15an - amps#1_15ab	2,97500	8,88616	2,56521	-2,67100	8,62100	1,160	11	0,271
Paaren 13	amps#2_15an - amps#2_15ab	-0,00833	4,05002	1,16914	-2,58159	2,56493	-0,007	11	0,994
Paaren 14	lats#1_15an - lats#1_15ab	-0,05000	0,10871	0,03138	-0,11907	0,01907	-1,593	11	0,139
Paaren 15	lats#2_15an - lats#2_15ab	0,05000	0,14460	0,04174	-0,04187	0,14187	1,198	11	0,256
Paaren 16	mlat_15an - mlat_15ab	-0,05000	0,33979	0,09809	-0,26589	0,16589	-0,510	11	0,620

Tab. 5-65: T-Test Vergleich zwischen 2. und 3. Messung mit Sauerstoff

Der T-Test für gepaarte Stichproben weist hinsichtlich des Mittelwertvergleiches der Variablen „_15an“ verglichen mit „_15ab“ mit Sauerstoffatmung eine signifikante Abweichung von der Nullhypothese in der „distalen Latenz in Position 2“ (Irrtumswahrscheinlichkeit: 0,02 %) auf. Das Ergebnis muss als Trendanalyse verstanden werden.

5.4.3 Friedman-Test

5.4.3.1 Distale Latenz (dlat) (Position 1/2) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
dlat#1_nb	2,15	N	13
dlat#1_15an	1,77	Chi-Quadrat	1,217
dlat#1_15ab	2,08	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,544

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
dlat#2_nb	1,88	N	13
dlat#2_15an	1,96	Chi-Quadrat	0,591
dlat#2_15ab	2,15	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,744

Tab. 5-66: Friedman-Test, Motorische distale Latenz ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.2 Distale Latenz (dlat) (Position 1/2) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
dlat#1_nb	2,00	N	12
dlat#1_15an	2,29	Chi-Quadrat	2,450
dlat#1_15ab	1,71	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,294

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
dlat#2_nb	2,13	N	12
dlat#2_15an	2,38	Chi-Quadrat	6,000
dlat#2_15ab	1,50	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,050

Tab. 5-67: Friedman-Test, Motorische distale Latenz mit Sauerstoffatmung

In der Position 2 zeigt sich eine asymptotische Signifikanz mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5,0 %.

5.4.3.3 Höhe der Amplitude (amp) (Position 1/2) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
amp#1_nb	2,25	Chi-Quadrat	2,864
amp#1_15an	2,13	df	2
amp#1_15ab	1,63	Asymptotische Signifikanz	0,239

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
amp#2_nb	2,79	Chi-Quadrat	12,409
amp#2_15an	1,67	df	2
amp#2_15ab	1,54	Asymptotische Signifikanz	0,002

Tab. 5-68: Friedman-Test, Höhe der Amplitude ohne Sauerstoffatmung

In Position 2 gibt es eine signifikante Abweichung der Nullhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von nur 0,2 %.

5.4.3.4 Höhe der Amplitude (amp) (Position 1/2) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
amp#1_nb	2,42	Chi-Quadrat	3,167
amp#1_15an	1,75	df	2
amp#1_15ab	1,83	Asymptotische Signifikanz	0,205

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
amp#2_nb	2,54	Chi-Quadrat	5,489
amp#2_15an	1,67	df	2
amp#2_15ab	1,79	Asymptotische Signifikanz	0,064

Tab. 5-69: Friedman-Test, Höhe der Amplitude mit Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.5 Fläche unter der Amplitude (fl) (Position 1/2) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
fl#1_nb	2,46	Chi-Quadrat	4,275
fl#1_15an	1,73	df	2
fl#1_15ab	1,81	Asymptotische Signifikanz	0,118

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
fl#2_nb	2,77	Chi-Quadrat	11,692
fl#2_15an	1,54	df	2
fl#2_15ab	1,69	Asymptotische Signifikanz	0,003

Tab. 5-70: Friedman-Test, Fläche unter der Amplitude ohne Sauerstoffatmung

In der Position 2 findet sich eine signifikante Abweichung von der Nullhypothese (Irrtumswahrscheinlichkeit: 0,3 %)

5.4.3.6 Fläche unter der Amplitude (fl) (Position 1/2) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
fl#1_nb	2,58	Chi-Quadrat	6,167
fl#1_15an	1,75	df	2
fl#1_15ab	1,67	Asymptotische Signifikanz	0,046

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
fl#2_nb	2,63	Chi-Quadrat	7,609
fl#2_15an	1,58	df	2
fl#2_15ab	1,79	Asymptotische Signifikanz	0,022

Tab. 5-71: Friedman-Test, Fläche unter der Amplitude mit Sauerstoffatmung

In Position 1 lässt sich eine Abweichung von der Nullhypothese (Irrtumswahrscheinlichkeit 4,6 %), in Position 2 eine Abweichung (Irrtumswahrscheinlichkeit: 2,2 %) ableiten.

5.4.3.7 Dauer der Amplitude (dau) (Position 1/2) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
dau#1_nb	2,50	N	13
dau#1_15an	1,62	Chi-Quadrat	5,451
dau#1_15ab	1,88	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,066

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
dau#2_nb	2,27	N	13
dau#2_15an	1,92	Chi-Quadrat	1,529
dau#2_15ab	1,81	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,465

Tab. 5-72: Friedman-Test, Dauer der Amplitude ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.8 Dauer der Amplitude (dau) (Position 1/2) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
dau#1_nb	2,58	N	13
dau#1_15an	1,92	Chi-Quadrat	5,451
dau#1_15ab	1,50	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,066

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
dau#2_nb	2,27	N	13
dau#2_15an	1,92	Chi-Quadrat	1,529
dau#2_15ab	1,81	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,465

Tab. 5-73: Friedman-Test, Dauer der Amplitude ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.9 Dauer der Amplitude (dau) (Position 1/2) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
dau#1_nb	2,58	N	12
dau#1_15an	1,92	Chi-Quadrat	7,167
dau#1_15ab	1,50	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,028

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
dau#2_nb	2,38	N	12
dau#2_15an	1,88	Chi-Quadrat	2,681
dau#2_15ab	1,75	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,262

Tab. 5-74: Friedman-Test, Dauer der Amplitude mit Sauerstoffatmung

Lediglich in Position 1 zeichnet sich eine Abweichung von der Nullhypothese (Irrtumswahrscheinlichkeit: 2,8 %) ab.

