

Aus der Neurologischen Klinik und Poliklinik
der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Dr. h. c. Thomas Brandt, FRCP

**Analyse der elektroenzephalographischen Hirntätigkeit,
der perkutan gemessenen Sauerstoffsättigung und des
endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids gesunder
Probanden in Abhängigkeit der akuten Höhenkrankheit
im Rahmen einer Himalaya-Expedition auf 5.050 m Höhe**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Florian Thanbichler

aus
München

2006

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. S. Noachtar

Mitberichterstatter: Prof. Dr. K. Mees
Prof. Dr. F. Kolb

Dekan: Prof. Dr. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 13.07.2006

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	6
2 Fragestellung	16
3 Methodik	17
3.1 Probanden	17
3.2 Lake-Louise-Score	17
3.3 EEG	18
3.4 Perkutan gemessene Sauerstoffsättigung, endexpiratorisch gemessenes Kohlendioxid	19
3.5 Analyseverfahren und Auswertungsmethoden	20
4 Ergebnisse	21
4.1 Vergleich der Änderung des EEG Powerspektrums von 100 m auf 3.440 m und 100 m auf 5.050 m zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden	21
4.1.1 Frontale Hirnregion	22
4.1.2 Temporale Hirnregion	22
4.1.3 Parietale Hirnregion	24
4.1.4 Occipitale Hirnregion	25
4.2 Vergleich der Änderung der peripheren Sauerstoffsättigung von 100 m auf 3.440 m und 100 m auf 5.050 m zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden mittels Mann-Whitney-U-Test	26
4.3 Vergleich der peripheren Sauerstoffsättigung zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden auf 100 m, 3.440 m und 5.050 m	26
4.4 Vergleich der Änderung des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids von 100 m auf 3.440 m und 100 m auf 5.050 m zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden mittels Mann-Whitney-U-Test	28

4.5	Vergleich des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden auf 100 m, 3.440 m und 5.050 m	28
4.6	Korrelation der Änderung des EEG Powerspektrums und der Änderung der peripheren Sauerstoffsättigung symptomatischer und asymptomatischer Probanden von 100 m auf 3.440 m und 100 m auf 5.050 m	29
5	Diskussion	32
5.1	Temporale Hirnregion	32
5.2	Frontale Hirnregion	35
5.3	Parietale Hirnregion	36
5.4	Occipitale Hirnregion	36
5.5	Korrelation zwischen EEG Veränderungen, Änderungen der peripheren Sauerstoffsättigung und Änderungen des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids	38
6	Zusammenfassung	41
7	Literatur	43
8	Anhang	48

1 Einleitung

Bergsteigen und Trekking in Höhenlagen zwischen 2.500 m und 5.300 m haben stark zugenommen. Weltweit sind etwa 40 Millionen Reisende in großen Höhen unterwegs, allein Nepal besuchen jährlich mehr als 300.000 Touristen (Schaffert 2002). Auf 2.000 m erkrankten rund 25 % an Symptomen der akuten Höhenkrankheit (Montgomery et al. 1989).

Die Höhenkrankheit (acute mountain sickness = AMS) ist durch eine Kombination unspezifischer Symptome wie Kopfschmerzen, Erbrechen, Übelkeit, Erschöpfung, Schwindel, Schlafstörungen und Desorientierung bis hin zu Verwirrung gekennzeichnet (Basnyat et al. 2003). Als tödliche Komplikation kann die AMS mit Höhenhirnödem (high altitude cerebral edema = HACE) als auch Höhenlungenödem (high altitude pulmonary edema = HAPE) assoziiert sein (Hackett et al. 2001). Der Lake-Louise-Score dient zur Abschätzung der Ausprägung der AMS. Hierbei schätzen die Probanden subjektiv ihr Befinden, wie z.B. Kopfschmerz, gastrointestinale Beschwerden, Müdigkeit, Schwindel oder Schlafstörung mittels einer einfachen Punkteskala ein. Zum anderen erfolgt die objektive Beurteilung der Probanden durch einen Arzt, der ebenfalls unter Zuhilfenahme einer Punkteskala z.B. Änderungen des Bewusstseins, Ataxie oder periphere Ödeme wertet. Ferner können auch Beobachtungen des Zeltneighbarn miteinfließen, z.B. auffälliges Hin- und Herwälzen bei Schlafstörungen.

Arbeiten zu höhenabhängigen Veränderungen im Elektroenzephalogramm (EEG) differieren stark in Ergebnissen und Methodik. Neben Studien, die im Hochgebirge durchgeführt wurden, existieren Untersuchungen, die mittels einer Luftdruckkammer die entsprechenden Höhen simulierten. Dadurch sind die Ergebnisse nicht unbedingt vergleichbar. Eine Druckkammer simuliert die Änderung des Sauerstoffpartialdrucks, die körperlichen Strapazen durch Aufstieg und Temperatur einer tatsächlichen Expedition in grosse Höhen bringen zusätzliche Faktoren, die für die Entstehung einer AMS von Bedeutung sein können. In einem Experiment wurden 15 Probanden mittels einer Luftdruckkammer verschiedenen Höhen ausgesetzt (Ozaki et al. 1995). Messungen fanden dabei auf Meereshöhe statt, dann jeweils unter

Sauerstoffpartialdrücken, die Höhen von 3.000 m, 4.000 m, 5.000 m, 6.000 m und schließlich wieder 0 m entsprechen. Es wurden EEG mit 16 Elektroden, Elektrokardiographie (EKG) und vertikale Augenbewegung aufgezeichnet. Bei 3.000 m und 4.000 m verringerte sich insbesondere der 10,5-11 Hz-Frequenzbereich über allen Kopfarealen, weniger der 8-9 Hz-Frequenzbereich. Bei höherem Aufstieg kristallisierte sich eine Amplitudenabnahme im Alpha-Bereich (9,5-11,5 Hz) heraus. Somit war das erste Stadium der hypobaren Hypoxie durch einen selektiven Rückgang der Alpha-Aktivität gekennzeichnet. Der Thetafrequenzbereich (6,0-7,5 Hz) veränderte sich hingegen bei 3.000 m und 4.000 m nur unerheblich, zeigte dann aber bei 5.000 m und 6.000 m besonders in den linken, anterioren Arealen der Gehirnregion eine deutliche Ausprägung. Möglicherweise stellte diese Theta-Aktivität einen Hinweis auf den Übergang von normaler zu gestörter Gehirnfunktion dar. Die Aktivität des gesamten Alphafrequenzbereichs wurde hingegen bei 6.000 m überwiegend in den posterioren Arealen unterdrückt, also jenem Bereich, in dem die Alpha-Aktivität ihr physiologisches Maximum hat. Interessanterweise nahm nach Rückkehr auf Meeresspiegelhöhe das EEG bei den sechs Probanden wieder das Ausgangsniveau an, die lediglich einer Höhe von 5.000 m ausgesetzt waren und frühzeitig die Studie beendeten, während bei neun Probanden, die sich auch bei 6.000 m Messungen unterzogen hatten, 30 Minuten später auf Meeresspiegelhöhe (POST 0 m) der Theta- und Alphafrequenzbereich deutlich vermindert waren. Auf die Entwicklung von Symptomen der AMS wurde nicht eingegangen (Ozaki et al. 1995).

In einer anderen Studie nahm nach Simulation eines schnellen Höhenanstiegs auf 4.300 m mittels Druckkammer bei neun Probanden die Total-Amplitude (0,75-31 Hz) bei gleichzeitiger signifikant relativer Verringerung des Thetafrequenzbereichs (3-7 Hz) über der Zentralregion (Elektroden C3 und C4) zu, was auf einen Einfluss der Höhe auf das EEG rückschließen lässt, der über eine spektrale Analyse quantitativ bestimmt werden kann (Kaufman et al. 1993). Während einer Bergexpedition wurden bei sieben männlichen Probanden visuell evozierte Potentiale und EEG Messungen auf über 4.300 m durchgeführt (Forster et al. 1975). In 24 bis 48 Stunden Intervallen erfolgten EEG Messungen in den ersten neun bis zwölf Tagen bei durch die natürliche in

dieser Höhe vorkommende hypobare Hypoxie reduziertem $p\text{aO}_2$ (bis 40 mmHg). Dabei zeigte sich, dass die Amplitudenreduktion und der Frequenzanstieg, die bei drei Teilnehmern ab dem fünften Tag infolge Hypoxie entstanden, noch durch andere Faktoren als durch Veränderungen des Kohlendioxid-Partialdrucks ($p\text{CO}_2$) und pH-Wertes zustande kommen müssen, da diese ab dem fünften Tag konstant blieben. Es wird in Übereinstimmung mit anderen Autoren (Koob et al. 1972) gefolgert, dass aufrechterhaltene Hypoxie eine erhöhte Freisetzung von Norepinephrin im Gehirnstamm bewirkt, das durch seinen Einfluss auf das retikuläre aktivierende System ein „Arousal“ im Zentralen Nervensystem zur Folge hatte (Koob et al. 1972). Diese Hypothese wird zum einen damit begründet, dass unter Hypoxie im Hirnstamm von Ratten ein reduzierter Norepinephringehalt gemessen wurde, der mit einer veränderten Selbst-Stimulation und Nahrungs- und Wasseraufnahme einherging, zum anderen ein ähnlicher Effekt auf jede dieser Funktionen gegenüber Hypoxie und Gabe von Amphetamin auftrat.

An 30 Probanden wurde nach einem Transport von Meereshöhe auf 3.500 m eine initiale Zunahme der Alpha-Amplitude mit nachfolgendem Abfall und anschließendem Wiederanstieg im Verlauf von vier Wochen registriert (Selvamurthy et al. 1978). Dabei nahm anfangs in der Höhe der Anteil der occipitalen Alpha-Aktivität zu, im Verlauf auf gleicher Höhe jedoch wieder ab. Die Ergebnisse deuteten darauf hin, dass es am Ende der ersten Woche zu einer kortikalen Desynchronisation infolge sympathischer Hyperaktivität kommt, wobei im Zuge der Akklimation ein stufenweiser Aufbau von EEG Wellen infolge Nachlassen des Sympathikotonus bei gleichzeitiger Zunahme des Parasympathikotonus charakteristisch ist (Selvamurthy et al. 1978).

Bei einer Expedition auf über 7.546 m wurde das EEG als Prädiktor der AMS untersucht (Sand und Nygaard 1998). Es erfolgten bei sechs Bergsteigern spektrale EEG Analysen. Gemessen wurde auf Höhen von 0 m, 4.500 m und 7.546 m, sowie nach ein bis vier Tagen auf 1.800 m. Als Resultat dieser Analysen ergaben sich zwei Gruppen. Die erste Gruppe (n=3) war durch eine zunehmende Amplitude der Alpha-Aktivität (8-12,75 Hz) charakterisiert und wies bereits bei 4.500 m leichte Beschwerden auf, die sich auch bei weiterem Höhenanstieg nicht änderten. Für die zweite Gruppe (n=3), die in größerer

Höhe schwerere Symptome der AMS zeigte, zeichnete sich bei 4.500 m eine niedrigere EEG Amplitude ab als bei der Vergleichsgruppe. Es kam zu einem Absinken der 9 Hz Alpha- und 4-7,75 Hz Thetafrequenzbereiche, die mit einem erhöhten Hämatokritwert assoziiert waren. Festzustellen blieb, dass die Richtungsänderung im Alphafrequenzbereich die Entwicklung einer AMS voraussagen könnte: Eine initiale Zunahme der Alpha-Aktivität kann als Kompensationsmechanismus interpretiert werden und korreliert mit einer niedrigen AMS-Gefahr (Sand und Nygaard 1998, Selvamurthy et al. 1978), während eine Abnahme mit einer höheren AMS-Gefahr verbunden ist (Sand und Nygaard 1998). Diese Studie ist aufgrund der geringen Anzahl der Probanden und der damit verbundenen geringeren statistischen Aussagekraft allerdings nur bedingt verwert- und übertragbar. Insgesamt ist die geringe Probandenanzahl sowie das fehlende Eingehen auf Symptome der AMS ein häufiger Schwachpunkt bei den bisherigen EEG Studien zur zerebralen Adaptation auf hypobare Hypoxie.

Neben den Versuchen, die akute Höhenkrankheit mittels EEG vorauszusagen, gibt es Untersuchungen zu Änderungen der Sauerstoffsättigung und des Säure-Basen-Haushaltes in der Höhe.

Roach et al. (1998) untersuchten die Prädiktion der akuten Höhenkrankheit anhand der arteriellen Sauerstoffsättigung bei 102 asymptomatischen Bergsteigern auf 4.200 m und 6.194 m. Dabei korrelierte das Auftreten der AMS signifikant negativ mit der Sauerstoffsättigung ($r=-0,48$, $p<0,001$), d.h. dass Probanden mit einer niedrigeren Sauerstoffsättigung stärker unter Symptomen der AMS litten. Nachdem ein Schwellenwert von 81,5 % Sauerstoffsättigung festgesetzt wurde, konnten 81 % der Patienten identifiziert werden, die an der Entwicklung einer AMS gefährdet waren. Für 67% der Probanden hingegen konnte dieses Risiko ausgeschlossen werden. Infolgedessen wurde eine mögliche Prädiktion der akuten Höhenkrankheit durch die nicht-invasive Pulsoxymetrie postuliert (Roach et al. 1998).

An 13 Probanden wurden im Rahmen einer Expedition auf bis zu 8.047 m nicht-invasive Messungen der Sauerstoffsättigung vorgenommen und Fragebögen zu Symptomen der akuten Höhenkrankheit eingesetzt (Tannheimer et al. 2002). Es

zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen einer Abnahme der Sauerstoffsättigung und der Entwicklung der akuten Höhenkrankheit, die eine Verwendung der Pulsoxymetrie zur Prädiktion der akuten Höhenkrankheit sinnvoll erscheinen ließ (Tannheimer et al. 2002).

Ebenfalls mittels nicht-invasiver Messmethoden wurde bei 17 Trekkingtouristen auf bis zu 5.600 m die zerebrale und periphere Sauerstoffsättigung untersucht. Die erhobenen Daten lieferten in grossen Höhen einen deutlicheren Abfall der zerebralen als der peripheren Sauerstoffsättigung, der somit eine Primärursache für das Auftreten der akuten Höhenkrankheit darstellen könnte. Ein Zusammenhang zwischen dem Abfall der Sauerstoffsättigung und dem Auftreten zerebraler Symptome bzw. Veränderungen im zerebralen Blutfluss oder EEG konnte bislang nicht geklärt werden (Hadolt et al. 2003).

Die Beeinträchtigung der äußeren cochleären Haarzellen und vestibulären Sinneszellen des Innenohrs durch die Höhe wurde auf bis zu 7.050 m mittels Ableitung otoakustischer Emissionen nicht-invasiv untersucht. Bei diesem Messverfahren werden die äußeren cochleären Haarzellen durch Schallenergie aktiviert und deren Reizantwort in Form von Kontraktionen, die sich als akustische Geräuschaussendungen im äußeren Gehörgang messen lassen, mit einem hochempfindlichen Mikrofon aufgefangen. Frequenzassoziierte Einschränkungen des Gehörs können mittels cochleärer Distorsionsprodukt-Emissionen (DPOAE), die bei Stimulation des Hörorgans mit zwei Sinustönen unterschiedlicher Frequenz entstehen, indirekt abgeschätzt werden. Mit zunehmender Höhe kam es zur Signalreduktion der äußeren cochleären Haarzellen. Dies ließe sich zwar durch eine erhöhte Blutviskosität mit zunehmender Höhe erklären, die DPOAE korrelieren aber nicht mit den höhenbedingten Durchblutungsstörungen. Dafür scheint vor allem der Anstieg des intrakraniellen Drucks verantwortlich zu sein, der eine Zunahme des Intra- und Extravolumens zur Folge hat. Hierdurch steigt der Druck im Perilymphraum des Innenohrs, infolgedessen die Beweglichkeit der Basilarmembran und der äußeren cochleären Haarzellen messbar eingeschränkt ist. Des Weiteren wurden Augenbewegungen über eine Videobrille mit integrierten Infrarot-Videokameras nicht-invasiv aufgezeichnet. Auf den gemessenen Höhenstufen

München 530 m, 5.600 m, 6.450 m, 7.050 m) wurde kein Nystagmus registriert (Mees et al. 2003).

Durch zunehmenden Tourismus in schwer zugängliche und medizinisch unterversorgte Gebiete in Asien und Lateinamerika kommt der Identifizierung prädiktiver Faktoren für die Entstehung einer AMS grosse Bedeutung zu. Bisherige Untersuchungen beschäftigten sich teilweise mit Einzelaspekten von Hirnfunktionen in der Höhe, jedoch wurden diese bisher nicht an einem grösseren Bergsteigerkollektiv unter Einbeziehen der Ausprägung der akuten Höhenkrankheit über einen Untersuchungszeitraum von drei Wochen (longitudinale Verlaufsbeobachtung) und der Kombination der verschiedenen zur Einschätzung der Zusammenhänge wichtigen Methoden (24-Kanal EEG, Sauerstoffsättigung, endexpiratorischer Kohlendioxidgehalt) durchgeführt.

Im folgenden werden die EEG Frequenzbereiche Alpha, Beta, Theta und Delta beschrieben, sowie die EEG Veränderungen im Alter und bei Hyperventilation.

EEG Frequenzbereiche

EEG Alphafrequenzbereich

Die mittels EEG gemessene occipitale Grundaktivität ist bei den meisten erwachsenen Menschen (20-60 Jahre) durch eine Alpha-Aktivität (8-13 Hz) charakterisiert, die in den occipitalen Hirnregionen dominiert. Bei 85 % der gesunden erwachsenen Menschen liegt der Alphafrequenzbereich zwischen 9,5 Hz und 10,5 Hz. 66 % der durchschnittlichen Alpha-Spannung liegt zwischen 20 μ V und 60 μ V (Tyner et al. 1983, Simonova et al. 1967). Circa 11 % der gesunden Erwachsenen haben einen mehr oder weniger „Nicht-Alpha-Rhythmus“, der zwischen 10 μ V und 20 μ V liegt und keine klare Alpha-Aktivität zeigt (Gibbs et al. 1943). Die occipitale Grundaktivität liegt dann vorwiegend zwischen 14 Hz bis 16 Hz, die mit geringer ausgeprägter Alpha-Aktivität vermischt ist und als „schnelle Variante“ (Beta-Variante) aufgefasst wird. Entscheidend für Auftreten und Ausprägung der Alpha-Tätigkeit sind weitest gehende Verminderung sensorischer Reize (Augenschluss) und bestmögliche psychische und physische Entspannung bei Wachheit.

Hinsichtlich Amplitude und Ausprägung des Alpha-Grundrhythmus sind Seitendifferenzen häufig und physiologisch, wobei in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die Alpha-Aktivität rechts occipital höheramplitudig ist (Cobb 1963). Intraindividuell ist das Erscheinungsbild der Alpha-Aktivität sehr konstant, sofern die EEG Ableitungen stets unter gleichartigen Bedingungen durchgeführt werden (Travis 1937).

EEG Betafrequenzbereich

Als Grundaktivität der frontozentralen Hirnregion lässt sich meist eine Beta-Aktivität (Chatrian et al. 1974) einer Frequenz zwischen 18 Hz und 30 Hz ableiten (Berger 1930). Die Spannung der Beta-Aktivität reicht typischerweise von 5 μV bis 20 μV (Jasper et al. 1938). Da sie in der Regel symmetrisch auftritt, sprechen konstante Seitendifferenzen in der Amplitude der Beta-Tätigkeit für eine lokalisierte kortikale Schädigung auf der Seite der Amplitudenreduktion (Gloor et al. 1977). Bei Knochenlücken, z.B. nach Trepanation, ist auf der operierten Seite eine Amplitudenerhöhung der Beta-Aktivität zu verzeichnen, sofern keine kortikale Läsion dies verhindert (Lüders und Noachtar 2000).

EEG Thetafrequenzbereich

Im normalen EEG des Erwachsenen tritt Theta-Aktivität mit Frequenzen zwischen 4 Hz und 7 Hz in den zentralen, temporalen und parietalen Arealen auf, ist aber selten rhythmisch (Walter et al. 1944). Dabei ist das Auftreten in der linken Hemisphäre deutlicher ausgeprägt. Bei 90 % der Erwachsenen betrug die Theta-Spannung weniger als 15 μV . Wenn die Amplitude der Theta-Aktivität die Alpha-Amplitude um mehr als 50 % übersteigt, dann kann dies auf pathologische Prozesse hindeuten (Cobb 1950).