5.4.3.10 Motorische Nervenleitgeschwindigkeit (nlgmot) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
nlgmot_nb	2,35	N	13
nlgmot_15an	1,73	Chi-Quadrat	2,792
nlgmot_15ab	1,92	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,248

Tab. 5-75: Friedman-Test, Motorische Nervenleitgeschwindigkeit ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.11 Motorische Nervenleitgeschwindigkeit (nlgmot) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
nlgmot_nb	1,67	N	12
nlgmot_15an	2,21	Chi-Quadrat	2,333
nlgmot_15ab	2,13	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,311

Tab. 5-76: Friedman-Test, Motorische Nervenleitgeschwindigkeit mit Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.12 F-Welle, M-Latenz (mlat) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
mlat_nb	1,96	N	12
mlat_15an	2,21	Chi-Quadrat	0,977
mlat_15ab	1,83	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,614

Tab. 5-77: Friedman-Test, F-Welle, M-Latenz ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.13 F-Welle, M-Latenz (mlat) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
mlat_nb	2,00	N	12
mlat_15an	1,88	Chi-Quadrat	0,462
mlat_15ab	2,13	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,794

Tab. 5-78: Friedman-Test, F-Welle, M-Latenz mit Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.14 F-Welle, Minimale F-Latenz (fmmin) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
fmmin_nb	2,13	N	12
fmmin_15an	2,08	Chi-Quadrat	0,826
fmmin_15ab	1,79	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,662

Tab. 5-79: Friedman-Test, F-Welle, minimale F-Latenz ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.15 F-Welle, Minimale F-Latenz (fmmin) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
fmmin_nb	2,08	N	12
fmmin_15an	1,96	Chi-Quadrat	0,128
fmmin_15ab	1,96	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,938

Tab. 5-80: Friedman-Test, F-Welle, minimale F-Latenz mit Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.16 F-Welle, Maximale F-Latenz (fmmax) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
fmmax_nb	2,18	N	11
fmmax_15an	1,91	Chi-Quadrat	0,545
fmmax_15ab	1,91	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,761

Tab. 5-81: Friedman-Test, F-Welle, Maximale F-Latenz ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.17 F-Welle, Maximale F-Latenz (fmmax) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
fmmax_nb	2,42	N	12
fmmax_15an	1,58	Chi-Quadrat	4,167
fmmax_15ab	2,00	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,125

Tab. 5-82: Friedman-Test, F-Welle, Maximale F-Latenz mit Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.18 F-Welle, Mittlere F-Latenz (fmmit) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
fmmit_nb	2,04	N	12
fmmit_15an	2,38	Chi-Quadrat	4,233
fmmit_15ab	1,58	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,120

Tab. 5-83: Friedman-Test, F-Welle, Mittlere F-Latenz ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.19 F-Welle, Mittlere F-Latenz (fmmit) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
fmmit_nb	2,04	N	12
fmmit_15an	2,04	Chi-Quadrat	0,146
fmmit_15ab	1,92	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,929

Tab. 5-84: Friedman-Test, F-Welle, Mittlere F-Latenz mit Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.20 Sensible Nervenleitgeschwindigkeit (nlgmot) (Position 1/2) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
Nlgs#1_nb	1,92	N	12
Nlgs#1_15an	2,08	Chi-Quadrat	0,195
Nlgs#1_15ab	2,00	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,907

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
Nlgs#2_nb	2,04	N	12
Nlgs#2_15an	1,83	Chi-Quadrat	0,634
Nlgs#2_15ab	2,13	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,728

Tab. 5-85: Friedman-Test, Sensible Nervenleitgeschwindigkeit ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.21 Sensible Nervenleitgeschwindigkeit (nlgmot) (Position 1/2) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
nlgs#1_nb	2,04	N	12
nlgs#1_15an	2,00	Chi-Quadrat	0,065
nlgs#1_15ab	1,96	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,968

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang		
nlgs#2_nb	1,83	N	12
nlgs#2_15an	1,92	Chi-Quadrat	1,436
nlgs#2_15ab	2,25	df	2
		Asymptotische Signifikanz	0,488

Tab. 5-86: Friedman-Test, Sensible Nervenleitgeschwindigkeit mit Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.22 Sensible Amplitudenhöhe (amps) (Position 1/2) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
amps#1_nb	1,75	Chi-Quadrat	1,500
amps#1_15an	2,25	df	2
amps#1_15ab	2,00	Asymptotische Signifikanz	0,472

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
amps#2_nb	1,79	Chi-Quadrat	1,409
amps#2_15an	2,25	df	2
amps#2_15ab	1,96	Asymptotische Signifikanz	0,494

Tab. 5-87: Friedman-Test, Sensible Amplitudenhöhe ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.23 Sensible Amplitudenhöhe (amps) (Position 1/2) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
amps#1_nb	2,13	Chi-Quadrat	0,809
amps#1_15an	2,08	df	2
amps#1_15ab	1,79	Asymptotische Signifikanz	0,667

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
amps#2_nb	2,08	Chi-Quadrat	0,167
amps#2_15an	2,00	df	2
amps#2_15ab	1,92	Asymptotische Signifikanz	0,920

Tab. 5-88: Friedman-Test, Sensible Amplitudenhöhe mit Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.24 Sensible distale Latenz (Iats) (Position 1/2) ohne Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
Iats#1_nb	1,79	Chi-Quadrat	1,135
Iats#1_15an	2,17	df	2
Iats#1_15ab	2,04	Asymptotische Signifikanz	0,567

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
Iats#2_nb	2,08	Chi-Quadrat	2,537
Iats#2_15an	2,25	df	2
Iats#2_15ab	1,67	Asymptotische Signifikanz	0,281

Tab. 5-89: Friedman-Test, Sensible distale Latenz ohne Sauerstoffatmung

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.3.25 Sensible distale Latenz (Iats) (Position 1/2) mit Sauerstoffatmung

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
Iats#1_nb	1,96	Chi-Quadrat	1,400
Iats#1_15an	1,83	df	2
Iats#1_15ab	2,21	Asymptotische Signifikanz	0,497

Ränge		Statistik für Test	
	Mittlerer Rang	N	
Iats#2_nb	2,33	Chi-Quadrat	3,368
Iats#2_15an	2,00	df	2
Iats#2_15ab	1,67	Asymptotische Signifikanz	0,186

Tab. 5-90: Friedman-Test, Sensible distale Latenz

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4 Mann-Whitney-U-Test

5.4.4.1 Distale motorische Latenz (dlat) (Position 1/2)

Statistik für Test^b

	dlat#1_nb	dlat#1_15ab	dlat#1_0	dlat#2_nb	dlat#2_15ab	Dlat#2_0
Mann-Whitney-U	44,000	48,000	60,000	57,500	64,500	61,500
Wilcoxon-W	135,000	139,000	151,000	148,500	155,500	152,500
Z	-1,863	-1,639	-0,985	-1,118	-0,736	-0,900
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,062	0,101	0,325	0,264	0,462	0,368
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,068 ^a	0,110 ^a	0,347 ^a	0,270 ^a	0,470 ^a	0,376 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-91: Mann-Whitney-U-Test, distale motorische Latenz

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.2 Höhe der Amplitude (amp) (Position 1/2)

Statistik für Test^b

	amp#1_nb	amp#1_15ab	amp#1_0	amp#2_nb	amp#2_15ab	Amp#2_0
Mann-Whitney-U	59,000	56,500	62,500	66,500	60,000	69,500
Wilcoxon-W	150,000	147,500	153,500	157,500	151,000	160,500
Z	-1,034	-1,170	-0,843	-0,626	-0,979	-0,462
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,301	0,242	0,399	0,531	0,328	0,644
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,320 ^a	0,247 ^a	0,406 ^a	0,538 ^a	0,347 ^a	0,650 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-92: Mann-Whitney-U-Test, Höhe der Amplitude

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.3 Fläche unter der Amplitude (fl) (Position 1/2)

Statistik für Test^b

	fl#1_nb	fl#1_15ab	fl#1_0	fl#2_nb	fl#2_15ab	fl#2_0
Mann-Whitney-U	63,000	61,500	66,000	62,000	62,000	66,000
Wilcoxon-W	154,000	152,500	157,000	153,000	153,000	157,000
Z	-0,816	-0,898	-0,653	-0,870	-0,870	-0,653
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,415	0,369	0,514	0,384	0,384	0,514
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,437 ^a	0,376 ^a	0,538 ^a	0,406 ^a	0,406 ^a	0,538 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-93: Mann-Whitney-U-Test, Fläche unter der Amplitude

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.4 Dauer der Amplitude (dau) (Position 1/2)

Statistik für Test^b

	dau#1_nb	dau#1_15ab	dau#1_0	dau#2_nb	dau#2_15ab	Dau#2_0
Mann-Whitney-U	58,000	62,500	62,500	77,500	77,500	71,000
Wilcoxon-W	149,000	153,500	153,500	168,500	155,500	149,000
Z	-1,088	-0,844	-0,844	-0,027	-0,027	-0,381
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,277	0,399	0,399	0,978	0,978	0,703
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,295 ^a	0,406 ^a	0,406 ^a	0,979 ^a	0,979 ^a	0,728 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-94: Mann-Whitney-U-Test, Dauer der Amplitude

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.5 Motorische Nervenleitgeschwindigkeit (nlgmot)

Statistik für Test^b

	nlgmot_nb	nlgmot_15ab	nlgmot_0
Mann-Whitney-U	61,000	76,000	57,000
Wilcoxon-W	139,000	167,000	135,000
Z	-0,925	-0,109	-1,143
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,355	0,913	0,253
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,376 ^a	0,936 ^a	0,270 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-95: Mann-Whitney-U-Test, Motorische Nervenleitgeschwindigkeit

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.6 Persistenz der F-Welle (pers)

Statistik für Test^b

	pers_nb	pers_15ab	pers_0
Mann-Whitney-U	74,500	56,000	66,500
Wilcoxon-W	165,500	147,000	157,500
Z	-0,192	-1,205	-0,631
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,847	0,228	0,528
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,852 ^a	0,247 ^a	0,538 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-96: Mann-Whitney-U-Test, Persistenz der F-Welle

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.7 F-Welle, M-Latenz (mlat)

Statistik für Test^b

	mlat_nb	mlat_15ab	mlat_0
Mann-Whitney-U	55,500	39,500	46,500
Wilcoxon-W	146,500	117,500	137,500
Z	-1,227	-1,884	-1,717
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,220	0,060	0,086
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,225 ^a	0,060 ^a	0,087 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-97: Mann-Whitney-U-Test, F-Welle, M-Latenz

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.8 F-Welle, Minimale F-Latenz (fmmin)

Statistik für Test^b

	fmmin_nb	fmmin_15ab	fmmin_0
Mann-Whitney-U	71,500	41,000	61,500
Wilcoxon-W	162,500	119,000	152,500
Z	-0,354	-1,793	-0,899
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,723	0,073	0,369
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,728 ^a	0,078 ^a	0,376 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-98: Mann-Whitney-U-Test, F-Welle, Minimale F-Latenz

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.9 F-Welle, Maximale F-Latenz (fmmx)

Statistik für Test^b

	fmmx_nb	fmmx_15ab	fmmx_0
Mann-Whitney-U	47,000	47,000	67,000
Wilcoxon-W	138,000	125,000	158,000
Z	-1,687	-1,444	-0,599
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,092	0,149	0,549
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,098 ^a	0,160 ^a	0,574 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-99: Mann-Whitney-U-Test, F-Welle, Maximale F-Latenz

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.10 F-Welle, Mittlere F-Latenz (fmmit)

Statistik für Test^b

	fmmit_nb	fmmit_15an	fmmit_15ab	fmmit_0
Mann-Whitney-U	59,500	77,500	53,500	58,500
Wilcoxon-W	150,500	168,500	131,500	149,500
Z	-1,007	-0,027	-1,069	-1,062
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,314	0,978	0,285	0,288
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,320 ^a	0,979 ^a	0,291 ^a	0,295 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-100: Mann-Whitney-U-Test, F-Welle, Mittlere F-Latenz

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.11 Sensible Nervenleitgeschwindigkeit (nlgs) (Position 1/2)

Statistik für Test^b

	nlgs#1_nb	nlgs#1_15ab	nlgs#1_0	nlgs#2_nb	nlgs#2_15ab	nlgs#2_0
Mann-Whitney-U	72,500	67,500	60,000	73,000	67,500	77,000
Wilcoxon-W	150,500	145,500	138,000	164,000	145,500	168,000
Z	-0,300	-0,572	-0,982	-0,272	-0,260	-0,054
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,765	0,567	0,326	0,786	0,795	0,957
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,769 ^a	0,574 ^a	0,347 ^a	0,810 ^a	0,799 ^a	0,979 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-101: Mann-Whitney-U-Test, Sensible Nervenleitgeschwindigkeit

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.12 Sensible Amplitudenhöhe (amps) (Position 1/2)

Statistik für Test^b

	amps#1_nb	amps#1_15ab	amps#1_0	amps#2_nb	amps#2_15ab	amps#2_0
Mann-Whitney-U	69,500	70,500	58,500	71,000	70,500	71,500
Wilcoxon-W	160,500	148,500	136,500	162,000	148,500	149,500
Z	-0,463	-0,409	-1,061	-0,381	-0,087	-0,355
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,644	0,683	0,289	0,703	0,931	0,722
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,650 ^a	0,689 ^a	0,295 ^a	0,728 ^a	0,932 ^a	0,728 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-102: Mann-Whitney-U-Test, Sensible Amplitudenhöhe

Statistisch zeigt sich keine signifikante Abweichung von der Nullhypothese.