EEG Deltafrequenzbereich

Die Delta-Aktivität ist mit einer Frequenz kleiner als 4 Hz definiert (Walter et al. 1944). EEG Verlangsamungsherde mit Delta-Aktivität werden durch Läsionen im Bereich der weißen Substanz hervorgerufen, die thalamokortikale Verbindungen zerstören (Gloor et al. 1977). Unterschieden werden können das

fokale und generalisierte Auftreten der Verlangsamung der Delta-Aktivität. Erstere spricht für eine umschriebene Läsion der thalamokortikalen Verbindungen insbesondere in der weißen Hirnsubstanz. Eine unilaterale Delta-Aktivität ist Ausdruck einer mehr oder weniger deutlichen Läsion (auch eines Ödems) einer Hemisphere oder thalamischer bzw. hypothalamischer Läsionen. Bilaterale Delta-Aktivität spricht für diffuse schwere kortikale Störung oder für eine bilaterale Läsion in den basalen Hirnkernen und des Tegmentum im Mittelhirn. Schwere Störungen der interneuronalen Verbindungen und/oder des biochemischen Umfeldes kortikaler Neurone führen zu kontinuierlichen Verlangsamungen (Gloor et al. 1968). Eine generalisierte kontinuierliche Verlangsamung entspricht wie eine Verlangsamung des Grundrhythmus einer diffusen Hirnfunktionsstörung oder Enzephalopathie. Fokale kontinuierliche Verlangsamung wird vorwiegend durch akute oder subakute, progressive destruierende Läsion verursacht (Glimore et al. 1981).

EEG im Alter

Der dominierende occipitale Alpha-Grundrhythmus liegt im Alter über 9 Hz (Katz und Horowitz 1982). Jenseits des 60. Lebensjahres kommen zunehmend häufig Theta-Wellen und auch unterlagerte Delta-Gruppen in den Temporalregionen vor allem links vor (Torres 1983).

EEG und Hyperventilation

Hyperventilation auf Meereshöhe führt zu einer Senkung des Kohlendioxid-Partialdrucks im Blut und Gewebe (Hypokapnie). Die Folge ist eine Minderdurchblutung durch Engstellung der Gefäße (Vasokonstriktion). Sie führt zu einer Reduktion des Sauerstoff- und Glukoseantransportes. Neurophysiologische Grundlagen-Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass nicht nur der Sauerstoffmangel (ischämische Hypoxydose), sondern auch schon der Abfall des Kohlendioxid-Partialdrucks selbst zu einer Depolarisation der Zellmembranen der Neurone führt. Danach ist auch ein unmittelbarer Effekt der Hypokapnie anzunehmen. Zerebrovaskuläre, hämodynamische Änderungen sowie EEG Veränderungen, die nach einem plötzlichen Abfall des arteriellen $p\text{CO}_2$ von einem künstlich hergestellten Ausgangswert auftreten,

wurden an neun gesunden Probanden untersucht (Halpern et al 2003). Zu diesem Zweck inhalierten die Teilnehmer nach fünf Minuten Raumluft für durchschnittlich sechs Minuten 5-10 % Kohlendioxid angereicherten Sauerstoff. Die EEG Verlangsamungen, die sich in einer Reduktion der Alpha-Aktivität und Zunahme der Delta-Aktivität widerspiegeln, konnten sowohl unter Hypo- als auch unter Hyperkapnie gemessen werden. Daher postulierten die Forscher, dass die EEG Verlangsamungen unter Hypokapnie durch ischämische und metabolische Faktoren begründet und die EEG Verlangsamungen unter Hyperkapnie durch den gestiegenen arteriellen $p\text{CO}_2$ allein bedingt sein könnten, dessen Effekt stärker wiege als die Effekte der begleitenden zerebralen Hyperämie (Halpern et al. 2003).

Wahrscheinlich wirken sich letztlich beide metabolischen Faktoren, zuerst die Kohlendioxid-Reduktion und dann der nachfolgende Sauerstoffmangel, mit ihren gleichgerichteten Wirkungen additiv aus. Van der Worp et al. veröffentlichten 1991 eine Studie, in der anhand zweier Gruppen Unterschiede zwischen Hypokapnie und Hypoxie auf Veränderungen im EEG untersucht wurden. Die erste Gruppe, an der die Hypokapnie-bedingten EEG Veränderungen gemessen wurden, bestand aus zwölf gesunden, männlichen Probanden. Es zeigte sich occipital eine Abnahme der Alpha-Aktivität und eine Zunahme der langsamen EEG Theta- und Deltafrequenzen bei gleichzeitiger Reduktion des Kohlendioxid-Partialdrucks. Zur Messung der Hypoxie-bedingten EEG Veränderungen wurden Daten an einer zweiten Gruppe mit zehn gesunden, männlichen Probanden erhoben mit einer Hämoglobin-Sauerstoffsättigung von 80, 70 und 60 %. Ein Anstieg der langsamen EEG Aktivität konnte nur unter 60 % Sauerstoffsättigung nachgewiesen werden. Insgesamt konnte gezeigt werden, dass die EEG Veränderungen während der Hyperventilation nicht allein durch die zerebrale Hypoxie erklärt werden können, sondern andere Mechanismen dafür verantwortlich sein müssen, die bis heute noch nicht ausreichend geklärt sind (van der Worp et al. 1991).

Um festzustellen, ob die Hypoxie-Theorie für die Hyperventilation-induzierte EEG Verlangsamung eine Rolle spielt, wurden 67 Patienten im Alter von fünf bis zwölf Jahren untersucht, die an Epilepsie leiden. Dabei wurden relative Konzentrationsänderungen im zerebralen oxygenierten, desoxygenierten und

totalen Hämoglobin sowie der oxidierten Cytochromoxidase mittels Nahinfrarot-Spektroskopie in der frontalen Hirnregion gemessen. Die EEG Verlangsamung, die intermittierend bei 22 Patienten auftrat, war weder synchron mit den Veränderungen der zerebralen Sauerstoffsättigung noch mit denen des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids. Da die EEG Verlangsamung bei 22 Patienten binnen einer Sekunde nach Abbruch der Hyperventilation bei immer noch niedriger zerebraler Sauerstoffsättigung und niedriger Konzentration des endexpiratorischen Kohlendioxids vorhanden war, müssen wohl noch andere Mechanismen als die Hypoxie-Theorie für die EEG Verlangsamung vorhanden sein (Hoshi et al. 1999).

Änderungen im EEG treten unter verschiedenen Sauerstoffkonzentrationen und unter kontrollierter Hyperventilation auf. Mittels Spektralanalyse wurden an zehn Probanden EEG Veränderungen infolge Hyperventilation quantifiziert. Gezeigt wurde der Effekt von Hyperoxie auf diese Veränderungen und auf subjektive Symptome der Hyperventilation. Trotz verschiedener, eingeatmeter Sauerstoffkonzentrationen (21 %, 100 %, 16 %) unter Eukapnie überwog der occipitale Alphafrequenzbereich im EEG und am Ende der Hyperventilation verlagerte sich dieses Spektrum zu Gunsten eines Anstiegs des Deltafrequenzbereichs signifikant. Die Frequenzverschiebung im EEG war auch unter Hyperventilation nicht von der eingeatmeten Sauerstoffkonzentration (21 %, 100 %, 16 %) abhängig. Außerdem hatte die eingeatmete Sauerstoffkonzentration keine Auswirkung auf Symptome der akuten Hyperventilation (Kennealy et al. 1986).

Daneben gibt es noch die Theorie der zentralnervösen Auslösung der Hyperventilationsreaktion. Danach setzt der Effekt des Kohlendioxid-Druckabfalls zunächst an spezifisch reagierenden Neuronen im Hirnstamm, in der *Formatio reticularis*, an. Von dort aus wird durch neuronale Projektion eine Änderung (vorwiegend Hemmung) der thalamokortikalen Aktivität bewirkt, die in vieler Hinsicht den Veränderungen bei Vigilanzabnahme und im Schlaf ähnlich sein soll. Die allgemeine Vasokonstriktion der zerebralen Gefäße, der in dieser Theorie sekundäre Bedeutung zukommt, wird ebenfalls als zentral ausgelöste, neurogen vermittelte Gefäßreaktion gedeutet (Patel et Maulsby 1987).

2 Fragestellung

In der vorliegenden Studie sollte geprüft werden, ob

1. eine Beziehung zwischen EEG Veränderungen und Symptomen der akuten Höhenkrankheit bei Messungen auf bis zu 5.050 m besteht und
2. mögliche Effekte auf das EEG mit Änderungen der peripheren Sauerstoffsättigung und des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids, als Ausdruck kompensatorischer Mechanismen korrelieren.

3 Methodik

3.1 Probanden

Wir untersuchten 32 Probanden (20 Männer und zwölf Frauen im Alter von 19 bis 66 Jahren, Median 43 Jahre) aus Österreich und Deutschland während einer dreiwöchigen Expedition im Kumbu Himal, Nepal. Hierbei nahmen 17 an einem Trekking zu den Gokyo-Seen 5.300 m (Gokyogruppe) und 15 an der Besteigung des 6.200 m hohen Island Peak (Island Peak-Gruppe) teil. Die erste Untersuchung erfolgte als Basismessung in Herxheim (Deutschland) auf 100 m. Die zweite in Namche Bazar (Nepal, 3.440 m) und die dritte auf der Silberpyramide (Nepal, 5.050 m). Fünf Probanden wurden schon vor der dritten und damit letzten durchgeführten EEG Messung höhenkrank. Sie konnten nicht mehr auf 5.050 m aufsteigen. Von diesen Teilnehmern wurden daher nur Daten auf 100 m und 3.440 m erhoben. Die Island Peak Gruppe bestand aus in den Alpen erfahrenen Bergsteigern, die jedoch bisher nicht im Himalaya Höhen über 6.000 m erklommen hatten. Die Trekking Teilnehmer verfügten über eine gute Grundkondition, waren aber alle zum ersten Mal in Höhen über 5.000 m.

3.2 Lake-Louise-Score

Der Lake-Louise-Score zur Erfassung von Symptomen der AMS wurde zweimal täglich erhoben (eine Morgen- und eine Abendmessung). Dieser gliedert sich in einen subjektiven und einen objektiven Teilabschnitt. Dabei werden folgende Symptome vom Probanden selbst eingeschätzt und in einer Ordinalskala (je höher umso ausgeprägter) notiert: Kopfschmerz, gastrointestinale Beschwerden, Müdigkeit/Schwäche, Schwindel und Schlafstörung. Pro Symptom können maximal 3 Punkte erreicht werden, für die subjektive Einschätzung also zusammen 15 Punkte. Bewusstseinsänderung, Ataxie und periphere Ödeme wurden im zweiten Teil des Bogens durch den Expeditionsarzt ebenfalls anhand einer Ordinalskala bewertet. Dabei werden für Bewusstseinsänderung maximal 4, für Ataxie maximal 4 und für periphere Ödeme maximal 2 Punkte vergeben, zusammen 10 Punkte für den zweiten Abschnitt. Bei einer Funktionsprüfung können 0-3 Punkte vergeben werden, wobei 0 keiner Aktivitätseinschränkung und 3 einer schweren

Aktivitätseinschränkung entspricht. Addiert man nun die Summe aus dem subjektiven ersten, dem objektiven zweiten Teil und der Funktionsprüfung, erhält man den Gesamt Score, der insgesamt einer Punktzahl von 0 bis 28 entspricht. Als symptomatisch wurden Probanden mit einem Lake-Louise-Score grösser gleich drei eingestuft (siehe Tabelle 1).

3.3 EEG

In unserer Studie wurden die EEG mittels Silber/Silberchlorid-Brückenelektroden nach den Kriterien der Internationalen Föderation der Gesellschaften für Klinische Neurophysiologie im 10-20 System abgeleitet (Klem et al. 1999). Während der Untersuchungstage erfolgten die Messungen mit 24 Kanälen über einen Zeitraum von 10 Minuten mit einem portablen digitalen EEG Gerät (Firma SIGMA Medizintechnik, Berlin). Die Widerstände lagen $<10\text{ k}\Omega$, die Abtastrate betrug 256 Hz und die vertikale Resolution 16 bit. Die Speicherung erfolgte auf Harddisk (Laptop) und zusätzlich auf Compaq Flash Cards. Aufgezeichnet wurde auf 100 m, auf 3.440 m und auf 5.050 m. Um ein einheitlich waches Vigilanzniveau zu gewährleisten, wurden die Probanden während der EEG Ableitung in unregelmäßigen Abständen aufgefordert, die Augen zu öffnen und zu schließen.

Die beiden Ohrelektroden A1 und A2 dienten zur referentiellen Remontage und wurden aufgrund zu hoher Artefaktüberlagerung bei den statistischen Berechnungen nicht als Einzelelektroden berücksichtigt. Die physikalische Referenzelektrode lag bei FCZ, also zwischen den Elektroden CZ und FZ (siehe Abbildung 1 und Tabelle 2).

Die extremen Bedingungen dieser Höhen, d.h. tiefen Aussentemperaturen und die hygienischen Beschränkungen (hohe Hautwiderstände durch mangelndes Haarewaschen) führten unweigerlich zu technischen Schwierigkeiten und artefaktanfälligen EEG Ableitungen. Durch die zwangsläufig tiefen Temperaturen froh das Elektrodengel häufig ein und es bildeten sich darin Luftbläschen. Dies führt unweigerlich zu einem erhöhten Widerstand in der EEG Messung und Artefaktbildung. Des Weiteren war durch die Kälte bis -20°C der Elektrolytfluss herabgesetzt, was sich ebenso negativ auf die Messungen auswirkte. Durch die Grösse der Expedition wurden zahlreiche Untersuchungen

von unterschiedlichen Forschergruppen auf sehr engem Raum durchgeführt. So befanden sich viele Geräte bei der Basismessung in Herxheim und auf der Silberpyramide zur Stromgewinnung und -speicherung, die während der Untersuchungen nicht abgestellt werden konnten und dadurch zu erheblichen Artefakten beitrugen. Aus diesen Gründen waren lediglich bei zwei Probanden alle 19 Elektroden unter den drei Bedingungen artefaktfrei (Probanden 8 und 32). Von insgesamt 32 Probanden waren auf 100 m 512 Elektroden, auf 3.440 m 531 Elektroden und auf 5.050 m 463 Elektroden, somit 1.506 Elektroden zur Auswertung verfügbar. Bei 83 % der EEG Elektroden waren somit artefaktfreie Daten verfügbar. Um die ausgefallenen Elektroden zu ersetzen, wurden fehlende Werte durch auswertbare, anatomisch benachbarte, artefaktfreie Elektroden aus dem 10-20 System ersetzt. Dabei wurde der Wert einer Ersatzelektrode erster Wahl verwendet, die sich in direkter Nachbarschaft und im gleichen Gehirnlappen der ausgefallenen Elektrode befand (Tabelle 3). Falls diese nicht verfügbar war, wurde eine Ersatzelektrode zweiter Wahl herangezogen, ebenfalls eine direkt benachbarte Elektrode (Tabelle 3). Bei den Ergänzungen wurde stets darauf geachtet, die Hemisphergrenzen nicht zu überschreiten. Aus diesem Grund wurde für die Elektroden FZ und PZ nur die Elektrode CZ als erste Wahl herangezogen (Tabelle 3). Schließlich konnten durch diese Maßnahme komplette Datensätze von 20 Probanden gewonnen werden.

3.4 Perktan gemessene Sauerstoffsättigung, endexpiratorisch gemessenes Kohlendioxid

Die periphere Sauerstoffsättigung wurde mittels transkutaner Pulsoxymetrie am Zeigefinger gemessen. Die Messung des endexpiratorischen Kohlendioxids (etCO₂) erfolgte über eine Nasensonde, die den Kohlendioxidgehalt (aus der Ausatemluft) endexpiratorisch registriert. Verwendet wurde ein kombiniertes Gerät (Firma Tyco Healthcare, Halberstadt) zur Messung der peripheren Sauerstoffsättigung und des endexpiratorischen Kohlendioxids.

3.5 Analyseverfahren und Auswertungsmethoden

Von jedem Probanden wurden 15 mal vier Sekunden artefaktfreie EEG Abschnitte ausgewählt. Die mittels EEG registrierten Potentialschwankungen wurden mit der Spektralanalyse quantifiziert. Die Gesamtvarianz einer Zeitreihe wird dabei auf einzelne Frequenzkomponenten aufgeteilt. Die Varianz einer Frequenzkomponente wird als Power der Komponente bezeichnet und ist ein Maß ihrer Intensität. Die mathematische Grundlage für eine solche Varianzanalyse ist die Theorie der Fourier-Reihen, mit denen eine Zeitreihe in eine Summe von Cosinus-Funktionen unterschiedlicher Frequenzen, Amplituden und Phasen überführt wird. Die einzelnen Cosinus-Funktionen sind die Frequenzkomponenten des Spektrums, und das Amplitudenquadrat jeder Cosinus-Funktion ist die Power der jeweiligen Frequenzkomponente (Dumermuth 1977, Otnes et al. 1972). Das Frequenzspektrum wurde dabei üblicher Konvention entsprechend (Noachtar et al. 1999) in einen Delta- (1-4 Hz), Theta- (5-7 Hz), Alpha- (8-12 Hz) und Betafrequenzbereich (13-40 Hz) unterteilt.

Die statistische Auswertung erfolgte mittels SPSS 11.5 und MS Excel 2000. Als Analyseverfahren verwendeten wir aufgrund der nicht normal verteilten Stichproben die Medianwerte, den Wilcoxon-Test für verbundene Stichproben und den Mann-Whitney-U-Test für nicht verbundene Stichproben. Die Korrelationsanalysen wurden mittels der Spearman-Korrelation für nicht parametrische Tests erstellt. Das Signifikanzniveau wurde bei $p < 0,05$ festgelegt. Soweit nicht anders vermerkt erfolgte die Darstellung als Median und SEM (Standard Error Mean).

4 Ergebnisse

Im Folgenden werden die signifikanten Ergebnisse der temporalen, frontalen und parietalen Hirnregionen aufgeführt. Die EEG Daten der occipitalen Hirnregion zeigten sich lediglich als Trend und wurden im Rahmen der Bewertung der Veränderung des Grundrhythmus dargestellt. Berechnet wurden alle Messwerte der EEG Elektroden, der peripheren Sauerstoffsättigung und des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids (siehe Anhang).

4.1 Vergleich der Änderung des EEG Powerspektrums von 100 m auf 3.440 m und 100 m auf 5.050 m zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden

Ausgewertet wurden sowohl die EEG Daten der 20 Probanden mit den ergänzten Werten als auch die EEG Daten der 32 Probanden mit den EEG Daten ohne Ergänzungen.

Beim Vergleich der Änderung der EEG Powerspektren zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden wurden zunächst die Differenzen der Absolutwerte der EEG Powerspektren zwischen 100 m und 3.440 m sowie 100 m und 5.050 m gebildet. Anschließend wurden mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests die ermittelten Differenzen ausgewertet. Als Gruppenvariable wurde das Auftreten der akuten Höhenkrankheit verwendet. Verglichen wurden die Differenzen der EEG Powerspektren von 19 Elektroden mit vier Frequenzbereichen (Delta, Theta, Alpha und Beta) von 100 m auf 3.440 m und von 100 m auf 5.050 m zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden. Nach Anwendung des Mann-Whitney-U-Tests kam es bei beiden Gruppen ($n=20$, $n=32$) in der Richtungsänderung der EEG Powerspektren lediglich zu einer Übereinstimmung* der signifikanten Ergebnisse, sodass wir es vorzogen, uns trotz fehlender Daten und aufgrund der erheblichen Streuung der ergänzten Daten auf die ursprünglichen Werte der

* $p=0,030$ für das Alphafrequenzband des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 in der Gruppe $n=20$ von 100 m auf 5.050 m; $p=0,034$ für das Alphafrequenzband des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 in der Gruppe $n=32$ von 100 m auf 5.050 m

32 Probanden zu konzentrieren. Bei der Analyse der Daten ergaben sich folgende EEG Veränderungen:

4.1.1 Frontale Hirnregion

Die Analyse des EEG Powerspektrums in der Elektrode FP1 ergab für die Gruppe $n=32$, dass der Betafrequenzbereich der symptomatischen Probanden ($n=8$) von 100 m auf 3.440 m um 24,99 % ($1,99 \mu V^2$) zunahm, der Betafrequenzbereich der asymptomatischen Probanden ($n=7$) sogar um 49,59 % ($5,40 \mu V^2$). Allerdings waren die EEG Veränderungen zwischen beiden Gruppen von 100 m auf 3.440 m nicht signifikant unterschiedlich. Von 100 m auf 5.050 m änderte sich der Betafrequenzbereich der symptomatischen Probanden ($n=4$) um 2,60 %* ($-0,44 \mu V^2$) und der der asymptomatischen ($n=5$) stieg um 64,51 % ($5,87 \mu V^2$) an. Dieser Unterschied zwischen beiden Gruppen war signifikant ($p=0,027$). Bei der Analyse des EEG Powerspektrums in der Elektrode FP2 kam es zwar zu keinen signifikanten Ergebnissen, allerdings stieg, ähnlich der Elektrode FP1, der Betafrequenzbereich der asymptomatischen Probanden von 100 m auf 3.440 m stärker an als der der symptomatischen Probanden. Dieses Ergebnis wurde entsprechend auch von 100 m auf 5.050 m erzielt (siehe Abbildung 2).