5.4.4.13 Sensible distale Latenz (lats) (Position 1/2)

Statistik für Test^b

	lats#1_nb	lats#1_15ab	lats#1_0	lats#2_nb	lats#2_15ab	Lats#2_0
Mann-Whitney-U	58,000	50,000	39,500	65,000	59,000	66,000
Wilcoxon-W	149,000	141,000	130,500	156,000	137,000	157,000
Z	-1,095	-1,537	-2,117	-0,710	-0,754	-0,655
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,274	0,124	0,034	0,478	0,451	0,512
Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]	0,295 ^a	0,137 ^a	0,035 ^a	0,503 ^a	0,478 ^a	0,538 ^a

a. Nicht für Bindungen korrigiert.

b. Gruppenvariable: gas

Tab. 5-103: Mann-Whitney-U-Test, Sensible distale Latenz

Bei der Variablen „lats_0“ in Position 1 lässt sich eine signifikante Abweichung von der Nullhypothese (Irrtumswahrscheinlichkeit 3,4 %) ableiten.

6 Interpretation und Diskussion

6.1 Parameter der motorischen Nervenleitgeschwindigkeit

6.1.1 Stimulus

Aus den Messtabellen ist ersichtlich, dass der Stimulus einer Normalverteilung folgt. Dieser stellt keine Aktion der Neuronen dar, sondern ist ein vom Untersucher gewählter Reizimpuls mit vorgegebener Stromstärke bei supramaximaler Stimulation. [21]

6.1.2 Distale motorische Latenz

Die verstrichene Zeit bei distaler Reizung eines motorischen Nervs (N. medianus) bis zum Auftreten des Muskelsummenaktionspotentials wird als distale motorische Latenz bezeichnet. Diese ist sehr stark von der Hauttemperatur bzw. von der Distanz zwischen Stimulations- und Ableiteort abhängig. Für eine regelrechte Messung werden eine konstante Hauttemperatur sowie eine standardisierte Strecke der beiden Elektroden vorausgesetzt. [3]

Die beobachtete Verkürzung mit Signifikanzen sowohl im Wilcoxon- als auch im Friedman-Test der distalen motorischen Latenz in Position 2 bei Reinsauerstoffatmung bei konstantem Umgebungsdruck von 250 kPa über 55 Minuten spricht bei konstanter Hauttemperatur und fixem Elektrodenabstand für eine beschleunigte Überleitungszeit. Die Ergebnisse des T-Tests für gepaarte Stichproben würden das Ergebnis ebenfalls untermauern, sind aber aufgrund der geringen Fallzahl statistisch nur als Trendanalyse aufzufassen.

Aufgrund der Tatsache, dass sich die distale motorische Latenz unter Reinsauerstoffatmung in mehreren verschiedenen statistischen Tests signifikant verkürzt, ergibt sich hierbei ein Beweis für die Sauerstoffwirkung auf die Nervenleitfähigkeit unter Überdruck. In der Neurologie wurde bis dato nur eine Verkürzung der distalen motorischen Latenz durch Temperaturanstieg beschrieben. Diese Ursache kann aufgrund der kontinuierlichen Hauttemperaturkontrolle ausgeschlossen werden.

Eine Verkürzung der distalen motorischen Latenz bedeutet eine steigende Übertragungsgeschwindigkeit an der motorischen Endplatte. Dieses Ergebnis liefert eine erste wissenschaftliche Grundlage für die Anwendung der Physiotherapie bei Überdruckbedingungen unter Reinsauerstoffatmung. Die kontinuierliche Anwendung der

Physiotherapie in der Druckkammer würde ein komplett neues Therapieverfahren in der Neurologie bzw. Neurochirurgie darstellen und bedarf einer weiteren wissenschaftlichen Überprüfung.

6.1.3 Reduktion der Amplitudenhöhe

Eine signifikante Reduktion der Amplitudenhöhe bei Luftatmung unter hyperbaren Bedingungen (Pressluftatmung) wurde beobachtet. Bei Sauerstoffatmung ist ebenfalls eine Amplitudenreduktion erkennbar, doch ist sie mit einer 10-fach höheren Irrtumswahrscheinlichkeit behaftet, sodass sie weder im Wilcoxon- noch im Friedmann-Test eine Signifikanz aufweist. Die Reduktion der Amplitudenhöhe ist bei Sauerstoffatmung deutlich geringer ausgeprägt als bei Pressluftatmung.

Eine verminderte Amplitudenhöhe kann in der Neurologie durch eine Abnahme motorischer Nervenfasern, einen Muskelfaserverlust, einen inkompletten Leitungsblock wie auch durch eine neuromuskuläre Transmissionsstörung verursacht werden. [3]

In der Dissertation „Physiologie des Tiefenrausches bei Sporttauchern“ wurde bereits eine signifikante Reduktion der Amplitudenhöhe bei Pressluftatmung beschrieben. [21]

Zusammenfassend kam es während des Experimentes in beiden Gruppen zu einer Abnahme der Amplitudenhöhe. Da diese Veränderung jedoch in der Gruppe mit Sauerstoffatmung deutlich geringer ausfiel als in der Pressluftgruppe, kann ein relevanter Einfluss von N_2 auf die Amplitudenhöhe angenommen werden. [21]

6.1.4 Reduktion der Fläche unter der Amplitude

Im Verlauf des Tauchganges unter Reinsauerstoffatmung kam es zu einer Reduktion der Fläche unter der Amplitude, die im Wilcoxon-Test eine statistische Signifikanz aufweist und auch bei der Messung nach dem Tauchgang nachweisbar war. Es konnten bis dato keine wissenschaftlich fundierten Erklärungen für dieses Phänomen genannt werden.

Die Fläche unter der Amplitude ist in ihrer Aussagekraft der Amplitudenhöhe sehr ähnlich. Sie ist jedoch für die Differenzierung zwischen einer zeitlichen Dispersion der Nervenleitung und einem inkompletten Leitungsblock unabhkömmlich. Für das Erkennen eines Leitungsblockes spricht eine Reduktion der Fläche. Eine unveränderte Fläche mit einer einhergehenden Abnahme der Amplitude spricht für eine temporale

Dispersion. Darunter wird das unterschiedliche Eintreffen der einzelnen Aktionspotentiale am Ableiteort verstanden. Diese bei steigendem Umgebungsdruck beobachteten Veränderungen weisen somit am wahrscheinlichsten auf einen temporären Leitungsblock hin. [24]

6.1.5 Parameter der F-Welle

Da sich die F-Welle während des gesamten Versuchs nicht verändert hat, kann diese als Kontrollparameter angesehen werden. Somit können weitere Phänomene, welche mit einer Demyelinisierung einhergehen, ausgeschlossen werden.

6.1.6 Parameter der sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit

Die sensible distale Latenz in Position 1 zeigt bei Reinsauerstoffatmung einen signifikanten Unterschied vor und nach dem Tauchgang mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 4,6 % bei gleichem Median, sodass dieses Ergebnis aufgrund der geringen Fallzahl kritisch zu hinterfragen ist. Des Weiteren zeigt sich aber auch ein signifikanter Unterschied zwischen den Versuchsgruppen im Mann-Whitney-U-Test, sodass das beobachtete Phänomen untermauert wird.

7 Schlussfolgerung

Alle Parameter der Neurographie, ausgenommen die sensible distale Latenz in Position 1 (Tab. 5-103), welche jedoch mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 3,4 % behaftet ist, sind nach dem Tauchgang, unabhängig davon, ob Pressluft oder Reinsauerstoff geatmet wurde, wieder auf ihren Ausgangswert zurückgekehrt.

Es konnte gezeigt werden, dass hyperbarer Sauerstoff die Nervenleitfähigkeit nur während der Überdruckbedingungen beeinflusst. Diese Tatsache stellt einen wichtigen Aspekt für die wissenschaftliche Überprüfung von Physiotherapie unter Überdruckbedingungen im Rahmen weiterer klinischer Studien dar.

Ein Zurückkehren der Messwerte nach dem Tauchgang auf ihre Ausgangswerte wurde bereits in der Dissertation „Physiologie des Tiefenrausches bei Sporttauchern“ festgestellt. Dieses Phänomen konnte jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden, da in der vorliegenden Studie während der Auftauchphase Reinsauerstoffatmung durchgeführt wurde. Ein Auftauchen mit Pressluft, wodurch die Daten vergleichbar gewesen wären, war den Probanden aufgrund der zu langen Dekompressionszeiten nicht zumutbar. Durch die Ergebnisse dieser Arbeit konnte jedoch einwandfrei gezeigt werden, dass die Sauerstoffatmung keinen Einfluss auf das Wiedereinpendeln der Parameter auf ihren Ausgangswert hatte.

Aufgrund der in dieser Studie erhobenen neurologischen Messparameter konnten keine bleibenden neurologischen Veränderungen bis auf die „Reduktion der Fläche unter der Amplitude“ über den Tauchgang hinaus nachgewiesen werden. Aus den gewonnen Erkenntnissen können daher auch für das Sporttauchen mit Stickstoff-Sauerstoffgemischen (Nitrox) keine über den Tauchgang hinausgehenden sauerstoffbedingten Wirkungen auf den menschlichen Organismus hinsichtlich der neurologischen Leitungsparameter postuliert werden. Lungenschäden, die durch einen erhöhten Sauerstoffpartialdruck über einen längeren Zeitraum entstehen, wurden erstmals durch Lorrain Smith beschrieben und sind nach selbigem benannt. Die zentralnervöse Wirkung durch kurzfristige Exposition bei sehr hohen Sauerstoffpartialdrücken, beschrieben durch Paul-Bert, darf aber nicht außer Acht gelassen werden und kann zu schweren gesundheitlichen Folgeschäden führen.

Die Ursache, warum die sensible distale Latenz (IATs) in Position 1 auch nach dem Auftauchen, unabhängig davon, ob Reinsauerstoff oder Luft geatmet wurde, verändert bleibt und ob bzw. welche Auswirkungen dies auf den Organismus hat, bleibt weiterhin unbeantwortet und lässt sich nach derzeitigem Stand des Wissens auch neurologischerseits nicht erklären.

Wie schon eingangs erwähnt, konnte in dieser Studie eine Verkürzung der „distalen motorischen Latenz“ unter Reinsauerstoffatmung bei Überdruckbedingungen gezeigt werden. Dieser Parameter spiegelt die Übertragungsgeschwindigkeit an der motorischen Endplatte wieder. Für Muskelerkrankungen, welche durch Störungen der Nervenleitfähigkeit hervorgerufen werden, könnte dieser Effekt möglicherweise eine innovative und neue Therapieoption darstellen.

Es ist in diesem Zusammenhang anzustreben, dass die Einführung der Physiotherapie unter Überdruckbedingungen mit Reinsauerstoffatmung wissenschaftlich evaluiert und im Rahmen einer klinischen Studie wissenschaftlich überprüft wird, um Indikationen zur HBO-Therapie bei neuromuskulären Erkrankungen bzw. zur Rehabilitation stellen zu können.

Es ist zu hoffen, dass weitere Studien zu ähnlich erfolgversprechenden Ergebnissen führen. In letzter Konsequenz wäre es zukünftig sogar denkbar, Patientinnen und Patienten mit Querschnittssymptomatik, mit der hyperbaren Sauerstofftherapie eine weitere Therapieoption zur Verbesserung ihrer Beweglichkeit und einer damit verbundenen gesteigerten Lebensqualität bieten zu können.