4.1.2 Temporale Hirnregion

Der Deltafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode T4 nahm bei den symptomatischen Probanden ($n=14$) der Gruppe $n=32$ von 100 m auf 3.440 m um 28,83 % ($0,80 \mu V^2$) zu, der der asymptomatischen ($n=10$) fiel hingegen um 48,32 % ($-2,92 \mu V^2$) ab. Dieser Unterschied zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden war signifikant ($p=0,046$). Weiter kam es in der Elektrode T4 von 100 m auf 5.050 m bei den symptomatischen Probanden ($n=11$) zu einem Anstieg des Deltafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums um 17,55 % ($1,07 \mu V^2$). Der Deltafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode T4 der

* Die positive prozentuale Veränderung um 2,60 % ergibt sich durch die geringe Anzahl ($n=4$) und dadurch, dass bei der Berechnung des Medians (Rohwerte) Extremwerte nicht berücksichtigt werden, bei der Berechnung der Mittelwerte (Prozentwerte) jedoch mit einfließen.

asymptomatischen Probanden (n=10) fiel hingegen um 57,91 % ($-3,88 \mu V^2$) ab. Auch dieser Unterschied zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden war signifikant ($p=0,035$).

In der Elektrode T3 fiel bei den symptomatischen Probanden (n=12) der Deltafrequenzbereich des EEG Powerspektrums von 100 m auf 3.440 m nur um 0,47 % ($-0,02 \mu V^2$) ab, der der asymptomatischen (n=8) fiel von 100 m auf 3.440 m sogar um 54,94 % ($-3,65 \mu V^2$). Dabei war der Abfall des Deltafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden signifikant unterschiedlich ($p=0,037$). Von 100 m auf 5.050 m kam es bei den symptomatischen Probanden (n=10) im Deltafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode T3 zu einem Anstieg von 2,81 % ($0,09 \mu V^2$). Der Deltafrequenzbereich des EEG Powerspektrums der asymptomatischen Probanden (n=9) fiel hingegen von 100 m auf 5.050 m um 42,66 % ($-3,14 \mu V^2$) ab. Allerdings war die unterschiedliche Änderung der EEG Aktivität zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden in diesem Höhenvergleich nicht signifikant unterschiedlich ($p=0,060$) (siehe Abbildung 3).

Um die Prädiktion der AMS anhand des Deltafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums der temporalen Hirnregion noch eindeutiger herauszuarbeiten, wurden Probanden, die bereits auf 3.440 m Symptome der AMS zeigten, aus der Analyse ausgeschlossen (n=5). Probanden, deren EEG artefaktüberlagert waren (n=5), wurden ebenfalls aus der Wertung genommen. Symptomatische Probanden, die diese Kriterien erfüllten, waren die Probanden mit den Nummern 2, 3, 6, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 23, 25 und 30 (n=12), asymptomatisch waren die Probanden mit den Nummern 1, 4, 8, 14, 17, 19, 20, 21, 29 und 33 (n=10), woraus sich ein Probandenkollektiv von insgesamt n=22 (ohne ergänzte Werte) ergibt. In dieser Gruppe kam es zu folgendem signifikanten Ergebnis: Der Deltafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode T4 der im Verlauf symptomatisch werdenden Probanden (n=12) stieg von 100 m auf 3.440 m um 5,5 % ($1,8 \mu V^2$) an, während dies bei den im Verlauf asymptomatisch bleibenden Probanden (n=10) um 51 % ($-2,9 \mu V^2$) abfiel.

Dieser Unterschied war zwischen beiden Gruppen signifikant unterschiedlich ($p=0,025$) (Feddersen et al. 2006).

4.1.3 Parietale Hirnregion

Von 100 m auf 3.440 m stieg bei den symptomatischen Probanden ($n=15$) der Gruppe $n=32$ der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 um 5,83 % an ($2,81 \mu V^2$). Der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums der asymptomatischen Probanden ($n=10$) fiel hingegen von 100 m auf 3.440 m um 10,61 % ($-5,58 \mu V^2$) ab. Jedoch war die unterschiedliche Änderung der EEG Aktivität zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden von 100 m auf 3.440 m nicht signifikant unterschiedlich ($p=0,657$). Bei der weiteren Untersuchung des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 kam es bei den symptomatischen Probanden ($n=13$) von 100 m auf 5.050 m zu einer Zunahme des Alphafrequenzbereichs um 21,23 % ($2,66 \mu V^2$). Der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 der asymptomatischen Probanden ($n=12$) fiel jedoch von 100 m auf 5.050 m um 22,65 % ($-13,02 \mu V^2$) ab. Dieser Unterschied zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden war signifikant ($p=0,034$).

Die Untersuchung des EEG Powerspektrums der Elektrode P3 der Gruppe $n=32$ erbrachte keine signifikanten Ergebnisse im Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums, verhielt sich aber bei symptomatischen und asymptomatischen Probanden ähnlich der Elektrode P4 (siehe Abbildung 4).

Von 100 m auf 3.440 m stieg bei den symptomatischen Probanden ($n=9$) der Gruppe mit ergänzten Werten ($n=20$) der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 um 42,45 % ($15,21 \mu V^2$) an. Der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 der asymptomatischen Probanden ($n=11$) fiel hingegen von 100 m auf 3.440 m um 2,36 % ($-0,83 \mu V^2$) ab. Jedoch war die unterschiedliche Änderung der EEG Aktivität zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden von 100 m auf 3.440 m nicht signifikant unterschiedlich ($p=0,732$). Bei der weiteren Untersuchung des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 kam es bei den symptomatischen Probanden ($n=9$) von 100 m auf 5.050 m zu einer Zunahme

des Alphafrequenzbereichs um 63,19 % ($22,64 \mu V^2$). Der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 der asymptomatischen Probanden ($n=11$) fiel jedoch von 100 m auf 5.050 m um 12,95 % ($-4,55 \mu V^2$) ab. Dieser Unterschied zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden war signifikant ($p=0,030$).

Bei der Analyse des EEG Powerspektrums der Elektrode P3, ebenfalls bei der Gruppe mit ergänzten Werten ($n=20$), fiel der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums der symptomatischen Probanden ($n=9$) von 100 m auf 3.440 m um 1,56 % ($-0,37 \mu V^2$) ab, das der asymptomatischen ($n=11$) stieg hingegen um 1,06 % ($0,33 \mu V^2$) an.

Von 100 m auf 5.050 m wurde schließlich das Ergebnis der gegenüberliegenden Elektrode P4 bestätigt. Der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode P3 nahm bei den symptomatischen Probanden ($n=9$) von 100 m auf 5.050 m um 4,77 % ($1,13 \mu V^2$) zu, der der asymptomatischen fiel um 39,47 % ($-12,25 \mu V^2$) ab. Dieser Unterschied zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden war signifikant ($p=0,044$) (siehe Abbildung 5).

4.1.4 Occipitale Hirnregion

Die Analyse der Daten der occipitalen Elektroden erbrachte mit dem Mann-Whitney-U-Test für keine der beiden Gruppen ($n=20$, $n=32$) signifikante Ergebnisse. Wir untersuchten die Daten der occipitalen Elektroden weiter mit dem Wilcoxon-Test, der für verbundene Stichproben gilt. Aufgrund der geringen Probandenzahl mit kompletten Elektrodendatensätzen in der Gruppe $n=32$ mussten wir uns auf die Gruppe der Probanden mit ergänzten Werten ($n=20$) beschränken. Hier kam es bei den symptomatischen Probanden im Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode O2 von 100 m auf 3.440 m zu einem Anstieg von $81,49 \mu V^2$ auf $125,90 \mu V^2$, was einer prozentualen Änderung von 54,50 % entspricht. Der entsprechende Alphafrequenzbereich der asymptomatischen Probanden stieg gleichzeitig um 32,07 % von $53,17 \mu V^2$ auf $70,22 \mu V^2$. Bei den symptomatischen Probanden fiel der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums von 3.440 m auf 5.050 m

um 22,82 % von 125,90 μV^2 auf 97,17 μV^2 , während sich bei den asymptomatischen der Anstieg des Alphafrequenzbereichs von 3.440 m auf 5.050 m um 28,24 % von 70,22 μV^2 auf 90,05 μV^2 fortsetzte.

Ähnlich verhielt sich der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode O1. Von 100 m auf 3.440 m stieg bei den symptomatischen Probanden der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode O1 um 23,61 % von 70,09 μV^2 auf 86,64 μV^2 und fiel von 3.440 m auf 5.050 m um 12,78 % von 86,64 μV^2 auf 75,57 μV^2 ab. Für die asymptomatischen Probanden wurde von 100 m auf 3.440 m ebenfalls eine Zunahme des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode O1 verzeichnet, nämlich eine Steigerung um 107,11 % von 58,81 μV^2 auf 121,80 μV^2 . Von 3.440 m auf 5.050 m stieg in dieser Gruppe der Alphafrequenzbereich nur um 5,75 % von 121,80 μV^2 auf 128,80 μV^2 (siehe Abbildung 6).

4.2 Vergleich der Änderung der peripheren Sauerstoffsättigung von 100 m auf 3.440 m und 100 m auf 5.050 m zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden mittels Mann-Whitney-U-Test

Beim Vergleich der Daten der peripheren Sauerstoffsättigung mit dem Mann-Whitney-U-Test ergaben sich zwischen den symptomatischen und asymptomatischen Probanden weder von 100 m auf 3.440 m noch von 100 m auf 5.050 m signifikante Unterschiede.

4.3 Vergleich der peripheren Sauerstoffsättigung zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden auf 100 m, 3.440 m und 5.050 m

Mittels des Wilcoxon-Tests wurden die Absolutwerte der peripheren Sauerstoffsättigung (angegeben in %) symptomatischer und asymptomatischer Probanden miteinander verglichen.

Dazu wurden folgende drei Höhenpaare ausgewählt:

- 100 m (Herxheim) – 3.440 m (Namche Bazar)
- 3.440 m (Namche Bazar) – 5.050 m (Silberpyramide)
- 100 m (Herxheim) – 5.050 m (Silberpyramide)

Folgende signifikante Ergebnisse wurden mit dem Wilcoxon-Test erzielt:

Wilcoxon-Test für die symptomatischen Probanden

Von 100 m auf 3.440 m fiel die periphere Sauerstoffsättigung der symptomatischen Probanden von 99 % auf 88,5 % (n=18) ab, was einem signifikanten Unterschied entspricht ($p=0,000$). Dieser Abfall der peripheren Sauerstoffsättigung der symptomatischen Probanden setzte sich von 3.440 m auf 5.050 m von 88,5 % auf 84 % (n=13) fort und war ebenfalls signifikant ($p=0,001$). Schließlich wurde noch die Änderung der peripheren Sauerstoffsättigung der symptomatischen Probanden von 100 m auf 5.050 m getestet. Dabei zeigte sich eine ebenfalls signifikante Abnahme der peripheren Sauerstoffsättigung ($p=0,001$).

Wilcoxon-Test für die asymptomatischen Probanden

Die periphere Sauerstoffsättigung der asymptomatischen Probanden fiel im Schnitt von 99 % (n=14) auf 100 m auf 90 % (n=14) auf 3.440 m signifikant ab ($p=0,001$). Von 3.440 m auf 5.050 m fiel die periphere Sauerstoffsättigung der asymptomatischen Probanden weiter ab, nämlich auf einen Wert von 86 % (n=13), was einem signifikanten Unterschied entspricht ($p=0,001$). Schließlich ergab sich auch für den Höhenvergleich 100 m – 5.050 m der asymptomatischen Probanden ein signifikanter Unterschied bezüglich der peripheren Sauerstoffsättigung ($p=0,001$) (siehe Abbildung 7).

4.4 Vergleich der Änderung des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids von 100 m auf 3.440 m und 100 m auf 5.050 m zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden mittels Mann-Whitney-U-Test

Auch bei den Daten des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids kam es zwischen den symptomatischen und asymptomatischen Probanden weder von 100 m auf 3.440 m noch von 100 m auf 5.050 m zu signifikanten Unterschieden.

4.5 Vergleich des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden auf 100 m, 3.440 m und 5.050 m

Mittels Wilcoxon-Test wurden die Absolutwerte des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids (mmHg) symptomatischer und asymptomatischer Probanden miteinander verglichen.

Wiederum wurden drei Höhenpaare ausgewählt:

- 100 m (Herxheim) – 3.440 m (Namche Bazar)
- 3.440 m (Namche Bazar) – 5.050 m (Silberpyramide)
- 100 m (Herxheim) – 5.050 m (Silberpyramide)

Folgende signifikante Ergebnisse wurden mit dem Wilcoxon-Test erzielt:

Wilcoxon-Test für die symptomatischen Probanden

Das endexpiratorisch gemessene Kohlendioxid der symptomatischen Probanden fiel im Schnitt beim Anstieg von 100 m auf 3.440 m von 33 mmHg (n=18) auf 30,5 mmHg (n=18) ab. Bei weiterem Anstieg von 3.440 m auf 5.050 m setzte sich der Abfall des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids der symptomatischen Probanden von 30,5 mmHg auf 22 mmHg (n=13) fort (p=0,001). Der Abfall zwischen 100 m und 5.050 m war ebenfalls signifikant (p=0,001).

In der Gruppe $n=22$ (ohne ergänzte Werte), die sich nach Ausschluss der artefaktüberlagerten EEG und der bereits vor 3.440 m symptomatisch gewordenen Probanden aus symptomatischen ($n=12$) und asymptomatischen ($n=10$) Teilnehmern zusammensetzt, fiel von 3.440 m auf 5.050 m bei den symptomatischen Probanden das endexpiratorisch gemessene Kohlendioxid von 33 mmHg ($n=12$) auf 25 mmHg ($p=0,012$) und bei den asymptomatischen Teilnehmern von 33 mmHg auf 26 mmHg ($n=9^*$) signifikant ab ($p=0,008$).

Wilcoxon-Test für die asymptomatischen Probanden

Beim Anstieg von 100 m auf 3.440 m fiel bei den asymptomatischen Probanden das endexpiratorisch gemessene Kohlendioxid von 33 mmHg ($n=14$) auf 32,5 mmHg ($n=14$) ab. Von 3.440 m auf 5.050 m setzte sich der Abfall des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids der asymptomatischen Probanden von 32,5 mmHg auf 26 mmHg ($n=13$) fort ($p=0,001$). Der Abfall zwischen 100 m und 5.050 m war ebenfalls signifikant ($p=0,001$) (siehe Abbildung 8).

4.6 Korrelation der Änderung des EEG Powerspektrums und der Änderung der peripheren Sauerstoffsättigung symptomatischer und asymptomatischer Probanden von 100 m auf 3.440 m und 100 m auf 5.050 m

Bei der Korrelationsanalyse nach Spearman-Rho zwischen der Änderung des EEG Powerspektrums und der Änderung der peripheren Sauerstoffsättigung von 100 m auf 3.440 m und von 100 m auf 5.050 m analysierten wir wiederum die Daten mit und ohne vollständigem Datensatz getrennt ($n=20$, $n=32$).

Bei der ersten Gruppe ($n=32$) kam es zwischen den Änderungen des EEG Powerspektrums und den Änderungen der peripheren Sauerstoffsättigung weder von 100 m auf 3.440 m noch von 100 m auf 5.050 m zu signifikanten Korrelationen.

* Die restlichen drei Teilnehmer der symptomatischen Gruppe ($n=12$) waren zu höhenkrank um noch weiter auf 5.050 m zu steigen. Es konnten daher von 3.440 m auf 5.050 m keine Werte erhoben werden.

Die Untersuchung der zweiten Gruppe (n=20) lieferte bei den symptomatischen Probanden (n=9) folgende signifikante Korrelationen:

Von 100 m auf 5.050 m korrelierten bei den symptomatischen Probanden der Anstieg des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 signifikant positiv mit dem Abfall der peripheren Sauerstoffsättigung ($p=0,021$, $r=0,745$), d.h., dass bei den symptomatischen Probanden von 100 m auf 5.050 m ein umso geringerer Anstieg des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 vorhanden war, je stärker die periphere Sauerstoffsättigung abfiel. Bei den asymptomatischen Probanden hingegen kam es zu keiner Korrelation zwischen der Änderung der peripheren Sauerstoffsättigung und der EEG Aktivität (siehe Abbildungen 9 und 10).

Ebenfalls bei den symptomatischen Probanden (n=9) der zweiten Gruppe (n=20) kam es von 100 m auf 5.050 m zwischen der Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P3 und dem endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxid zu einer signifikant negativen Korrelation ($p=0,007$, $r=-0,815$). Folglich ging eine stärkere Abnahme des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids, die einer besseren Hyperventilation entspricht, mit einer grösseren Zunahme des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums einher (siehe Abbildungen 11 und 12).

Dieses Ergebnis wurde durch die Korrelation der Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 mit dem endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxid von 100 m auf 5.050 m, wenn auch nicht signifikant, für die symptomatischen Probanden (n=9) bestätigt ($r=-0,622$) (siehe Abbildung 13).

In einer weiteren, dritten Gruppe (n=22, ohne ergänzte Werte) wurden diejenigen, die bereits vor 3.440 m höhenkrank und deren EEG artefaktüberlagert waren, aufgrund der gezielteren Suche nach der Prädiktion der AMS nicht in die Auswertung miteinbezogen. Bei den symptomatischen

Probanden (n=9^{*}) korrelierte der Anstieg des Deltafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der temporalen Elektrode T4 signifikant positiv mit dem Abfall des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids von 100 m auf 5.050 m ($p < 0,045$, $r = 0,635$).

* Die restlichen drei Teilnehmer der symptomatischen Gruppe (n=12) waren zu höhenkrank um noch weiter auf 5.050 m zu steigen. Es konnten daher von 3.440 m auf 5.050 m keine Werte erhoben werden.

5 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse des EEG über den einzelnen Hirnregionen in Beziehung zur Entwicklung der AMS diskutiert. Danach wird die Beziehung zur perkutan gemessenen Sauerstoffsättigung und dem endexpiratorischen Kohlendioxid besprochen.