8 Literaturverzeichnis

Autor: Titel. Auflage, Verlag, Erscheinungsort (Jahr)

- [1] Berlit P.: Klinische Neurologie. 2. Aufl., Springer Berlin (2006)
- [2] Bühlmann A.: Tauchmedizin. 4. Aufl., Springer Berlin (1995)
- [3] Conrad B., Bischoff C.: Das EMG-Buch. Georg Thieme, Stuttgart NY (1998)
- [4] Ehm O., Hoffmann U., Wenzel J.: Der neue EHM, Tauchen noch sicherer. 9. Aufl., Müller Rüslikon AG, Cham (2003)
- [5] Faesecke K. P.: Artur Bornstein, zu Unrecht vergessen. Caisson Jg.1 Nr.2 (1986) Url: <http://gtuem.praesentiert-ihnen.de/caisson1986-1-2>; letzter Aufruf: 06.2010
- [6] Falk T., Kopotsch S.: Taucherkrankheiten. (2006), Url: <http://www.tauchversicherung.com/taucherkrankheiten/cassionkrankheit.html>; letzter Aufruf: 06.2010
- [7] Friedrich O.: Physiologie. 1. Aufl., Springer Heidelberg (2007)
- [8] Grehl H., Reinhardt F.: Checkliste Neurologie. 4. Aufl., Thieme Stuttgart NY (2008)
- [9] Hirner H.: Physiologie des Menschen. (1995), Url: <http://helmut.hirner.at/physio/kapitel1/frage4/nlg.htm>; letzter Aufruf: 06.2010
- [10] Huppelsberg J., Walter K.: Physiologie. 2. Aufl., Thieme Stuttgart NY (2005)
- [11] Klingmann Ch., Tetzlaff K.: Moderne Tauchmedizin. 1. Aufl., Genter Verlag Stuttgart (2007)
- [12] Luechtenberg D., Meier T., Scholz S., Schuering C.: Rebreather Tauchen. (1999)
- [13] Lueger O.: Lexikon der gesamten Technik. (1904), Url: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hamburg_-_Elbtunnel.jpg; letzter Aufruf: 06.2010
- [14] Lüchtenberg D.; Meier T.; Scholz S.; Schüring C.: Rebreather-Tauchen. (1999), Url: <http://www.rab-ev.de/german/PUB1.pdf>; letzter Aufruf: 06.2010
- [15] Masuhr K. F., Neumann M.: Neurologie. 6. Aufl., Thieme Stuttgart (2007)
- [16] Mumenthaler M., Mattle H.: Kurzlehrbuch Neurologie. 1. Aufl., Thieme Stuttgart NY (2006)

- [17] Mumenthaler M., Mattle H.: Neurologie. 11. Aufl., Thieme Stuttgart NY (2002)
- [18] Mumenthaler M., Mattle H.: Neurologie. 12. Aufl., Thieme Stuttgart NY (2008)
- [19] Muth C.-M., Radermacher P.: Kompendium der Tauchmedizin. Deutscher Ärzte-Verlag Köln (2006)
- [20] PADI®: Open Water Diver Manual. PADI EU Services AG Hettlingen (1990)
- [21] Pokorny A.: Physiologie des Tiefenrausches bei Sporttauchern, Dissertation, MUG (2007)
- [22] Rittmeister J.: Diagramm zur schematischen Darstellung des Zusammenhanges zwischen Druck und Volumen einer abgeschlossenen Gasmenge. (2007), Url: http://de.wikibooks.org/wiki/Datei:Boyle-Mariotte_Schema.jpg; letzter Aufruf: 06.2010
- [23] Sauber W.: Hamburg – Elbtunnel. (2008), Url: de.wikipedia.org/wiki/Datei:L-Taucherglocke.png; letzter Aufruf: 06.2010
- [24] Smolle-Jüttner F.: Vorlesung. Hyperbare Chirurgie, Hyperbare Medizin (2006)
- [25] SSI®: Enriched Air Nitrox. 2. Aufl., SSI GmbH European Service Center Wendelstein (2004)
- [26] Zeiler K., Auff E., Deecke L.: Klinische Neurologie I. 2. Aufl., Facultas Wien (2006)

9 Abkürzungsverzeichnis

# 1	Position 1
# 2	Position 2
_0	Oberfläche nach dem Auftauchen
_ab	abtauchen
_an	ansteigen
_nb	normobar
amp	Amplitudenhöhe
amps	Sensible Amplitudenhöhe
CCR	Circuit-Closed-Rebreather
CO ₂	Kohlendioxid
dau	Dauer der Amplitude
dlat	Distale motorische Latenz
EAN	Enriched-Air-Nitrox
EMAP	Evoziertes Muskelaktionspotential
fl	Fläche unter der Amplitude
fmmax	Maximale F-Latenz
fmmin	Minimale F-Latenz
fmmit	Mittlere F-Latenz
HBO	Hyperbare Oxygenation
He	Helium
HPNS	High-pressure-nervous-Syndrom
kHz	Kilohertz
kPa	Kilopascal
l	Liter
lats	Sensible distale Latenz
m	Meter
M.	Musculus
m/s	Meter pro Sekunde
mlat	M-Latenz
ms	Millisekunden
MSAP	Muskelsummenaktionspotential
MSW	Meter unter Salzwasser
mV	Millivolt
N	Newton
n	Fallzahl
N.	Nervus
N ₂	Stickstoff
N ₂ O	Distickstoffmonoxid / Stickoxydul (Lachgas)
NLG	Nervenleitgeschwindigkeit
nlgmot	Motorische Nervenleitgeschwindigkeit

nlgs	Sensible Nervenleitgeschwindigkeit
O ₂	Sauerstoff
P	Druck
Pa	Pascal
Pges	Gesamtdruck
PNS	Peripheres Nervensystem
SCR	Semi-Closed-Rebreather
SNAP	Sensibles Nervenaktionspotential
SPA	Summenpotentialamplitude
UPTD	Unit Pulmonary Toxicity Dose
V	Volumen

10 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1-1: Zusammenhang von Druck und Volumen [22]	10
Abb. 1-2: Halbierung des Volumens in den ersten 10 m [6].....	10
Abb. 1-3: Geschlossenes Kreislaufsystem [14].....	13
Abb. 1-4: Halbgeschlossenes Kreislaufsystem [14]	14
Abb. 2-5: Taucherglocke des 19. Jhd [13].....	21
Abb. 2-6: Skizze des alten Elbtunnels [23].....	22
Abb. 3-7: Darstellung der einfließenden Größen der NLG-Berechnung [9]	28
Abb. 4-8: Bildschirmansicht Medtronic® (Wurzinger 2009)	33
Abb. 4-9: Messung der Nervenleitgeschwindigkeit am N. medianus (Wurzinger 2009).....	34
Abb. 4-10: Druckkammer Graz, Außenansicht (Wurzinger 2009)	36
Abb. 4-11: Druckkammer Graz, Innenansicht mit Sauerstoffversorgung (Wurzinger 2009).....	38

11 Tabellenverzeichnis

Tab. 1-1: Zusammensetzung der atmosphärischen Luft [2].....	15
Tab. 1-2: Aufzeichnung der pO ₂ Werte [25]	18
Tab. 3-3: Einteilung der Nervenfasern [7] [10]	26
Tab. 3-4: Normwerte für die motorische Nervenleitgeschwindigkeit [1].....	29
Tab. 3-5: Normwert der F-Welle.....	31
Tab. 5-6: Deskriptive Statistik – Biometrische Daten der Probanden.....	40
Tab. 5-7: Deskriptive Statistik – Distale motorische Latenz.....	41
Tab. 5-8: Deskriptive Statistik – Amplitudenhöhe	41
Tab. 5-9: Deskriptive Statistik – Fläche unter der Amplitude	42
Tab. 5-10: Deskriptive Statistik – Dauer der Amplitude	43
Tab. 5-11: Deskriptive Statistik – Motorische Nervenleitgeschwindigkeit.....	43
Tab. 5-12: Deskriptive Statistik – M-Latenz.....	44
Tab. 5-13: Deskriptive Statistik – Minimale F-Latenz.....	44
Tab. 5-14: Deskriptive Statistik – Maximale F-Latenz.....	44
Tab. 5-15: Deskriptive Statistik – Mittlere F-Latenz	45
Tab. 5-16: Deskriptive Statistik – Sensible Nervenleitgeschwindigkeit.....	45
Tab. 5-17: Deskriptive Statistik – Sensible Amplitudenhöhe.....	46
Tab. 5-18: Deskriptive Statistik – Sensible distale Latenz	47
Tab. 5-19: Deskriptive Statistik – Distale motorische Latenz.....	48
Tab. 5-20: Deskriptive Statistik – Amplitudenhöhe	49
Tab. 5-21: Deskriptive Statistik – Fläche unter der Amplitude.....	50
Tab. 5-22: Deskriptive Statistik – Dauer der Amplitude	51
Tab. 5-23: Deskriptive Statistik – Nervenleitgeschwindigkeit.....	51
Tab. 5-24: Deskriptive Statistik – M-Latenz.....	52
Tab. 5-25: Deskriptive Statistik – Minimale F-Latenz.....	52
Tab. 5-26: Deskriptive Statistik – Maximale F-Latenz.....	52
Tab. 5-27: Deskriptive Statistik – Mittlere F-Latenz	53
Tab. 5-28: Deskriptive Statistik – Sensible Nervenleitgeschwindigkeit.....	53
Tab. 5-29: Deskriptive Statistik – Sensible Amplitudenhöhe.....	54
Tab. 5-30: Deskriptive Statistik – Sensible Distale Latenz in ms	55
Tab. 5-31: χ^2 -Test, biometrische Daten.....	55
Tab. 5-32: K-S-Test, biometrische Daten.....	56
Tab. 5-33: χ^2 -Test, Stimulus	56
Tab. 5-34: K-S-Test, Stimulus	57
Tab. 5-35: χ^2 -Test, distale motorische Latenz	57
Tab. 5-36: K-S-Test, distale motorische Latenz.....	58
Tab. 5-37: χ^2 -Test, Höhe der Amplitude.....	58
Tab. 5-38: K-S-Test, Höhe der Amplitude.....	59
Tab. 5-39: χ^2 -Test, Fläche unter der Amplitude	59
Tab. 5-40: K-S-Test, Fläche unter der Amplitude	60
Tab. 5-41: χ^2 -Test, Dauer der Amplitude.....	60
Tab. 5-42: K-S-Test, Dauer der Amplitude.....	61
Tab. 5-43: χ^2 -Test, motorische Nervenleitgeschwindigkeit.....	61
Tab. 5-44: K-S-Test, motorische Nervenleitgeschwindigkeit.....	62
Tab. 5-45: χ^2 -Test, Penetranz der F-Welle.....	62
Tab. 5-46: K-S-Test, Penetranz der F-Welle.....	63
Tab. 5-47: χ^2 -Test, M-Latenz.....	63
Tab. 5-48: K-S-Test, M-Latenz.....	64
Tab. 5-49: χ^2 -Test, F-Latenzen	64
Tab. 5-50: K-S-Test, F-Latenzen.....	65
Tab. 5-51: χ^2 -Test, sensible NLG.....	65
Tab. 5-52: K-S-Test, sensible NLG	66
Tab. 5-53: χ^2 -Test, sensible Amplitudenhöhe	66
Tab. 5-54: K-S-Test, sensible Amplitudenhöhe	67
Tab. 5-55: χ^2 -Test, sensible distale Latenz	67
Tab. 5-56: K-S-Test, sensible distale Latenz	68
Tab. 5-57: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 1. und 2. Messung ohne Sauerstoff.....	69