5.1 Temporale Hirnregion

Ein wesentliches Ergebnis dieser Studie ist, dass mittels EEG eine Prädiktion der AMS möglich ist. Der signifikante Anstieg des Deltafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Temporalregion (Elektroden T3 und T4) zwischen 100 m und 3.440 m ging bei den symptomatischen Probanden dem Auftreten von AMS Symptomen voraus. Dies entspricht einer regionalen Hirnfunktionsstörung in der Temporalregion. Die EEG Powerspektren der asymptomatischen Probanden hingegen zeigten im Deltafrequenzbereich der Temporalregion (Elektroden T3 und T4) verminderte Aktivität von 100 m auf 3.440 m sowie von 100 m auf 5.050 m. Dies reflektiert vermutlich Kompensationsmechanismen der asymptomatischen Probanden im temporalen Areal. Da zwischen den beiden Gruppen signifikant unterschiedliche EEG Veränderungen im Deltafrequenzbereich der temporalen Ableitungen (Elektroden T3 und T4) bereits von 100 m auf 3.440 m vor dem Auftreten von AMS Symptomen verzeichnet werden konnten, ist anhand von temporalen Verlangsamungen im EEG eine Prädiktion der akuten Höhenkrankheit möglich. EEG Verlangsamungen im Delta- und Thetafrequenzbereich sind bekannt als Ausdruck akuter Anoxie und Hypoglykämie (Creutzfeldt et al. 1961). Das EEG wird vor allem durch parallel liegende Generatoren erzeugt, die den Pyramidenzellen des Kortex zugeordnet werden (Ball et al. 1977). Zu regionalen EEG Verlangsamungen kommt es vor allem durch Läsionen der weißen Hirnsubstanz (Gloor et al. 1968). Im Tiermodell (Katzen) wurde dies bestätigt, indem gezielt bestimmte Hirnareale thermokoaguliert und die daraus resultierenden Hirnaktivitätsänderungen elektroenzephalographisch erfasst wurden. Es zeigte sich, dass einer unilateralen EEG Delta-Aktivität Läsionen der weißen Substanz, im Bereich des Thalamus oder Hypothalamus zugrunde

liegen und bilaterale Delta-Aktivitäten im EEG bilateralen Läsionen des im Mittelhirn gelegenen Tegmentum oder diffusen kortikalen Störungen zugeordnet werden können. Dies kann auch durch ein unilaterales Hirnödem mit Druck auf Hirnstamm oder Diencephalon, infolge der daraus resultierenden Funktionsstörungen, entstehen. Lokalisierte Läsionen des Kortex, unilaterale mesenzephal tegmentale Läsionen und vasogene Ödeme der zerebralen weißen Substanz führen hingegen nicht zum Auftreten einer EEG Delta-Aktivität (Gloor et al. 1977). Es wurde postuliert, dass es sich bei dem Höhenhirnödem um ein vasogenes Ödem handeln könnte (Hackett et al. 2001; Basnyat et al. 2003). Inwieweit solche Veränderungen auch schon im Stadium der akuten Höhenkrankheit auftreten könnten, war bisher unklar. In einer aktuellen MRT-Studie konnte jedoch gezeigt werden, dass Symptome der schweren akuten Höhenkrankheit nicht Ausdruck eines zerebralen Ödems sind (Fischer et al. 2004). Schaul et al. bestätigten die Entstehung der Delta-Aktivität infolge Läsionen der weißen Substanz, des Thalamus oder der *Formatio reticularis* (Schaul et al. 1981). Die Ergebnisse von Buzsaki et al. lieferten Hinweise für die Unterdrückung langsamer Delta-Wellen bei Arousal durch cholinerge, kortikal projizierende Neurone im Frontalhirn (Buzsaki et al. 1988). Bei Hirnläsionen könnte die cholinerge Deafferenzierung eine Rolle in der Produktion kortikaler Delta-Aktivität spielen. Ursachen für eine erhöhte Delta-Aktivität können metabolische Störungen, Läsionen in tiefen Mittellinienstrukturen in der Region des dritten Ventrikels oder oberen Hirnstamms (Gloor 1976) sein, sowie Erkrankungen der grauen Substanz, die kortikale und subkortikale Strukturen umfassen können (Gloor et al. 1968). Für eine Mitbeteiligung der Temporallappen sprechen unter anderem auch klinische Daten. Zwischen 5.488 m und 8.848 m fallen als erste vor allem visuospatiale Gedächtnisfunktionen aus (Hornbein et al. 1989). Diese Funktionen entsprechen rechten temporalen Hirnarealen und unterstreichen unsere Ergebnisse der Vulnerabilität temporaler Strukturen. Vorübergehende höhenbedingte neurologische Funktionsstörungen, wie z.B. Halluzinationen, Gleichgewichtsstörungen und Apraxie beim Ankleiden, könnten durch eine neuronale Funktionsstörung des rechten unteren parietalen und oberen temporalen Kortex erklärt werden (Firth et al. 2004). Letztlich führt die

Sauerstoffabnahme zu einer Verlangsamung mit einer Delta-Aktivität im EEG, die durch eine Kohlendioxid-induzierte Hyperventilation wieder rückgängig gemacht werden kann (Gibbs et al. 1943).

Auf zellulärer Ebene konnte die These der selektiven Verletzbarkeit des Hippocampus durch Hypoxie bestätigt werden. Insbesondere der Neurotransmitter Glutamat scheint eine destruiende Wirkung in der CA1 Region des Hippocampus zu hinterlassen. Eine erhöhte intrazelluläre Kalziumkonzentration, die nach Hypoxie für den Zelluntergang der Pyramidenzellen des Hippocampus verantwortlich gemacht wird, spielt offenbar eine zusätzliche pathogenetische Rolle im Rahmen der Ischämie (Cervos-Navarro et al. 1991). Als besonders anfällig auf Hypoxie wurde die CA1-H1 Region des Hippocampus beschrieben. Über einen anoxisch bedingten intrazellulären Kalziumanstieg, der zur Hyperpolarisation der Neuronen führt, werden durch eine vermehrte Transmitterfreisetzung (Glutamat) Proteasen aktiviert, die den Zelltod einleiten. Einer Reduktion der Depolarisation und Vorgängen, die die Kalium-Leitfähigkeit verbessern könnten, wurden protektive Auswirkungen zugesprochen (Ben-Ari et al. 1992). Die Hyperpolarisation der Neuronen wurde in einer Studie an Hippocampus-Schnitten ebenfalls als protektiver Mechanismus erklärt, der die Erregbarkeit der Neuronen und deren Signalantworten herabsetzt und somit ausreichend ATP und Ionenhomöostase für einen intakten Zellmetabolismus gewährleistet. Besonders Adenosin scheint ein wichtiger Modulator der neuronalen synaptischen Aktivität zu sein. Einerseits beschleunigt es die Kalium-Leitfähigkeit der Neuronen und mindert damit deren Signalantworten über einen herabgesetzten Kalzium-Einstrom, andererseits hemmt es die Transmitterfreisetzung an exzitatorischen Synapsen. Ein zusätzlicher protektiver, energiesparender Effekt geht von der Unterdrückung spannungsabhängiger Kalzium- und Natriumkanäle aus, die unabhängig von der Hyperpolarisation sind (Krnjevic et al. 1999).

Bei unseren Ergebnissen erscheint es besonders interessant, dass zerebrale elektrische Veränderungen sich schon vor dem Auftreten von klinischen Symptomen bemerkbar machen.

Um herauszufinden, um welchen Prozentsatz die temporale EEG Delta-Aktivität der symptomatisch werdenden Probanden von 100 m auf 3.440 m steigen müsste, damit sie als AMS-gefährdet eingestuft werden können, wäre die Durchführung einer statistisch logistischen Regressionsanalyse notwendig. Aufgrund der geringen Fallzahl in unserer Studie ist dies nicht sinnvoll und stellt eine Anfrage an kommende Expeditionen mit größeren Teilnehmerzahlen dar.

5.2 Frontale Hirnregion

Die Grundaktivität der frontalen Hirnregion, die sich im EEG mit einer in der Regel spindelförmig akzentuierten Beta-Tätigkeit der Ableitungen FP1 und FP2 widerspiegelt, stieg bei den symptomatischen und noch deutlicher bei den asymptomatischen Probanden von 100 m auf 3.440 m an. Von 3.440 m auf 5.050 m kam es zu einem Abfall des Betafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode FP1 bei den symptomatischen Probanden (n=4), was wir als Reduktion der Kompensationsmechanismen interpretieren. Bei den asymptomatischen Probanden (n=5) hingegen konnte auch von 100 m auf 5.050 m ein Anstieg des Betafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums der frontalen Hirnregion (Elektroden FP1 und FP2) notiert werden (p=0,027).

Die Ergebnisse der Ableitung FP1 konnten durch die Analyse der Daten aus der Gruppe mit den ergänzten Werten der symptomatischen (n=9) und asymptomatischen (n=11) Probanden bestätigt werden. Dies widerspricht einer Studie in der Druckkammer, die an 15 Probanden mittels einer Sauerstoffkammer verschiedene Höhen simulierte (Ozaki et al. 1995). Auf 5.000 m und 6.000 m kam es zu einer Zunahme des Thetafrequenzbereichs in der linken anterioren Gehirnregion. Allerdings war aufgrund der rasch durchgeführten Höhensimulation eine physiologische Akklimatisation nicht möglich. Somit ist der Ausfall kompensatorischer Mechanismen gut vorstellbar, der mit einem Anstieg des Thetafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums vereinbar sein könnte. Da auf die Entwicklung von Symptomen der AMS in dieser Studie nicht eingegangen wurde, ist ein Vergleich mit unseren Ergebnissen schwierig.

5.3 Parietale Hirnregion

In der parietalen Hirnregion zeigte der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 der symptomatischen Probanden (n=15) der Gruppe n=32 eine zunehmende Aktivität von 100 m auf 3.440 m, die sich auf 5.050 m weiter fortsetzte (n=13). Der signifikante Anstieg ($p=0,034$) der EEG Aktivität des Alphafrequenzbereichs der symptomatischen von 100 m auf 5.050 m im Vergleich zu den asymptomatischen Probanden wird durch die Analyse der ergänzten EEG Daten der symptomatischen Probanden (n=9) der Gruppe n=20 in den parietalen Ableitungen P3 ($p=0,044$) und P4 ($p=0,030$) bestätigt. Da die EEG Aktivität des Alphafrequenzbereichs der symptomatischen parietal von 100 m auf 5.050 m anstieg und occipital abnahm, vermuten wir, dass zunächst die occipitalen Gehirnregionen als Generatoren des Alpha-Grundrhythmus die Verminderung der Kompensationsmechanismen reflektieren, bevor anteriore Gehirnregionen betroffen sind. Es zeigte sich deutlich, dass bei den symptomatischen Probanden der Grad der Höhenadaptation sich im Ausmass des Anstiegs der Alpha-Aktivität zwischen 100 m und 5.050 m widerspiegelt. Eine unzureichendere Hyperventilation, welche in höheren Kohlendioxidwerten und niedrigeren Sauerstoffsättigungswerten resultiert, führte jeweils zu einem schwächerem Anstieg beziehungsweise sogar Abfall des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums (siehe Abbildungen 11, 12 und 13). Dies unterstreicht auch, dass sich die occipitalen Veränderungen der Alpha-Aktivität mit den parietalen nicht konträr, sondern eher als Kontinuum darstellen.

5.4 Occipitale Hirnregion

Bei der Analyse der ergänzten, occipitalen EEG Werte der symptomatischen (n=9) und asymptomatischen (n=11) Probanden kam es in der occipitalen Hirnregion (Elektroden O1 und O2) von 100 m auf 3.440 m zu einem Anstieg des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums. Bei den symptomatischen Probanden kam es von 3.440 m auf 5.050 m zu einem Abfall des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums, während die asymptomatischen mit zunehmender Höhe kompensatorisch einen weiteren Anstieg des occipitalen Alphafrequenzbereichs verzeichnen konnten. Dies

entspricht einer Reduktion von Kompensationsmechanismen, die sich in einem Abfall des Alphafrequenzbereichs widerspiegelt. Unsere Ergebnisse werden durch eine Feldstudie bestätigt, in der EEG Veränderungen bei 30 Soldaten in der Höhe untersucht wurden (Selvamurthy et al. 1978). Nach einem Transport von Meereshöhe auf 3.500 m nahm anfangs der Anteil der EEG Aktivität occipital im Alphafrequenzbereich zu. In einer anderen Studie mit einer hypobaren Druckkammer kristallisierte sich hingegen heraus, dass sich bei 3.000 m und 4.000 m der Alphafrequenzbereich ubiquitär verringert (Ozaki et al. 1995). Da auf Symptome der akuten Höhenkrankheit in dieser Studie nicht eingegangen wurde, ist unklar, ob dies nicht ebenfalls verminderten Kompensationsmechanismen bei schnellem simulierten Aufstieg in der Druckkammer (150 m/min) entspricht. Beim Aufstieg über 4.000 m konnten sie eine Amplitudenabnahme des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums ubiquitär feststellen, die durch unsere Ergebnisse nur in der occipitalen Hirnregion bestätigt wird. Das Fehlen realer Expeditionsbedingungen verbunden mit Anstrengung, Kälte und Schlafstörungen macht den Vergleich von Feldstudien mit solchen in der Druckkammer nur sehr eingeschränkt vergleichbar.

Auffällig ist, dass sich die Frequenzbereiche des EEG Powerspektrums der frontalen (Betafrequenzbereich) und occipitalen (Alphafrequenzbereich) Grundaktivität ähnlich verhalten. Bei den symptomatischen und asymptomatischen Probanden steigen die Grundaktivitäten von 100 m auf 3.440 m an. Während bei den symptomatischen Probanden von 3.440 m auf 5.050 m die Kompensationsmechanismen offenbar versagen und sich in einem Abfall der frontalen und occipitalen Grundaktivität widerspiegeln, kommt es bei den asymptomatischen zu einem Anstieg der frontalen und occipitalen Grundaktivität als Ausdruck einer guten Akklimatisation.

5.5 Korrelation zwischen EEG Veränderungen, Änderungen der peripheren Sauerstoffsättigung und Änderungen des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids

Nun stellt sich die Frage, in welcher Beziehung die EEG Veränderungen zu Änderungen der peripheren Sauerstoffsättigung und des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids stehen. Da bei der Auswertung mittels des Mann-Whitney-U-Tests weder für die periphere Sauerstoffsättigung noch für das endexpiratorisch gemessene Kohlendioxid signifikante Unterschiede zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden von 100 m auf 3.440 m und von 100 m auf 5.050 m berechnet wurden, können nach unseren Erkenntnissen die Pulsoxymetrie und Kapnographie bei geringem Ausprägungsgrad der AMS allein nicht verwendet werden, um das Auftreten von milden Symptomen der akuten Höhenkrankheit vorauszusagen.

Physiologisch folgt einer schwachen Hyperventilation ein höherer Kohlendioxid- und niedrigerer Sauerstoffsättigungswert. Im Verlauf sinken die periphere Sauerstoffsättigung und das endexpiratorisch gemessene Kohlendioxid in beiden Gruppen signifikant ab. Dies stellt eine natürliche Reaktion auf die hypobare Hypoxie dar, ohne jedoch zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden zu differenzieren. Die symptomatischen Probanden zeigten sogar einen stärkeren Abfall des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids als Ausdruck einer besseren Hyperventilation. Die Unterschiede waren zwischen den beiden Gruppen jedoch nicht signifikant. Dies sehen wir im Zusammenhang mit der langsamen Aufstiegstaktik. Im Allgemeinen zeigen AMS anfällige Probanden eine verringerte Hyperventilationsfähigkeit. Wir gehen davon aus, dass bei den relativ geringen täglichen Höhenunterschieden die symptomatischen Probanden schon stärker hyperventilieren mussten, um ähnlich hohe Sauerstoffsättigungswerte wie die der asymptomatischen Teilnehmer zu erzielen, bevor dieser Kompensationsmechanismus seine Grenzen erreicht. Als Gründe sind eine gute Akklimatisationstaktik anzunehmen und die Tatsache, dass die symptomatischen Probanden nicht an einer schweren AMS litten. Die Ergebnisse der Messungen der peripheren Sauerstoffsättigung widersprechen somit nicht unbedingt den Untersuchungen von Roach et al. (1998) und

Tannheimer et al. (2002), die die Verwendung der Pulsoxymetrie zur Prädiktion der akuten Höhenkrankheit postulierten.

Die von uns beobachteten EEG Veränderungen wurden in Korrelation (Spearman-Rho) zu den Änderungen der Messdaten der peripheren Sauerstoffsättigung und des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids gesetzt.

Eine positive Korrelation zwischen der Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 und der peripheren Sauerstoffsättigung der symptomatischen Probanden (n=9) lieferte die Analyse der Gruppe mit ergänzten Werten (n=20) von 100 m auf 5.050 m ($r=0,745$, $p=0,021$). Einer größeren Sauerstoffabnahme folgte demnach eine geringere Alpha-Aktivität im EEG Powerspektrum in der Elektrode P4, die wir als Ausdruck eines mangelnden Kompensationsmechanismus der symptomatischen Probanden interpretieren. In der Gruppe mit ergänzten EEG Werten (n=20) korrelierte die Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P3 signifikant negativ mit dem endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxid der symptomatischen Probanden (n=9) von 100 m auf 5.050 m ($r=-0,815$, $p=0,007$). Zu einem ähnlichen Ergebnis kam es bei der Korrelation der Änderung des endexpiratorischen Kohlendioxids mit der Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der gegenüberliegenden Elektrode P4 von 100 m auf 5.050 m. Zwar konnten hier weder für die symptomatischen noch für die asymptomatischen Probanden signifikante Werte ermittelt werden, ein Trend ist jedoch eindeutig erkennbar (siehe Abbildung 13). Die negative Korrelation könnte anzeigen, dass bei Bergsteigern, die anfällig dafür sind, die akute Höhenkrankheit zu entwickeln, bei unzureichender Hyperventilation fehlende Kompensationsmechanismen auftreten. Dies äussert sich in einem insuffizienten Anstieg bzw. Abfall des Grundrhythmus (occipital Alpha-Aktivität und frontal Beta-Aktivität). Bei den asymptomatischen Probanden hingegen kommt es auch bei insuffizienter Hyperventilation zu keinem Abfall der Grundrhythmen.

Die Tatsache, dass bei den symptomatischen Probanden von 100 m auf 5.050 m zum einen die peripher gemessene Sauerstoffsättigung signifikant

negativ mit der Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der parietalen Elektrode P4 korrelierte, zum anderen das endexpiratorisch gemessene Kohlendioxid signifikant positiv mit der Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums der parietalen Elektrode P3 korrelierte, stellt unserer Ansicht nach keinen Widerspruch dar. Eine schwache Hyperventilation führt zu höherem Kohlendioxid- und niedrigerem Sauerstoffsättigungswert. Diese korrelierten jeweils mit einem insuffizienten Anstieg bzw. Abfall der Alpha-Aktivität der parietalen Elektroden. Ein Ausbleiben von ventilatorischen Kompensationsmechanismen spiegelt sich somit auch in fehlenden zerebralen Kompensationsmechanismen wider.

Als Teil einer großen höhenmedizinischen Studie wurde in die Auswertung dieser Arbeit der mittels transkranieller Dopplersonographie gemessene lokale zerebrale Perfusionsanstieg als entsprechender Kompensationsmechanismus nicht miteinbezogen. Dies stellt eine Anregung an weitere Auswertungen dar. Zur Klärung der Frage, ob unsere Ergebnisse in der Druckkammer trotz dort fehlender Schlafstörungen und starker körperlicher Anstrengung reproduzierbar sind, sollten die Experimente in Ruhe und unter Belastung durchgeführt werden. Ebenso wäre es interessant zu prüfen, ob die beschriebenen Mechanismen der temporalen Prädiktion der AMS auch schon auf Meeresniveau bei fakultativer Hyperventilation hervorgerufen werden könnten. Festzuhalten bleibt, dass das Gehirn in der Ausprägung von funktionierenden oder fehlenden Adaptations- und Kompensationsmechanismen bei der Anpassung des menschlichen Körpers an hohe und extreme Höhen eine zentrale Rolle spielt.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersuchte die Abhängigkeit zwischen dem Auftreten der akuten Höhenkrankheit und elektroenzephalographischen Änderungen sowie Änderungen der peripheren Sauerstoffsättigung und des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids. Im Rahmen einer Himalaya-Expedition wurde erstmalig an einer grossen Probandengruppe (n=32) EEG mit einem kompletten Datensatz (24 Elektroden) aufgezeichnet.

Die Analyse der EEG Daten ergab einen bilateralen Anstieg der EEG Aktivität im Deltafrequenzbereich des EEG Powerspektrums der temporalen Hirnregion (Elektroden T3 und T4) von 100 m auf 3.440 m bei den Probanden, die im weiteren Verlauf der Expedition zwischen 3.440 m und 5.050 m Symptome der akuten Höhenkrankheit zeigten. Dies entspricht Funktionsstörungen der Temporalregion. Die asymptomatischen Probanden zeigten hingegen initial einen kompensatorischen Aktivitätsabfall des Deltafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums der temporalen Hirnregion, der sich mit zunehmender Höhenbelastung weiter fortsetzte. Die Tatsache, dass die EEG Veränderungen zwischen den symptomatischen und asymptomatischen Probanden in den Temporalregionen bereits von 100 m auf 3.440 m auftraten, weist darauf hin, dass mit EEG möglicherweise ein neurophysiologischer Prädiktor für die Entwicklung der akuten Höhenkrankheit zur Verfügung stehen könnte.

Die weitere Beobachtung, dass die frontale Grundaktivität (Betafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in den Elektroden FP1 und FP2) und occipitale Grundaktivität (Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in den Elektroden O1 und O2) der symptomatischen Probanden initial von 100 m auf 3.440 m ansteigen und von 3.440 m auf 5.050 m fallen, während die asymptomatischen Probanden von 100 m auf 5.050 m einen kontinuierlichen Anstieg ihrer frontalen und occipitalen Grundaktivitäten zeigen, spricht für eine Verminderung der Kompensationsmechanismen bei den symptomatischen Probanden mit Abfall der Grundaktivität.

Bei den symptomatischen Probanden stieg der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der parietalen Elektrode P4 von 100 m auf 5.050 m an. Bei den asymptomatischen Probanden hingegen fiel er ab. Dieser Unterschied war statistisch signifikant und konnte durch die Gruppe mit ergänzten Werten auch mit der Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums der Elektrode P3 signifikant bestätigt werden.