Tab. 5-58: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 2. und 3. Messung ohne Sauerstoff.....	70
Tab. 5-59: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 2. und 3. Messung mit Sauerstoff.....	71
Tab. 5-60: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 1. und 3. Messung ohne Sauerstoff.....	72
Tab. 5-61: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 1. und 3. Messung mit Sauerstoff.....	73
Tab. 5-62: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 1. und 4. Messung ohne Sauerstoff.....	74
Tab. 5-63: Wilcoxon-Test, Vergleich zwischen 1. und 4. Messung mit Sauerstoff.....	75
Tab. 5-64: T-Test, Vergleich zwischen 2. und 3. Messung ohne Sauerstoff.....	76
Tab. 5-65: T-Test Vergleich zwischen 2. und 3. Messung mit Sauerstoff.....	77
Tab. 5-66: Friedman-Test, Motorische distale Latenz ohne Sauerstoffatmung.....	78
Tab. 5-67: Friedman-Test, Motorische distale Latenz mit Sauerstoffatmung.....	78
Tab. 5-68: Friedman-Test, Höhe der Amplitude ohne Sauerstoffatmung.....	79
Tab. 5-69: Friedman-Test, Höhe der Amplitude mit Sauerstoffatmung.....	79
Tab. 5-70: Friedman-Test, Fläche unter der Amplitude ohne Sauerstoffatmung.....	80
Tab. 5-71: Friedman-Test, Fläche unter der Amplitude mit Sauerstoffatmung.....	80
Tab. 5-72: Friedman-Test, Dauer der Amplitude ohne Sauerstoffatmung.....	81
Tab. 5-73: Friedman-Test, Dauer der Amplitude ohne Sauerstoffatmung.....	81
Tab. 5-74: Friedman-Test, Dauer der Amplitude mit Sauerstoffatmung.....	82
Tab. 5-75: Friedman-Test, Motorische Nervenleitgeschwindigkeit ohne Sauerstoffatmung.....	82
Tab. 5-76: Friedman-Test, Motorische Nervenleitgeschwindigkeit mit Sauerstoffatmung.....	82
Tab. 5-77: Friedman-Test, F-Welle, M-Latenz ohne Sauerstoffatmung.....	83
Tab. 5-78: Friedman-Test, F-Welle, M-Latenz mit Sauerstoffatmung.....	83
Tab. 5-79: Friedman-Test, F-Welle, minimale F-Latenz ohne Sauerstoffatmung.....	83
Tab. 5-80: Friedman-Test, F-Welle, minimale F-Latenz mit Sauerstoffatmung.....	83
Tab. 5-81: Friedman-Test, F-Welle, Maximale F-Latenz ohne Sauerstoffatmung.....	84
Tab. 5-82: Friedman-Test, F-Welle, Maximale F-Latenz mit Sauerstoffatmung.....	84
Tab. 5-83: Friedman-Test, F-Welle, Mittlere F-Latenz ohne Sauerstoffatmung.....	84
Tab. 5-84: Friedman-Test, F-Welle, Mittlere F-Latenz mit Sauerstoffatmung.....	84
Tab. 5-85: Friedman-Test, Sensible Nervenleitgeschwindigkeit ohne Sauerstoffatmung.....	85
Tab. 5-86: Friedman-Test, Sensible Nervenleitgeschwindigkeit mit Sauerstoffatmung.....	85
Tab. 5-87: Friedman-Test, Sensible Amplitudenhöhe ohne Sauerstoffatmung.....	86
Tab. 5-88: Friedman-Test, Sensible Amplitudenhöhe mit Sauerstoffatmung.....	86
Tab. 5-89: Friedman-Test, Sensible distale Latenz ohne Sauerstoffatmung.....	87
Tab. 5-90: Friedman-Test, Sensible distale Latenz.....	87
Tab. 5-91: Mann-Whitney-U-Test, distale motorische Latenz.....	88
Tab. 5-92: Mann-Whitney-U-Test, Höhe der Amplitude.....	88
Tab. 5-93: Mann-Whitney-U-Test, Fläche unter der Amplitude.....	89
Tab. 5-94: Mann-Whitney-U-Test, Dauer der Amplitude.....	89
Tab. 5-95: Mann-Whitney-U-Test, Motorische Nervenleitgeschwindigkeit.....	90
Tab. 5-96: Mann-Whitney-U-Test, Persistenz der F-Welle.....	90
Tab. 5-97: Mann-Whitney-U-Test, F-Welle, M-Latenz.....	90
Tab. 5-98: Mann-Whitney-U-Test, F-Welle, Minimale F-Latenz.....	91
Tab. 5-99: Mann-Whitney-U-Test, F-Welle, Maximale F-Latenz.....	91
Tab. 5-100: Mann-Whitney-U-Test, F-Welle, Mittlere F-Latenz.....	91
Tab. 5-101: Mann-Whitney-U-Test, Sensible Nervenleitgeschwindigkeit.....	92
Tab. 5-102: Mann-Whitney-U-Test, Sensible Amplitudenhöhe.....	92
Tab. 5-103: Mann-Whitney-U-Test, Sensible distale Latenz.....	93

Lebenslauf

ANGABEN ZUR PERSON

NAME	Wurzinger Karin		
E-MAIL	Karin.wurzinger@gmx.at		
STAATSANGEHÖRIGKEIT	Österreich		
GEBURTSORT UND -DATUM	Graz, 20.08.1984		
SCHUL-UND BERUFSBILDUNG	Seit 2004	Diplomstudium Humanmedizin Graz	
	1999-2004	Handelsakademie Weiz	
	1995-1999	Hauptschule Weiz	
	1991-1999	Volksschule Weiz	
	1990-1991	Vorschule Weiz	
WIRTSCHAFTLICHE BERUFSERFAHRUNGEN	Juli 2001	Bezirkshauptmannschaft Weiz	
	Juli 2002	Energie-Werk Weiz	
	Juli 2003	Raiffeisenbank Weiz	
	Juli 2005	Landeskrankenhaus Weiz	
	August 2005	Landeskrankenhaus Graz	
FAMULATURERFAHRUNGEN	Im Ausmaß von 24 Wochen an folgenden Abteilungen:		
	Pulmologische Abteilung, LKH-Graz West		
	Innere Medizin,	LKH Graz West	
	Innere Medizin,	LKH Weiz	
	Neurologie,	BHB Graz-Eggenberg	
	Chirurgie,	LKH Weiz	
	Anästhesie,	LKH Weiz	
	HNO-Anästhesie,	LKH-Graz	
	Anästhesie,	BHB Graz Marschallgasse	
	Kinderanästhesie,	LKH Klagenfurt	
AUSLANDSFAMULATUR- ERFAHRUNGEN	August 2008	4 Wochen	Internal Medicine Malta
	Juni 2009	4 Wochen	Emergency-Department Niederlande
	Nov. Dez. 2009	8 Wochen	Accident and Emergency Department London
SPEZIELLE STUDIENMODULE / VERTIEFTE AUSBILDUNGEN	Klinisch-topografische Anatomie der Extremitäten		
	Klinisch-topografische Anatomie der Eingeweide		
	Case-based Learning in Klinik und Praxis		
	Notfallmedizin		
	Gesundheits- und Medizinökonomie		
	Kardiologie in der Praxis		
MUTTERSPRACHE	Deutsch		

SONSTIGE SPRACHEN

Englisch / in Wort und Schrift
Französisch / Schulausbildung

SONSTIGE FÄHIGKEITEN
UND KOMPETENZEN

Seit 1999 ehrenamtlicher Mitarbeiterin des ÖRK
2001 Rotkreuz-Sanitäterin
2009 Rotkreuz-Notfall-Sanitäterin
2009 Notfallkompetenz Arzneimittellehre
2009 Notfallkompetenz Venenzugang und Infusion
2010 Notfallkompetenz Intubation und Beatmung

1999 PADI Open Water Diver
2002 PADI Advanced Open Water Diver
2005 SSI Enriched Air Nitrox Continuing Education