Zusammenfassend konnte nachgewiesen werden, dass bei milder AMS und physiologischer Höhentaktik die perkutane Pulsoxymetrie und die Messung des endexpiratorischen Kohlendioxids keine sensitiven Methoden darstellen, um das Auftreten der akuten Höhenkrankheit vorauszusagen. Bei der Analyse der signifikanten EEG Veränderungen mit den Messwerten des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids korrelierten in der Gruppe mit ergänzten EEG Werten (n=20) der Alphafrequenzbereich des EEG Powerspektrums in der parietalen Elektrode P3 der symptomatischen Probanden signifikant negativ mit der Änderung des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids und die Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 der symptomatischen Probanden signifikant positiv mit der Änderung der peripher gemessenen Sauerstoffsättigung von 100 m auf 5.050 m. Dies unterstützt die Annahme, dass eine unzureichende Hyperventilation ein entscheidender Faktor für das Auftreten der akuten Höhenkrankheit sein könnte. Ein insuffizienter Kompensationsmechanismus der symptomatischen Probanden dürfte sich unserer Meinung nach in einer niedrigen Alpha-Aktivität im EEG Powerspektrum in der Elektrode P4 infolge der Auswirkung der hypobaren Hypoxie widerspiegeln. Die Vermutung einer unzulänglichen Hyperventilation der symptomatischen Probanden wird außerdem durch höhere Kohlendioxidwerte gestützt, die sich in einem geringeren Anstieg der Alpha-Aktivität des EEG Powerspektrums in der Elektrode P3 auswirkten. Da sich jedoch die peripher gemessene Sauerstoffsättigung und das endexpiratorisch gemessene Kohlendioxid nicht signifikant zwischen AMS und non-AMS unterscheiden, scheint dieser Pathomechanismus nur auf die symptomatischen Probanden zuzutreffen.

7 Literatur

1. Ball CJ, Gloor P, Schaul N. The cortical electromicrophysiology of pathological delta waves in the electroencephalogram of cats. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1977;43:346-61.
2. Basnyat B, Murdoch DR. High-altitude illness. *Lancet* 2003;361:1967-74.
3. Ben-Ari Y. Effects of anoxia and aglycemia on the adult and immature hippocampus. *Biol Neonate* 1992;62:225-30.
4. Berger H. Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. Zweite Mitteilung. *J Psychol Neurol* 1930;40:160-79.
5. Bergold F, Schaffert W. *Handbuch der Trekking und Expeditionsmedizin*; Verlag DAV Summit Club, München, 4. überarbeitete Auflage 1999.
6. Glimore PC, Brenner RP. Correlation of EEG, computerized tomography, and clinical findings. Study of 100 patients with focal delta activity. *Arch Neurol*. 1981;38:371-2.
7. Buzsaki G, Bickford RG, Ponomareff G, Thal LG, Mandel R, Gage FG. Nucleus basalis and thalamic control of neocortical activity in the freely moving rat. *J Neurosci* 1988;8:4007-26.
8. Cervos-Navarro J, Diemer NH. Selective vulnerability in brain hypoxia. *Crit Rev Neurobiol* 1991;6:149-82.
9. Chatrian GE, Bergamini L, Dondey M, Klass DW, Lennox-Buchthal M, Petersén I. A glossary of terms most commonly used by clinical electroencephalographers. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1974;37:538-48.
10. Cobb WA. Intracranial tumours. In: *Electroencephalography, A Symposium on its Various Aspects*, 2nd ed., edited by D. Hill and G. Parr; McDonald London, 1950:273-301.
11. Cobb WA. The normal adult E.E.G. In: *Electroencephalography: A Symposium on its Various Aspects*, 2nd ed., edited by D. Hill and G. Parr; McDonald, London, 1963:232-49.
12. Creutzfeldt O, Bark J, Fromm GH. Alterations in activity of cortical neurons during anaesthesia compared with hypoxia. In: H. Gastaut and J.S. Meyer (eds.), *Cerebral Anoxia and the Electroencephalogram*. Thomas, Springfield, IL, 1961:35-45.
13. Dumermuth G. Fundamentals of spectral analysis in electroencephalography. In *EEG Informatics. A Didactic Review of Methods and Applications of EEG Data Processing*, Ed., A. Rémond, Amsterdam: Elsevier, 1977:83-105.

14. Feddersen B, Ausserer H, Thanbichler F, Neupane P, Waanders R, Noachtar S. Right Temporal Cerebral Dysfunction Heralds Symptoms of Acute Mountain Sickness. *Klinische Neurophysiologie* 2006;37:35.*
15. Feddersen B, Ausserer H, Thanbichler F, Neupane P, Depaulis A, Waanders R, Noachtar S. Right temporal cerebral dysfunction heralds symptoms of acute mountain sickness. *J Neurol* 2006 im Druck.*
16. Firth PG, Bolay H. Transient high altitude neurological dysfunction: an origin in the temporoparietal cortex. *High Alt Med Biol* 2004;5:71-75.
17. Fischer R, Vollmar C, Thiere M, Born C, Leitl M, Pfluger T, Huber RM. No evidence of cerebral oedema in severe acute mountain sickness. *Cephalalgia* 2004;24:66-71.
18. Forster HV, Soto RJ, Dempsey JA, Hosko MJ. Effect of sojourn at 4,300 m altitude on electroencephalogram and visual evoked response. *J Appl Physiol* 1975;39:109-13.
19. Gibbs FA, Gibbs EL, Lennox WC. Electroencephalographic classification of epileptic patients and control subjects. *Arch Neurol Psychiatry* 1943;50:111-28.
20. Gibbs FA, Gibbs EL, Lennox WC, Nims LF. The value of carbon dioxide in counteracting the effects of low oxygen. *J Aviat Med* 1943;14:250-61.
21. Gloor P, Ball G, Schaul N. Brain lesions that produce delta waves in the EEG. *Neurology* 1977; 27:326-33.
22. Gloor P, Kalabay O, Giard N. The electroencephalogram in diffuse encephalopathies: electroencephalographic correlates of grey and white matter lesions. *Brain* 1968;91:779-802.
23. Gloor P. Generalized and widespread bilateral paroxysmal abnormalities. In: A. Rémond (Ed.), *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, Vol. 11, Part B. Elsevier, Amsterdam, 1976:11B52-11B87.
24. Hackett PH, Roach RC. High altitude illness. *N Engl J Med* 2001;345:107-14.
25. Hadolt I, Litscher G. Noninvasive assessment of cerebral oxygenation during high altitude trekking in the Nepal Himalayas (2850-5600 m). *Neurol Res* 2003 Mar;25:183-8.
26. Halpern P, Neufeld MY, Sade K, Silbiger A, Szold O, Bornstein NM, Sorkine P. Middle cerebral artery flow velocity decreases and electroencephalogram (EEG) changes occur as acute hypercapnia reverses. *Intensive Care Med* 2003;29:1650-5.

* Teile dieser Arbeit entstanden im Rahmen der Dissertation von Herrn Florian Thanbichler an der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München, in Vorbereitung.

27. Hornbein TF, Townes BD, Schoene RB, Sutton JR, Houston CS. The cost to the central nervous system of climbing to extremely high altitude. *N Engl J Med* 1989;321:1714-9.
28. Hoshi Y, Okuhara H, Nakane S, Hayakawa K, Kobayashi N, Kajii N. Re-evaluation of the hypoxia theory as the mechanism of hyperventilation-induced EEG slowing. *Pediatr Neurol* 1999 Sep; 21(3):638-43.
29. Jasper H, Andrews HL. Brain potentials and voluntary muscle activity in man. *J Neurophysiol* 1938;1:87-100.
30. Katz RI, Horowitz GR. Electroencephalogram in the septuagenarian: studies in a normal geriatric population. *J Am Geriatr Soc* 1982;30:273-5.
31. Kaufman D, Wesensten NJ, Pearson NR, Kamimori GH, Balkin TJ. Altitude and time of day effects on EEG spectral parameters. *Physiol Behav* 1993;54:283-7.
32. Kellaway P. Die visuelle Analyse der verschiedenen Aktivitäten des normalen EEG Erwachsener und Kinder. In: Klass DW, Daly DD (Hrsg) *Klinische Elektroenzephalographie*. Fischer, Stuttgart New York.
33. Kennealy JA, Penovich PE, Moore-Nease SE. EEG and spectral analysis in acute hyperventilation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1986;63:98-106.
34. Klem GH, Lüders HO, Jasper HH, Elger C. The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1999;52:3-6.
35. Koob GF, Annau Z, Riley RL. Effects of hypoxia on hypothalamic mechanisms (Abstract). *Federation Proc.* 1972;31:968.
36. Krnjevic K. Early effects of hypoxia on brain cell function. *Croat Med J* 1999 Sep;40:375-80.
37. Lüders HO, Noachtar S. *Atlas and classification of electroencephalography*. W.B. Saunders, Philadelphia, 2000.
38. Mees K, Behnisch A, Suckfüll M. Audimont – eine wissenschaftliche Expedition zum Cho Oyu im Himalaya. *Fortschr Med Orig.* 2003;121(1):1-4.
39. Montgomery AB, Mills J, Luce JM. Incidence of acute mountain sickness at intermediate altitude. *JAMA* 1989;261:732-4.
40. Noachtar S, Binnie C, Ebersole J, Mauguière F, Sakamoto A, Westmoreland B. A glossary of terms most commonly used by clinical electroencephalographers and proposal for the report form for the EEG findings. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1999; Suppl. 52:21-41.
41. Otnes RK, Enochso L. *Digital Time Series Analysis*. New York: John Wiley & Sons. 1972; p:449.

42. Ozaki H, Watanabe S, Suzuki H. Topographic EEG changes due to hypobaric hypoxia at simulated high altitude. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1995;94:349-56.
43. Roach RC, Greene ER, Schoene RB, Hackett PH. Arterial oxygen saturation for prediction of acute mountain sickness. *Aviat Space Environ Med* 1998;69:1182-5.
44. Sand T, Nygaard O. Quantitative EEG in acute mountain sickness. *Acta Neurol Scand* 1998;98:386-90.
45. Schaffert W. Ursachen und Symptomatik der akuten Höhenkrankheit. *MedReport* 2002;Nr. 18, 26. Jahrgang:2.
46. Schaul N, Gloor P, Gotman J. The EEG in deep midline lesions. *Neurology* 1981;31:157-67.
47. Selvamurthy W, Saxena RK, Krishnamurthy N, Suri ML, Malhotra MS. Changes in EEG pattern during acclimatization to high altitude (3500 m) in man. *Aviat Space Environ Med* 1978;49:968-71.
48. Simonova O, Roth B, Stein J. EEG studies of healthy population – normal rhythmus of resting recording. *Acta Univ. Carol. [Med.] Praha*, 1967;13:543-51.
49. Steriade M, Gloor P, Llinas RR, Lopes de Silva FH, Mesulam MM. Report of IFCN Committee on Basic Mechanisms. Basic mechanisms of cerebral rhythmic activities. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1990;76:481-508.
50. Tannheimer M, Thomas A, Gerngross H. Oxygen saturation course and altitude symptomatology during an expedition to broad peak (8047 m). *Int J Sports Med.* 2002 Jul;23:329-35.
51. Torres RI, Faoro A, Loewenson R, Johnson E. The electroencephalogram of elderly subjects revisited. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1983;56:391-8.
52. Travis LE. Brain potentials and the temporal course of consciousness. *J Exp Psychol* 1937;21:302-9.
53. Tyner FS, Knott JR, Mayer WB Jr., Raven Press, New York 1983;vol1:203-10.
54. Van der Worp HB, Kraaier V, Wieneke GH, Van Huffelen AC. Quantitative EEG during progressive hypocarbia and hypoxia. Hyperventilation-induced EEG changes reconsidered. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1991;79:335-41.
55. Patel VM, Maulsby RL. How hyperventilation alters the electroencephalogram: a review of controversial viewpoints emphasizing neurophysiological mechanisms. *J Clin Neurophysiol* 1987:101-120.

56. Walter WG, Dovey VJ. Electroencephalography in cases of subcortical tumour. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1944;7:57-65.

8 Anhang

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
al	EEG Alphafrequenzbereich
asympt.	asymptomatisch
be	EEG Betafrequenzbereich
de	EEG Deltafrequenzbereich
EEG	Elektroenzephalographie
etCO ₂	endexpiratorisch gemessenes Kohlendioxid
H	Herxheim (Deutschland), erste Messhöhe auf 100 m
MRT	Magnetresonanztomographie
N	Namche Bazar (Nepal), zweite Messhöhe auf 3.440 m
p	Signifikanz
pCO ₂	Partialdruck des Kohlendioxids
r	Korrelationskoeffizient
S	Silberpyramide (Nepal), dritte Messhöhe auf 5.050 m
SaO ₂	periphere Sauerstoffsättigung
sympt.	symptomatisch
Tab.	Tabelle
th	EEG Thetafrequenzbereich

NAME:	GESCHLECHT: m, w	Zeit			
ALTER:	DATUM:	Höhe			
Symptome:					
1. Kopfschmerz					
	Kein Kopfschmerz	0			
	Geringer Kopfschmerz	1			
	Mäßiger Kopfschmerz	2			
	Schwerer Kopfschmerz	3			
2. Gastrointestinale Symptome					
	Keine GI-Symptome	0			
	Appetitlosigkeit, leichte Übelkeit	1			
	Mäßige Übelkeit oder Erbrechen	2			
	Schwere Übelkeit und Erbrechen	3			
3. Müdigkeit/ Schwäche					
	Keine Müdigkeit oder Schwäche	0			
	Geringe Müdigkeit/ Schwäche	1			
	Mäßige Müdigkeit/ Schwäche	2			
	Schwere Müdigkeit/ Schwäche	3			
4. Schwindel					
	Kein Schwindel	0			
	Leichter Schwindel	1			
	Mäßiger Schwindel	2			
	Schwerer Schwindel	3			
5. Schlafstörungen					
	Normaler, gewohnter Schlaf	0			
	Ungewohnte Schlafstörung	1			
	Ruhelosigkeit, häufiges Aufwachen	2			
	Völlige Schlaflosigkeit	3			
Symptom Score:					
Klinische Beurteilung (Clinical Assessment):					
6. Änderung im mentalen Status					
	Ungestörtes Bewusstsein	0			
	Lethargie/Apathie	1			
	Verwirrtheit/ Desorientierung	2			
	Somnolenz/Bewusstlosigkeit	3			
	Koma	4			
7. Ataxie					
	Keine Ataxie	0			
	Ausgleichende Balancemanöver	1			
	Aus-der-Linie-Gehen, Stolpern	2			
	Niederfallen	3			
	Stehunfähigkeit	4			
8. Periphere Ödeme					
	Keine peripheren Ödeme	0			
	Periphere Ödeme an einer Stelle	1			
	Periphere Ödeme an mehreren Stellen	2			
Clinical Assessment Score:					
Funktionsprüfung					
	Keine Aktivitätseinschränkung	0			
	Geringe Aktivitätseinschränkung	1			
	Mäßige Aktivitätseinschränkung	2			
	Schwere Aktivitätseinschränkung	3			
Score der Funktionsprüfung:					
Total Score:					

Tab. 1: AMS-Arbeitsbogen, basierend auf dem Lake-Louise-AMS-Fragebogen (Bergold et al. 1999).

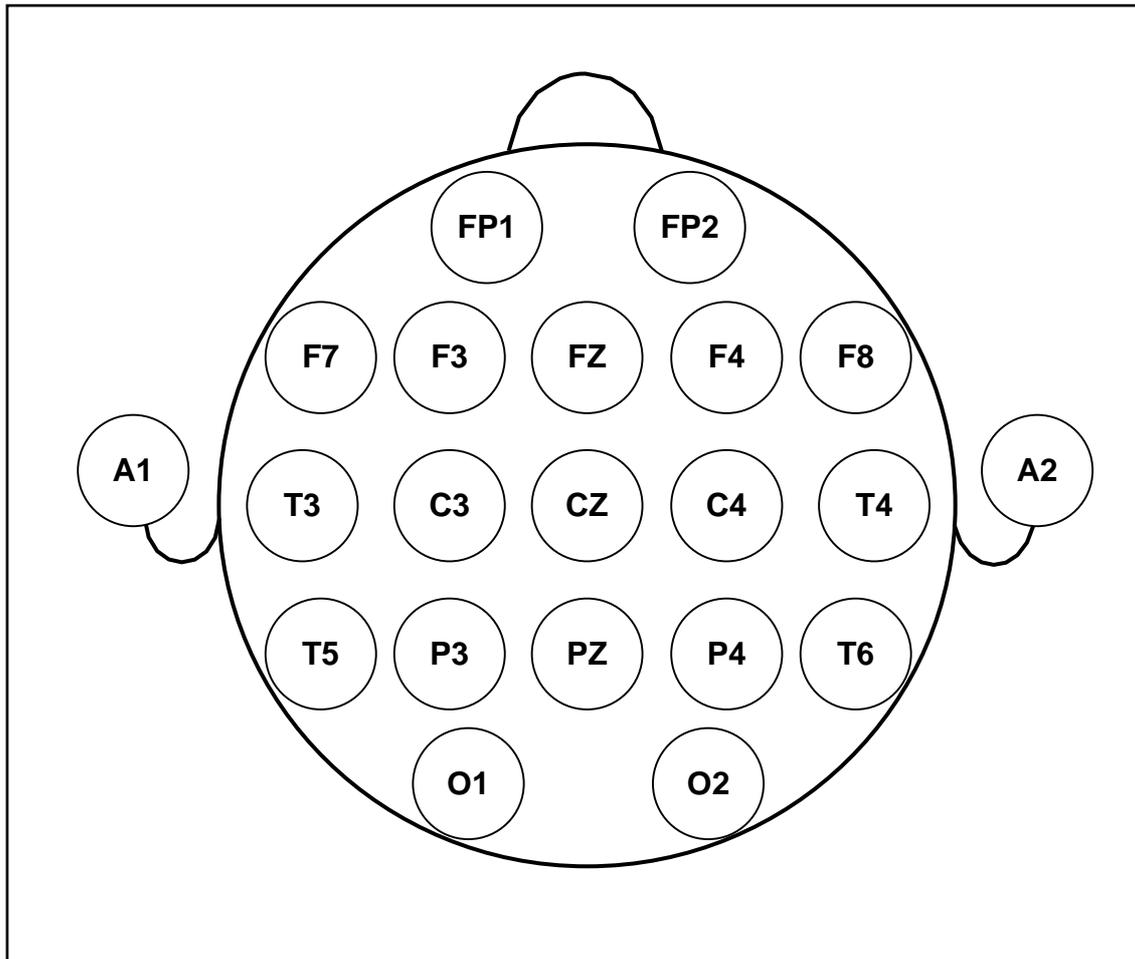


Abb. 1: Elektrodenanordnung am Kopf nach dem 10-20 System (Klem et al. 1999).

FP1	Elektrode frontopolar links	FP2	Elektrode frontopolar rechts
F3	Elektrode frontal links	F4	Elektrode frontal rechts
C3	Elektrode central links	C4	Elektrode central rechts
P3	Elektrode parietal links	P4	Elektrode parietal rechts
O1	Elektrode occipital links	O2	Elektrode occipital rechts
F7	Elektrode frontal links	F8	Elektrode frontal rechts
T3	Elektrode temporal links	T4	Elektrode temporal rechts
T5	Elektrode temporal links	T6	Elektrode temporal rechts
A1	Elektrode am linken Ohr	A2	Elektrode am rechten Ohr
	FZ	Elektrode frontal zentral	
	CZ	Elektrode am Vertex	
	PZ	Elektrode parieto-zentral	

Tab. 2: Erläuterung der Elektrodenabkürzungen (Klem et al. 1999).

Tab. 3: Ersatzelektroden erster und zweiter Wahl zur Ergänzung der fehlenden EEG Elektroden.

Elektrode	Ersatzelektrode 1. Wahl	Ersatzelektrode 2. Wahl
Fp2	F4	F8
Fp1	F3	F7
F4	FP2	F8
F3	FP1	F7
C4	CZ	F4
C3	CZ	F3
P4	PZ	O2
P3	PZ	O1
O2	P4	PZ
O1	P3	PZ
F8	F4	FP2
F7	F3	FP1
T4	T6	F8
T3	T5	F7
T6	T4	P4
T5	T3	P3
Fz	CZ	-
Pz	CZ	-
Cz	FZ	PZ

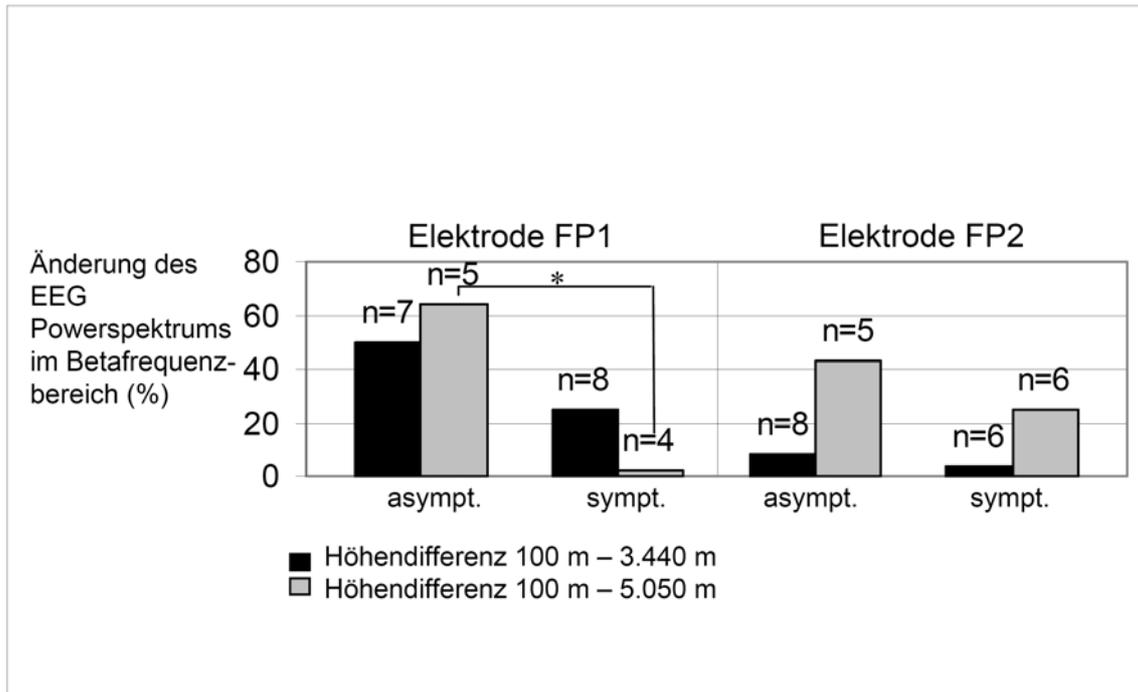


Abb. 2: Prozentuale Änderungen der frontalen (Elektroden FP1 und FP2) Änderung des EEG Powerspektrums im Betafrequenzbereich von 100 m auf 3.440 m und von 100 m auf 5.050 m bei asymptomatischen und symptomatischen Probanden.

(* = signifikanter Unterschied im Mann-Whitney-U-Test zwischen asymptomatischen und symptomatischen Probanden, $p \leq 0,05$)

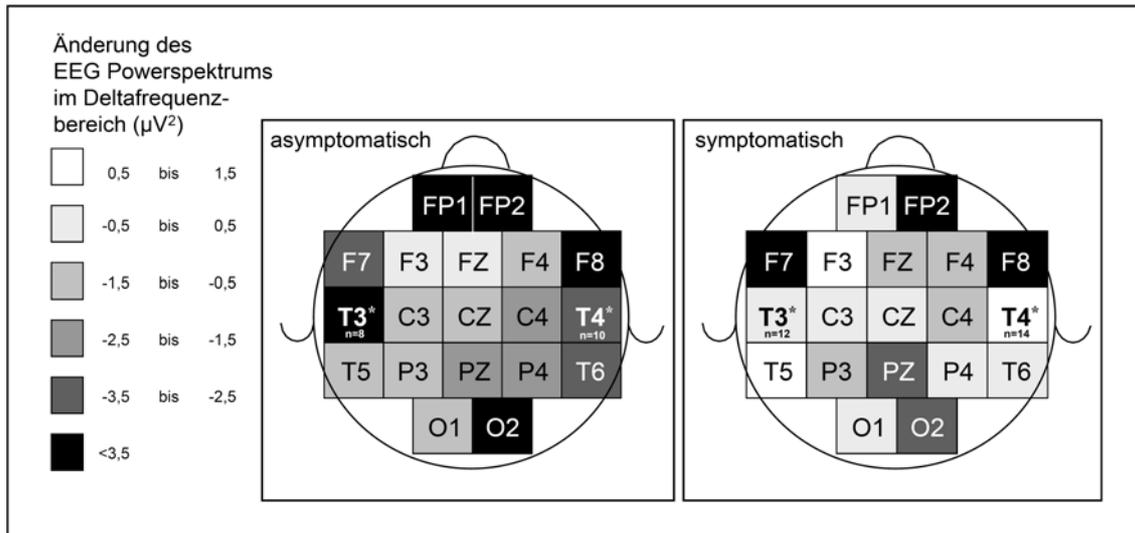


Abb. 3: Absolute Änderung des EEG Powerspektrums im Deltafrequenzbereich von 100 m auf 3.440 m bei asymptomatischen und symptomatischen Probanden.

(* = signifikanter Unterschied im Mann-Whitney-U-Test zwischen asymptomatischen und symptomatischen Probanden, $p \leq 0,05$)

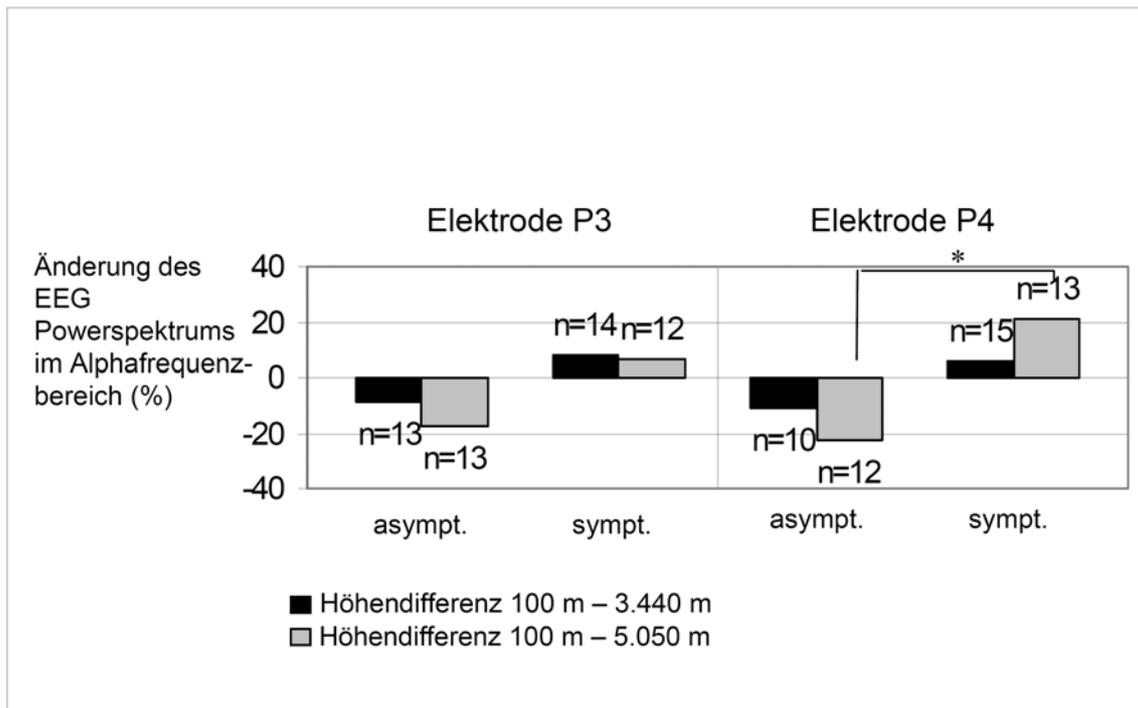


Abb. 4: Prozentuale Änderungen der parietalen (Elektroden P3 und P4) Änderung des EEG Powerspektrums im Alphafrequenzbereich von 100 m auf 3.440 m und von 100 m auf 5.050 m bei asymptomatischen und symptomatischen Probanden.

(* = signifikanter Unterschied im Mann-Whitney-U-Test zwischen asymptomatischen und symptomatischen Probanden, $p \leq 0,05$)

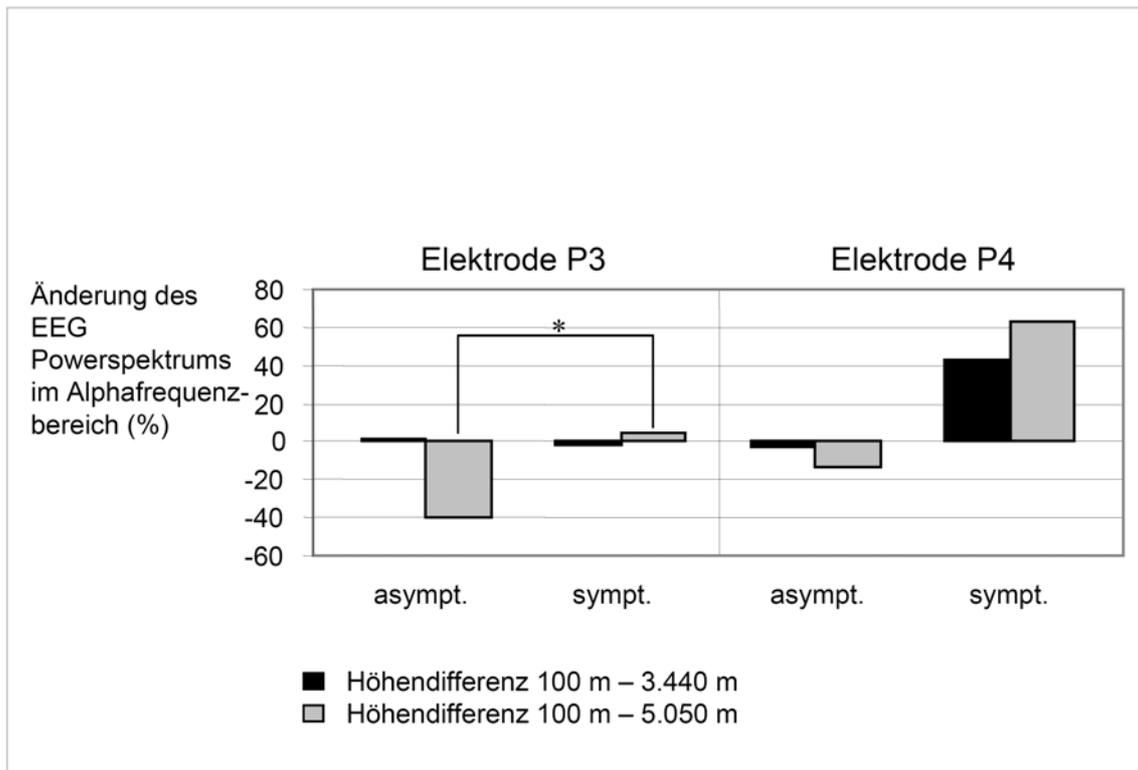


Abb. 5: Prozentuale Änderungen der parietalen (Elektroden P3 und P4) Änderung des EEG Powerspektrums im Alphafrequenzbereich von 100 m auf 3.440 m und von 100 m auf 5.050 m bei asymptomatischen (n=11) und symptomatischen (n=9) Probanden.

(* = signifikanter Unterschied im Mann-Whitney-U-Test zwischen asymptomatischen und symptomatischen Probanden, $p \leq 0,05$)

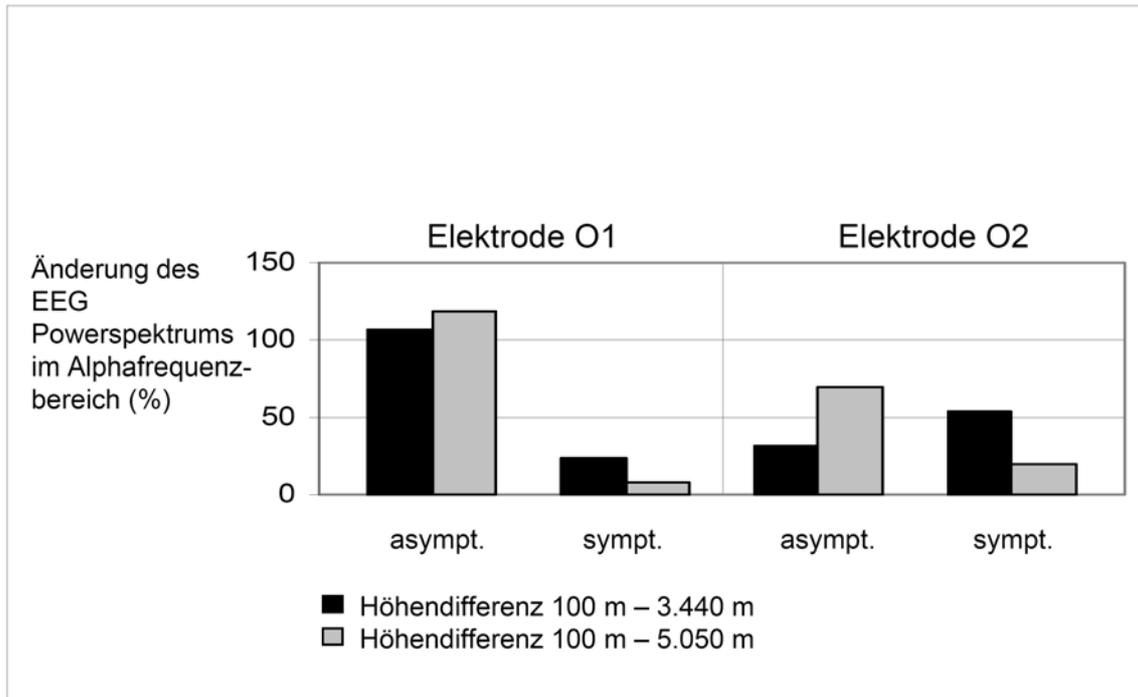


Abb. 6: Prozentuale Änderungen der occipitalen (Elektroden O1 und O2) Änderung des EEG Powerspektrums im Alphafrequenzbereich von 100 m auf 3.440 m und von 100 m auf 5.050 m bei asymptomatischen (n=11) und symptomatischen (n=9) Probanden.

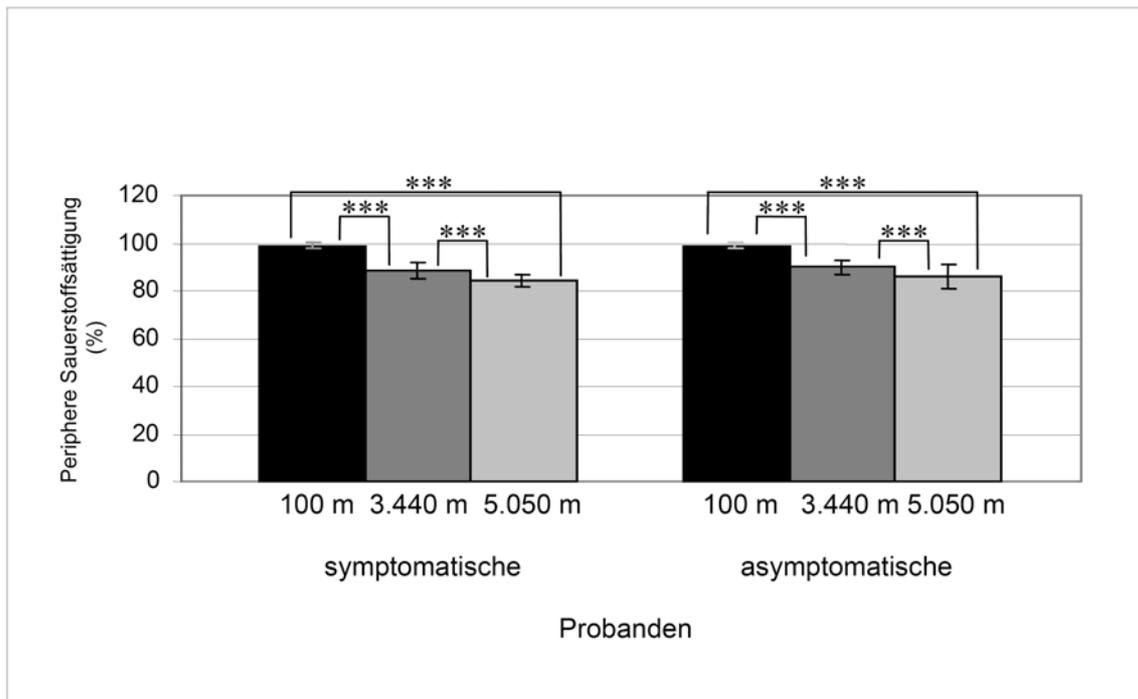


Abb. 7: Vergleich der peripheren Sauerstoffsättigung zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden auf 100 m, 3.440 m und 5.050 m.

(*** = signifikanter Unterschied im Wilcoxon-Test, $p \leq 0,001$)

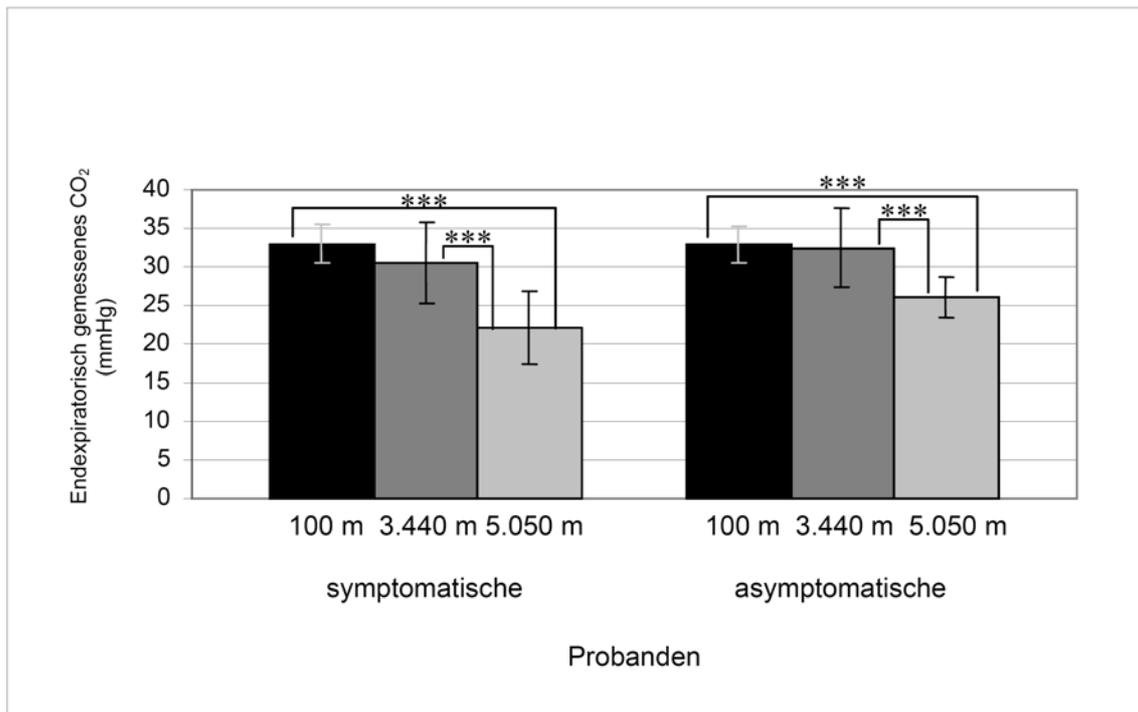


Abb. 8: Vergleich des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids (CO₂) zwischen symptomatischen und asymptomatischen Probanden auf 100 m, 3.440 m und 5.050 m.

(*** = signifikanter Unterschied im Wilcoxon-Test, $p \leq 0,001$)

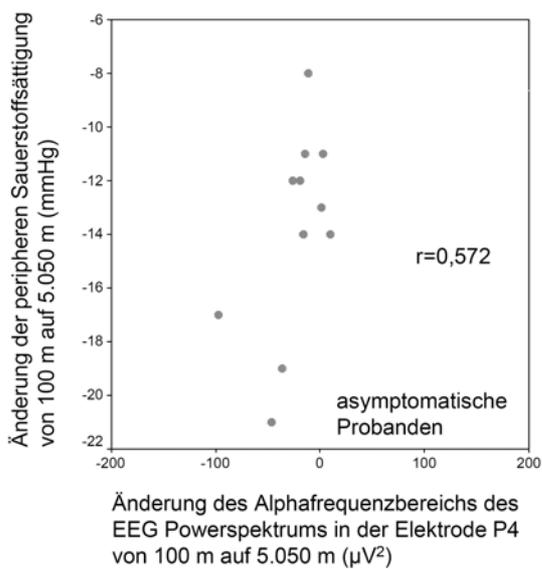


Abb. 9

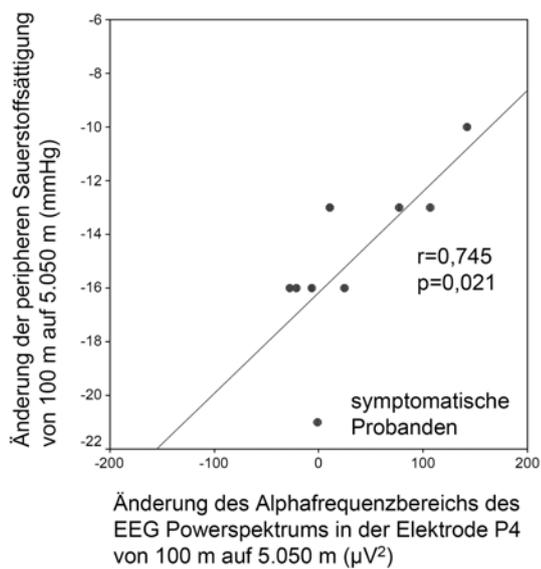


Abb. 10

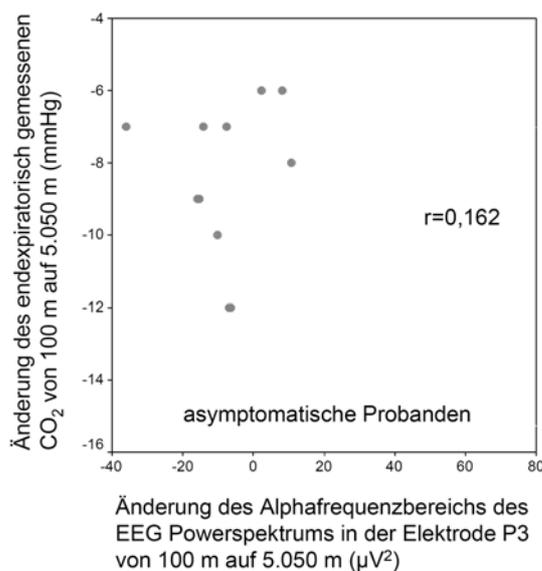


Abb. 11

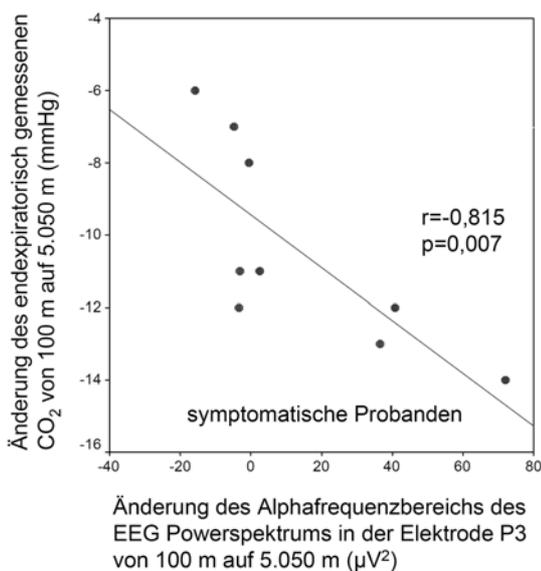


Abb. 12

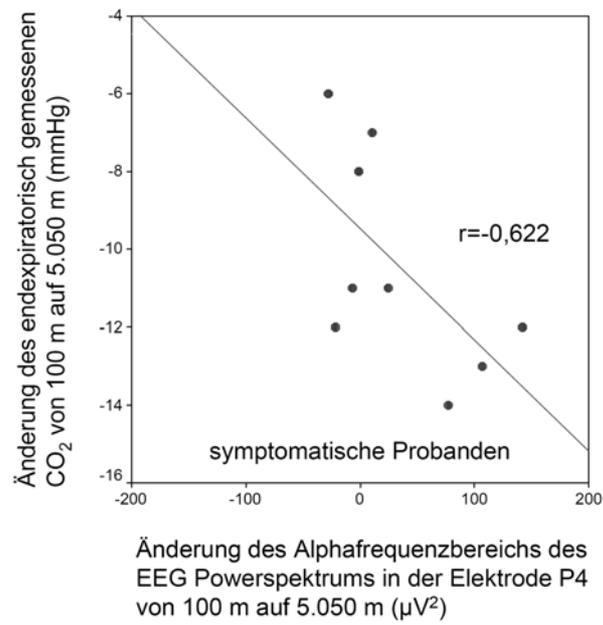


Abb. 13

Tab. 4: Mediane der EEG Powerspektren der Frequenzbereiche Delta, Theta, Alpha und Beta auf 100 m (H), 3.440 m (N) und 5.050 m (S) aller 32 Probanden (bei Proband 24 wurden keine EEG Daten erhoben).

Proband	H_Fp2_de	H_Fp2_th	H_Fp2_al	H_Fp2_be	H_Fp1_de	H_Fp1_th	H_Fp1_al	H_Fp1_be	H_F4_de	H_F4_th	H_F4_al	H_F4_be
1	48,33	48,82	75,83	29,80	166,30	83,92	43,82	29,62	24,62	48,13	39,44	16,96
2	36,53	29,65	158,70	30,93	18,23	21,66	126,30	26,80	9,99	14,55	136,00	34,30
3									20,41	21,62	28,33	22,65
4	19,61	28,55	21,86	12,95	14,25	20,83	16,80	6,10	3,43	15,57	18,75	6,68
6					2,16	3,19	4,21	8,34				
7												
8	18,94	69,29	226,90	15,30	9,57	40,41	195,50	13,52	82,39	94,83	134,30	22,43
9	71,79	42,73	20,27	10,91	17,96	20,36	14,01	11,78	15,17	9,78	10,91	4,98
10	15,09	15,20	3,59	4,39	2,05	9,71	2,63	1,35	4,35	11,38	2,66	1,97
11												
12	44,36	47,75	31,27	9,89	30,12	28,98	27,59	7,03	13,77	16,72	23,64	6,18
13	17,99	12,80	67,63	13,04	18,06	18,77	57,26	12,55	4,38	7,38	52,59	10,60
14	19,45	14,30	100,80	14,23	23,69	14,25	92,46	13,45	7,80	9,38	86,81	13,65
15	12,60	34,18	173,80	27,05	27,11	32,56	153,20	24,25	5,60	39,24	155,80	40,14
16	50,98	30,17	18,04	11,47	33,12	17,07	19,39	9,16	7,13	7,64	11,54	5,22
17	35,00	23,17	51,57	13,28	19,11	14,82	41,16	14,21	15,61	15,85	57,08	16,25
33	51,40	45,28	28,07	20,86	10,10	9,23	17,72	10,89	7,90	9,59	16,04	14,37
5	28,22	20,64	20,29	12,47					5,11	13,00	12,76	9,50
18	47,36	21,02	52,59	9,76	22,79	17,09	56,52	9,50	4,69	5,57	32,94	4,98
19	25,36	24,51	14,84	9,66	26,67	15,71	10,60	8,33	36,73	25,95	18,32	10,36
20	156,90	90,17	50,11	11,77	376,30	155,00	56,61	13,60	21,33	14,24	42,41	9,07
21	2,62	5,93	17,62	6,51	133,80	51,57	57,89	16,30	2,62	5,93	17,62	6,51
22	15,40	18,89	15,70	21,47	29,00	28,18	24,40	21,12	4,95	9,58	12,54	16,89
23	0,48	0,77	0,25	0,41	0,48	0,77	0,25	0,41	0,48	0,77	0,25	0,41
24												
25	153,10	46,36	21,62	7,41	175,10	48,36	20,97	9,79	7,82	7,59	18,01	6,06
26	10,85	8,72	3,88	5,01	16,47	11,66	3,81	6,06	4,57	6,56	3,63	3,35
27	19,84	13,65	9,03	3,35	20,44	17,57	9,32	3,58				
28	25,69	15,16	20,60	9,06	49,80	23,48	16,45	9,10	7,05	9,62	20,60	8,52
29	111,60	71,37	31,98	12,19	106,40	58,46	34,74	11,25	13,69	11,58	23,46	10,37
30	5,95	3,39	19,99	5,88	3,95	4,30	20,12	5,78	2,44	3,03	19,44	4,82
31												
32	10,26	12,89	21,40	15,76	12,18	10,10	19,49	13,15	5,56	6,90	18,70	15,08

Proband	H_F3_de	H_F3_th	H_F3_al	H_F3_be	H_C4_de	H_C4_th	H_C4_al	H_C4_be	H_C3_de	H_C3_th	H_C3_al	H_C3_be
1	18,10	49,62	24,17	22,23	7,90	36,22	21,66	23,04	6,06	34,92	22,75	20,53
2	8,83	13,36	101,20	24,11	5,98	15,47	65,87	46,65	6,95	16,60	86,12	45,49
3	16,11	15,94	17,02	17,12	11,14	18,80	59,92	30,89	7,75	17,56	57,50	25,26
4	3,46	13,49	15,21	4,20	3,14	15,04	15,97	14,10	2,63	14,10	13,48	3,82
6					2,24	2,59	3,76	8,66	2,16	3,19	4,21	8,34
7												
8	52,72	62,25	104,10	16,75	9,01	27,03	82,88	14,71	42,18	47,79	126,20	19,03
9	6,52	9,31	8,96	4,73	7,22	8,84	8,17	4,52	6,07	11,82	7,36	4,64
10	2,31	8,78	2,49	1,97	4,64	11,49	2,37	1,71	1,02	7,61	1,94	1,39
11					11,27	41,29	87,71	28,27	8,85	21,35	63,83	25,63
12	11,08	17,88	20,40	4,88	4,98	12,96	24,04	4,14	7,38	16,47	29,67	4,74
13	2,83	6,24	43,63	9,64					2,61	4,47	29,13	11,12
14	4,87	9,68	73,42	14,29	5,41	10,05	58,67	23,58	7,43	13,36	70,99	20,02
15	6,79	30,56	125,00	34,03	4,48	22,15	47,66	27,90	4,54	23,62	47,44	25,64
16					3,69	4,13	8,31	6,50				
17	4,23	8,15	43,01	8,84	35,76	17,20	51,40	12,47	3,72	7,29	25,65	11,22
33	4,62	6,82	15,06	9,32	20,85	15,87	13,44	13,10	9,01	8,27	12,47	8,59
5	4,11	9,76	14,88	7,40	2,67	8,18	9,93	6,96	3,50	7,62	9,34	5,08
18	6,87	6,54	46,39	5,83	1,77	4,28	9,80	3,55	1,42	3,29	14,65	3,07
19	10,20	13,54	15,88	10,45	6,88	9,69	12,41	5,69				
20	24,16	15,92	38,02	9,89	7,91	7,92	36,07	17,45	6,99	9,58	39,01	13,87
21	2,62	5,93	17,62	6,51	2,62	5,93	17,62	6,51	2,27	4,24	20,66	13,80
22	4,59	8,97	13,85	16,19					3,10	6,56	11,38	23,02
23	5,85	5,21	2,32	3,43	0,48	0,77	0,25	0,41	0,48	0,77	0,25	0,41
24												
25	6,42	5,39	15,08	6,34	3,64	5,62	30,51	5,73				
26	5,07	6,94	2,90	3,47	7,61	7,74	3,30	3,73	3,93	7,57	2,61	4,20
27	3,38	5,27	8,72	1,82	1,77	3,53	2,56	1,14	1,37	2,54	3,74	1,12
28	7,84	10,78	17,88	7,79	4,83	5,82	8,13	8,53	4,20	6,03	9,27	7,46
29					4,48	6,00	14,92	8,91				
30	2,11	2,76	15,02	3,66					1,90	2,55	10,13	3,47
31	4,48	8,07	16,10	10,23	6,57	6,71	15,73	10,19	2,60	5,54	14,54	8,35
32	2,96	5,42	15,35	10,79	4,10	6,47	17,66	17,62	2,77	5,06	12,58	16,00

Proband	H_P4_de	H_P4_th	H_P4_al	H_P4_be	H_P3_de	H_P3_th	H_P3_al	H_P3_be	H_O2_de	H_O2_th	H_O2_al	H_O2_be
1	5,71	37,40	32,32	28,76	6,27	36,15	29,06	31,28	19,28	49,08	58,98	37,43
2	10,42	52,01	298,40	98,80	12,22	32,56	357,90	96,88	29,18	78,39	976,2	109,90
3	25,07	23,31	81,49	60,25	12,46	21,35	70,09	32,62				
4	5,33	13,64	24,07	5,76	3,98	15,75	19,14	5,53				
6	10,19	8,60	7,03	17,04	4,33	4,52	4,81	14,02	9,23	6,82	13,64	12,18
7												
8	51,27	93,94	361,30	27,32	14,60	80,08	357,00	21,75	18,89	68,32	281,3	24,14
9	28,70	21,98	23,80	10,96	27,31	15,28	18,36	8,01	8,93	11,56	50,13	16,41
10	2,81	9,57	2,52	2,04	1,82	7,28	2,40	2,23	4,11	10,40	4,23	3,58
11	16,05	49,50	203,00	48,32	16,94	95,94	413,70	66,69	38,60	88,60	957,6	215,70
12	8,33	20,72	41,70	7,16	12,29	21,19	52,99	7,78	38,82	67,06	173,6	23,16
13	2,49	9,20	143,70	15,82	2,50	5,29	59,94	12,43	7,13	23,36	359,2	28,64
14	8,46	13,68	213,70	44,95	9,50	16,72	135,30	38,05	12,18	38,42	856,9	74,29
15	9,37	55,89	361,00	43,61	11,20	61,58	248,60	31,57	12,14	52,33	531,2	50,19
16	4,36	4,04	42,29	6,52	5,89	4,51	64,17	7,11	5,75	6,86	20,08	10,88
17	3,04	9,72	74,40	18,93	4,06	9,06	98,09	19,42	15,63	27,53	401,5	39,13
33	6,78	8,19	32,14	18,86	4,11	5,90	24,08	19,61	11,54	11,72	58,6	26,93
5	3,56	7,42	35,83	8,23	4,55	9,16	23,71	8,17	4,86	16,38	50,48	18,97
18	3,34	6,55	48,23	7,78	3,50	4,43	29,59	5,57	9,05	14,58	363,1	22,21
19	9,39	11,37	35,13	10,10	17,84	14,96	24,53	12,66				
20	12,10	10,68	23,83	12,76	13,42	11,89	31,44	12,91	17,40	17,11	302,1	32,85
21	3,09	7,07	77,42	16,92	5,53	7,51	44,02	12,13	2,62	5,93	17,62	6,51
22	4,82	8,28	25,75	24,93	4,35	7,14	16,44	25,74	6,40	10,75	70,58	27,17
23	0,48	0,77	0,25	0,41	0,48	0,77	0,25	0,41	5,55	10,06	8,89	10,36
24												
25	6,17	5,86	27,63	7,08					10,47	9,96	96,71	15,03
26	7,11	4,90	4,25	5,20	4,83	5,32	4,28	3,99	3,32	6,28	11,72	4,53
27	4,02	6,37	17,46	2,32	4,24	3,67	5,58	1,31	5,61	8,12	57,91	4,24
28	6,35	6,43	28,13	10,84	4,48	5,29	31,04	8,10	8,45	10,42	40,3	16,20
29					7,81	8,72	40,97	13,50	12,32	12,04	53,17	13,74
30	2,35	2,71	16,03	6,90	4,25	3,23	7,97	8,69	5,95	8,35	122,5	17,29
31	5,35	10,31	33,05	17,08	3,67	7,65	23,48	16,44	4,91	11,10	69,93	22,71
32	6,77	11,25	80,12	37,51	6,69	9,59	63,02	28,39	3,52	7,83	20,96	18,55

Proband	H_O1_de	H_O1_th	H_O1_al	H_O1_be	H_F8_de	H_F8_th	H_F8_al	H_F8_be	H_F7_de	H_F7_th	H_F7_al	H_F7_be
1					49,48	63,00	62,21	26,20	21,99	44,96	33,10	25,32
2	21,67	50,91	705,4	104,00	14,35	21,74	135,90	34,98	12,60	21,14	122,20	29,28
3					12,76	17,91	18,96	21,06	16,63	17,23	13,76	14,96
4					4,87	19,06	22,18	53,30	6,51	15,02	10,43	4,48
6	7,81	6,85	9,38	13,37	14,57	14,21	8,49	12,87	61,94	41,60	15,83	15,10
7												
8	34,50	71,27	164,9	22,57	19,57	61,35	177,70	16,86	9,82	32,61	136,80	13,41
9	8,03	12,06	41,96	16,20	16,07	17,02	9,44	5,60	12,75	14,88	8,36	6,90
10					3,33	11,75	3,36	3,17	5,51	11,12	3,45	3,18
11	4,76	25,01	91,24	26,91					36,73	52,46	123,40	28,61
12	25,03	51,17	193,4	18,11	15,04	22,48	18,66	5,91	36,17	36,88	18,29	6,34
13									4,58	7,10	45,88	10,30
14	9,38	26,19	510,8	55,20	23,34	23,80	84,71	16,83	17,90	14,08	67,37	15,39
15	12,92	80,82	485,9	48,52	23,71	38,23	127,70	38,86	16,38	31,47	106,10	31,11
16					39,00	21,35	17,81	9,19	34,02	30,09	19,97	12,35
17	14,33	33,86	558,5	42,93	3,88	7,34	34,91	9,86	4,69	9,19	35,39	9,61
33	7,45	16,12	58,81	37,86	7,01	10,17	19,09	12,61	26,51	25,63	20,45	12,38
5	7,77	14,45	36,96	11,86	14,91	10,98	15,16	7,29	5,98	10,52	13,62	6,05
18	5,60	9,44	110,7	11,45					7,88	8,57	39,09	6,56
19	10,43	14,63	40,28	10,05	34,82	23,57	8,80	7,98	58,96	44,79	16,11	20,58
20					11,42	11,20	26,17	9,42	18,59	11,57	23,85	11,10
21	12,81	29,07	119,1	27,88	16,25	21,74	61,50	16,97	11,67	13,06	56,91	11,76
22	5,63	11,26	28,61	24,11	4,75	9,70	14,36	18,90	10,97	17,55	22,22	13,91
23	0,48	0,77	0,25	0,41	0,48	0,77	0,25	0,41	0,48	0,77	0,25	0,41
24												
25	13,40	10,41	75,19	15,68	8,83	6,33	16,30	6,91				
26					4,64	5,03	2,58	5,19	12,51	10,11	2,73	4,27
27	4,88	5,66	12,18	2,28	5,42	7,79	5,57	2,95				
28					3,11	4,88	9,18	7,82	5,93	10,35	9,46	8,13
29	13,01	14,60	67,02	21,41	7,38	6,81	16,20	8,66	4,02	4,31	12,88	5,09
30	3,18	5,46	86,92	16,79	3,97	4,14	15,44	6,44	10,41	11,07	23,48	11,45
31									3,37	8,58	15,17	11,59
32	7,37	15,88	144	39,75	7,24	8,68	19,30	13,28				

Proband	H_T4_de	H_T4_th	H_T4_al	H_T4_be	H_T3_de	H_T3_th	H_T3_al	H_T3_be	H_T6_de	H_T6_th	H_T6_al	H_T6_be
1	13,57	41,73	24,94	21,45	11,46	38,31	40,53	29,59	9,58	39,55	29,74	28,11
2	4,21	12,90	66,42	34,67	6,43	15,25	65,16	30,06	11,57	30,96	157,80	55,50
3	7,58	11,47	19,71	24,88								
4	3,42	16,42	12,39	6,64	3,00	11,14	7,75	4,25	4,22	16,98	41,16	10,10
6	7,68	7,54	5,89	9,28	2,16	3,19	4,21	8,34	12,08	11,58	13,30	13,14
7												
8	22,64	42,91	112,70	14,61	63,33	52,92	96,45	14,96	47,17	66,01	155,10	20,34
9	4,79	8,40	4,09	4,07	24,27	24,58	8,84	7,48	37,18	36,48	20,99	12,52
10	2,36	7,44	2,52	2,89	3,30	10,44	2,84	2,75	2,05	9,71	2,63	1,35
11	23,47	38,19	81,25	29,41					29,15	72,88	511,10	91,53
12	5,47	11,66	11,81	5,35	7,88	15,56	15,32	5,58	14,49	37,25	70,54	15,25
13	1,47	3,37	15,60	10,20	2,82	3,68	21,74	9,12	3,18	9,77	145,50	16,26
14	6,24	9,69	39,22	28,33	7,98	9,49	30,50	28,83	7,95	31,57	329,10	50,57
15	7,79	20,70	71,78	23,53	7,18	20,81	53,51	19,60	8,77	41,35	119,30	27,06
16	4,59	3,82	7,31	6,40					4,60	3,77	9,85	8,07
17	5,18	11,83	44,01	10,74	4,64	6,78	22,64	11,06	23,46	26,63	99,27	23,98
33	3,80	5,00	10,19	10,43	4,82	5,94	10,81	11,62	6,98	8,87	54,86	19,91
5												
18					2,22	4,47	13,10	3,47	4,65	7,27	106,10	13,30
19	7,96	9,47	6,86	4,86					12,69	11,63	27,01	10,22
20	11,34	10,62	21,41	7,63	9,83	9,59	10,78	7,80	14,72	17,84	169,40	26,81
21	2,62	5,93	17,62	6,51	5,15	9,63	38,54	9,14	2,62	5,93	17,62	6,51
22	3,60	8,77	22,17	19,41	3,27	10,17	16,98	17,54	5,79	9,84	37,00	20,81
23	0,48	0,77	0,25	0,41	0,48	0,77	0,25	0,41	5,53	10,52	6,98	14,16
24												
25	3,17	4,88	38,98	7,18					6,79	6,30	35,08	7,83
26									4,06	6,24	10,96	4,34
27	1,96	3,97	4,95	1,73	2,82	4,84	7,95	1,67	2,94	5,94	19,47	2,61
28												
29	6,68	7,61	14,82	10,20	8,35	10,94	13,28	8,20	9,44	11,10	28,78	9,49
30	1,12	1,92	9,98	5,96	1,77	2,02	6,66	4,97	7,27	7,72	65,53	15,83
31					7,36	7,98	26,40	20,79	5,09	12,65	37,76	20,87
32	4,13	6,76	12,91	15,60					4,59	8,92	29,02	23,73

Proband	H_T5_de	H_T5_th	H_T5_al	H_T5_be	H_Fz_de	H_Fz_th	H_Fz_al	H_Fz_be	H_Pz_de	H_Pz_th	H_Pz_al	H_Pz_be
1	16,01	47,85	81,70	48,07	13,11	34,57	21,38	13,55	6,92	39,36	24,61	26,23
2	10,76	23,40	159,80	62,42	8,52	13,03	124,10	25,08	11,96	20,61	192,70	50,21
3					19,93	18,55	30,48	18,83	33,41	36,37	152,40	92,45
4	2,64	26,20	22,50	8,23	3,25	15,59	21,87	4,71	5,93	19,03	76,14	8,34
6	11,06	8,35	9,37	12,52	6,69	5,59	5,04	12,79	8,89	5,02	7,31	10,20
7												
8	48,77	129,90	237,80	29,58	16,81	56,84	134,80	17,97	8,42	65,05	327,30	19,11
9					23,23	20,28	15,06	6,78	33,76	19,83	16,90	7,40
10					4,21	9,99	2,66	1,55	3,55	9,67	2,93	2,18
11	4,76	25,01	91,24	26,91	13,73	31,99	158,50	20,64	17,35	46,60	325,60	60,54
12					9,85	22,87	25,90	4,82	23,57	38,85	107,60	9,21
13	2,44	3,99	24,19	12,81	3,08	7,77	53,62	9,39	3,51	7,11	78,02	10,55
14	10,73	17,26	81,28	45,43	5,49	11,91	92,72	16,95	7,65	13,57	154,00	26,79
15					5,77	35,35	132,60	26,75	7,89	56,10	486,40	37,27
16	6,33	4,65	12,81	7,13	4,01	6,13	9,40	3,75	5,77	4,41	57,71	6,86
17	7,13	14,73	178,40	22,73	6,10	9,58	57,58	8,65	4,24	9,90	67,42	14,03
33	4,54	8,11	15,31	15,79	6,93	8,18	16,92	10,92	7,46	12,00	42,15	21,34
5					4,87	13,17	16,20	7,92	7,65	10,99	42,99	8,39
18					3,44	6,05	44,41	4,35	3,79	5,26	40,49	6,48
19	10,03	13,23	16,18	26,96	10,36	19,14	18,15	6,51	16,27	18,27	27,48	12,62
20					15,36	14,60	52,30	8,88	13,78	13,08	43,97	10,51
21	11,28	21,92	81,25	23,99	2,62	5,93	17,62	6,51	7,43	16,54	175,50	23,42
22	3,92	9,09	25,42	22,09	6,79	19,05	15,33	15,18	7,02	12,16	44,46	30,31
23	0,48	0,77	0,25	0,41	0,48	0,77	0,25	0,41	0,48	0,77	0,25	0,41
24												
25					8,79	8,59	22,49	6,06	10,65	8,46	24,99	8,73
26					5,31	8,81	4,22	2,93	9,73	7,59	6,25	4,01
27	3,91	4,66	6,16	1,70	8,32	7,05	9,04	2,11	2,74	5,08	8,41	1,71
28	4,29	7,94	12,38	11,66	10,70	19,29	31,21	9,88	6,36	7,44	33,99	9,22
29	10,21	9,99	18,69	11,04					11,23	10,71	69,84	21,53
30	2,30	4,24	23,55	16,04	2,63	3,54	16,04	4,47	4,97	4,05	24,78	8,13
31									6,18	11,06	20,85	22,58
32									6,34	10,34	59,02	39,44

Proband	H_A2_de	H_A2_th	H_A2_al	H_A2_be	H_A1_de	H_A1_th	H_A1_al	H_A1_be	H_Cz_de	H_Cz_th	H_Cz_al	H_Cz_be
1					23,17	267,10	43,52	40,45	5,56	33,53	15,20	15,14
2	6,42	13,38	52,16	25,42	17,76	35,45	132,60	61,22	6,42	13,38	52,16	25,42
3	19,53	22,92	13,10	18,42					20,47	34,63	31,56	38,61
4	13,01	52,62	22,90	18,85					4,79	16,76	19,32	4,78
6	12,06	12,46	11,50	11,57	9,78	10,11	13,28	11,81	2,16	3,19	4,21	8,34
7												
8					13,64	43,43	80,28	14,64	31,77	38,93	76,81	18,92
9	14,32	16,80	10,19	7,25	7,00	11,51	11,69	7,98	8,96	15,88	12,66	4,93
10	8,80	14,91	5,36	5,13					2,05	9,71	2,63	1,35
11	44,02	51,60	177,50	53,57	20,76	57,20	217,90	49,70	4,76	25,01	91,24	26,91
12									9,90	22,41	31,34	5,34
13	7,61	11,21	61,30	14,25	7,41	9,41	50,85	19,27	3,78	5,95	33,81	9,73
14									6,12	15,56	80,64	26,57
15					17,25	34,58	71,82	19,77	5,44	22,26	42,35	24,46
16	9,54	8,60	10,38	6,38	15,95	6,77	12,62	7,83	3,45	5,76	8,85	3,95
17	9,85	17,84	35,51	16,08					5,18	11,83	44,01	10,74
33	6,90	9,57	25,44	18,71	8,39	12,59	24,13	19,81	7,34	10,51	16,26	10,57
5									5,43	8,70	11,99	7,54
18	11,55	16,81	35,51	11,43	13,20	18,03	38,98	12,49	2,08	5,51	15,96	3,42
19					13,87	12,93	10,97	9,23	15,80	26,51	23,02	9,12
20									6,91	10,83	45,94	9,13
21	15,18	25,82	59,34	20,07	17,14	23,71	64,06	16,24	2,62	5,93	17,62	6,51
22	13,95	29,65	23,15	21,73					6,59	13,49	13,24	20,67
23	18,32	29,63	9,69	17,73	24,03	22,47	8,23	22,57	0,48	0,77	0,25	0,41
24												
25	20,14	16,78	21,61	12,99	15,50	12,14	19,23	10,00	4,37	7,13	15,70	4,47
26	6,71	8,77	2,99	4,86	7,85	9,29	3,11	4,45	6,91	13,45	4,61	3,57
27	13,45	19,21	13,79	6,44	12,71	17,73	14,87	6,08	2,67	5,96	3,95	1,26
28	22,22	20,07	11,73	14,03	19,71	19,58	14,77	16,52	9,34	13,40	20,68	9,40
29	49,92	24,12	28,36	26,20					8,35	10,94	13,28	8,20
30	6,53	9,14	22,98	16,16	6,63	8,12	20,20	14,42	7,85	7,34	8,04	4,42
31					6,73	15,85	31,69	16,27	3,66	9,27	17,99	14,57
32	9,47	14,77	36,72	25,17					3,52	7,83	20,96	18,55

Proband	N_Fp2_de	N_Fp2_th	N_Fp2_al	N_Fp2_be	N_Fp1_de	N_Fp1_th	N_Fp1_al	N_Fp1_be	N_F4_de	N_F4_th	N_F4_al	N_F4_be
1	54,69	16,60	29,90	21,25	86,19	47,74	44,81	29,28	12,81	8,70	19,13	17,17
2					17,61	22,33	158,40	23,66	11,31	16,42	162,90	30,55
3	228,50	108,20	34,53	40,57	388,90	143,60	30,78	34,00	6,62	14,85	30,83	17,70
4									4,33	7,15	18,84	4,72
6	16,63	10,06	11,40	16,50					4,37	3,40	5,40	10,63
7									3,05	7,80	2,86	3,08
8	7,82	17,71	169,10	9,50	11,12	13,87	125,60	13,04	3,33	11,70	109,70	6,35
9	12,15	17,32	73,67	12,17	7,00	12,61	66,62	11,13	4,62	9,50	67,00	8,48
10									2,99	7,54	2,85	2,81
11	53,15	87,94	262,70	138,40	62,08	70,93	279,40	112,00	11,59	51,18	229,40	61,38
12	18,33	18,67	49,57	12,20	29,74	23,09	45,49	11,53	8,90	12,65	31,47	7,18
13	17,89	13,36	52,96	11,80	25,82	16,95	51,49	10,83	3,46	5,81	28,04	7,20
14	12,15	21,57	244,00	28,49	14,20	25,90	222,60	30,53	6,94	33,53	187,40	37,41
15	11,63	30,02	132,80	38,22	8,47	23,26	116,00	30,37	4,21	22,56	125,50	43,92
16									2,80	3,62	10,23	3,71
17	8,42	12,32	136,00	20,94	11,78	12,00	121,30	20,24	8,18	12,90	101,50	20,01
33	32,77	12,47	22,66	18,32	13,72	10,21	23,32	16,29	6,43	6,67	16,33	12,41
5									3,96	9,47	7,09	8,16
18	19,78	21,25	31,08	9,42	17,34	19,36	30,40	12,04	4,80	6,13	22,87	4,53
19									11,93	8,02	6,09	6,82
20												
21									9,96	14,44	22,51	9,13
22	19,31	14,69	11,67	16,95	88,33	42,85	16,33	31,90	6,30	9,18	9,86	11,18
23												
24												
25									7,74	7,29	30,42	8,11
26									4,75	9,07	7,55	3,60
27												
28	18,47	12,67	29,73	9,82	22,82	17,50	30,03	13,76	7,24	9,01	29,39	10,84
29	40,82	21,02	41,94	17,69	45,47	33,77	42,43	19,66	7,16	10,27	28,03	13,41
30					7,41	5,80	14,43	7,21	4,11	3,60	16,92	5,73
31	81,68	33,86	13,67	16,22	72,04	31,22	13,35	17,30	8,83	6,24	12,86	17,47
32									9,10	8,34	16,75	10,46

Proband	N_F3_de	N_F3_th	N_F3_al	N_F3_be	N_C4_de	N_C4_th	N_C4_al	N_C4_be	N_C3_de	N_C3_th	N_C3_al	N_C3_be
1	17,63	14,64	24,48	21,62	5,80	6,95	12,20	14,57	3,61	7,22	9,75	12,59
2	8,31	11,50	134,70	23,44	5,95	13,93	68,10	35,94	6,22	14,84	73,09	38,06
3	34,10	19,01	22,70	21,31	9,64	18,90	24,11	16,96	6,57	24,47	18,93	18,25
4	4,33	6,46	15,59	4,01	3,28	4,90	10,10	3,44	3,97	3,88	8,61	2,94
6					1,11	2,87	6,00	8,16	2,16	3,23	4,84	12,57
7	2,75	7,18	2,09	3,22	1,31	3,20	1,94	1,81	1,75	3,14	1,49	2,00
8	2,06	9,06	80,63	8,33	3,22	6,06	32,02	5,37	1,84	5,91	23,00	6,93
9	7,08	9,51	65,96	8,61	2,28	5,93	13,73	3,78	3,06	5,76	12,68	4,60
10	2,57	8,15	2,55	2,33	2,19	3,91	2,06	1,59	1,98	3,87	1,90	1,50
11	8,96	33,43	123,20	36,80	4,84	24,61	111,10	32,08	7,05	21,61	124,10	24,29
12	13,35	13,08	36,11	7,87	3,67	8,11	45,25	5,49	3,40	9,65	44,77	6,53
13	4,50	7,53	26,25	9,23	2,85	4,04	14,39	6,35	2,31	4,89	13,75	7,81
14	5,48	21,39	160,70	30,49	5,84	35,60	228,10	44,31	6,16	32,81	142,30	36,74
15	4,17	16,69	124,10	26,93	3,57	14,91	43,10	22,21	5,80	19,90	42,22	18,12
16	3,75	2,89	14,07	5,12	1,15	1,51	8,49	2,23	2,95	2,21	4,06	2,12
17	7,79	12,18	87,33	18,60	1,91	6,11	71,31	10,38	3,23	5,93	44,45	13,07
33	6,04	6,20	13,38	10,50	2,88	3,23	9,99	11,13	2,48	3,55	9,12	9,38
5	3,55	6,32	8,02	6,43	2,40	3,46	7,14	3,99	2,40	3,16	4,32	2,98
18	2,91	4,60	21,98	4,27	2,34	4,11	12,90	3,61	2,35	3,85	9,21	3,20
19	7,09	7,77	7,66	6,68	4,24	6,36	7,40	5,98				
20	4,63	7,75	47,13	15,06	4,62	6,81	55,41	21,64	2,97	5,25	65,27	25,56
21	17,30	17,84	26,11	8,92	4,75	9,65	15,93	9,91	5,57	10,24	19,75	9,27
22	5,76	5,74	8,35	12,71	5,45	6,87	7,87	10,32	2,60	4,65	5,86	8,55
23					9,86	10,62	4,47	7,17	12,75	11,24	4,58	5,47
24												
25	16,05	10,40	25,34	7,70	3,78	5,66	15,45	5,75	2,48	3,12	13,54	4,47
26	3,52	5,53	6,74	3,19	3,53	5,35	4,41	2,83	4,94	5,02	5,10	2,66
27	5,77	7,47	23,58	5,12					2,65	4,33	8,90	3,21
28	4,70	7,13	22,86	8,98	5,23	8,05	14,94	9,88	2,43	6,61	11,47	8,41
29	14,83	15,55	34,01	24,19	5,98	12,20	33,99	14,28	3,75	13,04	23,96	12,62
30	3,70	3,33	15,49	4,72	1,48	2,05	7,43	5,24	2,28	2,51	7,52	4,08
31	12,73	8,78	12,27	14,15	4,01	3,08	6,78	11,31	3,07	5,40	10,91	19,60
32					4,29	5,11	11,58	9,64	2,52	3,70	10,98	8,61

Proband	N_O1_de	N_O1_th	N_O1_al	N_O1_be	N_F8_de	N_F8_th	N_F8_al	N_F8_be	N_F7_de	N_F7_th	N_F7_al	N_F7_be
1	10,83	10,96	35,78	37,03	15,11	14,13	19,00	29,67	27,08	16,91	30,05	26,53
2	20,73	69,60	882,1	103,70	12,34	17,41	139,80	40,36	7,41	15,74	128,10	28,77
3	29,27	41,50	152,7	83,18	8,22	14,67	27,33	21,27	50,49	24,71	18,40	24,21
4	10,88	20,90	138,9	24,58	5,61	8,25	14,00	6,78	4,48	7,94	14,08	6,81
6	4,01	6,80	14,36	21,54	7,17	3,89	5,92	9,30				
7	5,01	7,18	8	5,73	2,32	6,48	4,10	3,11	3,01	4,93	2,50	2,67
8	6,84	26,32	337,8	20,88	4,51	11,89	91,63	8,28	6,82	12,50	114,00	11,95
9	3,95	12,20	220,6	23,85	4,78	6,89	42,67	9,16	4,67	8,76	29,94	7,39
10	3,34	7,27	4,07	3,89	3,93	5,61	3,14	3,42	4,14	5,28	2,83	3,33
11	24,08	101,50	653,9	129,70	20,87	77,14	200,50	87,93	19,07	41,42	99,84	33,38
12	19,18	31,17	178,9	43,17	5,80	8,34	28,24	6,46	12,16	12,38	29,54	8,84
13	6,48	17,06	173,8	22,28	11,15	11,20	32,92	13,61				
14	9,95	50,20	556,6	73,50	6,66	21,31	150,50	26,49	7,73	21,78	164,70	25,08
15	11,51	78,74	617	57,41	6,82	21,35	60,34	28,11	9,40	27,14	105,80	61,91
16	3,19	3,34	73,07	10,40	1,84	1,85	8,09	3,44				
17	11,28	36,16	450,1	68,67								
33	6,75	7,44	53,07	23,49	8,56	6,46	18,01	11,71	5,57	5,77	15,21	17,32
5	6,29	12,56	32,32	15,89	4,39	7,56	5,94	6,44	3,58	5,23	8,27	4,90
18	7,40	9,97	86,64	15,22	8,42	6,13	18,25	5,68	6,46	7,30	22,94	7,86
19	9,99	11,56	19,1	16,69	8,64	9,85	5,04	9,09				
20	9,83	21,28	666	57,56	5,72	7,04	49,22	15,84				
21	21,56	82,56	245,3	56,22	3,77	9,73	16,69	9,16	8,31	12,53	27,27	9,55
22	6,22	11,52	30,09	32,19	7,11	7,20	9,88	13,66	4,95	8,17	13,82	13,61
23	13,36	11,77	11,33	18,66					10,57	9,99	4,44	10,20
24												
25	17,01	17,00	184,3	37,08	3,69	5,48	18,71	7,03	6,33	5,30	21,00	10,58
26	3,92	5,53	18,92	6,29	4,02	4,62	4,87	3,45				
27												
28	5,43	11,15	174,7	28,92	5,05	7,19	19,79	9,49	3,53	7,51	22,06	5,50
29	10,57	16,38	49,35	16,64	3,81	5,16	19,13	17,42	4,46	9,31	17,55	10,10
30	3,86	5,92	73,87	15,88	4,63	3,82	12,11	7,45	11,67	23,72	26,72	16,28
31	9,36	7,32	61,69	37,47	6,69	8,58	15,56	17,79	2,64	2,95	9,04	6,44
32	7,84	9,09	121,8	28,83	7,20	6,93	13,80	12,83	7,43	6,16	17,19	12,67

Proband	N_T4_de	N_T4_th	N_T4_al	N_T4_be	N_T3_de	N_T3_th	N_T3_al	N_T3_be	N_T6_de	N_T6_th	N_T6_al	N_T6_be
1	5,95	9,22	15,55	21,72	3,97	7,21	10,77	22,16	6,78	12,04	20,99	27,79
2	6,66	18,62	92,07	58,11	5,84	16,47	109,30	46,67	13,30	38,12	261,20	104,10
3	10,34	14,32	28,44	18,09	4,77	11,05	19,06	16,39	44,93	41,74	62,13	48,99
4	2,57	4,71	10,28	4,07	2,42	4,33	7,69	4,03	2,26	4,52	12,25	4,20
6	2,38	3,50	5,94	8,12	2,75	4,12	7,00	9,77	2,10	3,75	9,30	11,77
7	1,20	2,91	1,78	1,93	1,22	2,86	3,03	3,12	3,06	5,87	2,65	2,95
8	2,66	9,32	38,64	8,72	2,43	8,25	55,89	8,24	3,87	21,92	162,70	13,72
9	2,51	4,02	9,91	4,92	2,30	4,40	6,66	5,79	3,20	8,19	121,60	14,86
10	5,00	3,00	1,66	2,43	1,26	2,74	1,62	2,43	2,19	4,76	2,90	3,73
11	5,29	26,19	97,02	42,94	9,58	22,93	81,77	31,76	12,26	35,34	216,70	67,91
12	6,67	7,48	55,38	7,45	4,40	7,40	26,90	6,08	16,80	28,98	123,00	26,67
13	3,96	5,14	13,71	10,36	6,09	5,31	16,98	9,36	5,06	7,30	33,67	11,46
14	5,02	30,24	168,10	50,51	2,92	19,04	85,79	27,29	9,64	50,84	770,00	80,17
15	3,28	16,40	50,24	25,02	4,81	26,81	66,44	36,50	8,65	60,12	463,30	49,56
16	4,27	1,97	6,37	3,13					2,19	1,88	22,77	5,07
17	3,02	6,84	89,09	17,67	3,69	6,95	93,53	18,63	5,50	13,77	139,50	24,09
33	2,46	3,57	9,14	13,45	2,58	3,22	10,81	14,64	6,86	8,89	149,20	26,70
5	2,88	3,80	6,13	4,88	2,20	3,38	5,10	3,65	2,70	5,54	16,09	7,20
18	2,18	4,66	8,74	4,16	3,04	4,82	10,26	3,88	3,38	6,19	26,03	8,60
19	3,30	5,20	3,96	4,58					7,98	9,16	13,36	10,39
20	4,78	6,98	77,17	37,53					4,78	7,27	40,71	21,82
21	6,98	10,61	14,24	10,83					10,04	14,80	24,14	11,06
22	3,60	5,64	10,05	12,16	3,82	6,62	12,26	13,53	5,35	7,61	20,11	23,32
23	5,09	9,53	5,16	10,41	31,33	9,42	3,78	7,01	6,02	7,42	10,58	14,79
24												
25	5,72	5,54	31,23	8,92	2,48	4,29	22,00	9,68	6,75	6,52	41,71	11,85
26	3,35	6,45	4,02	3,58	1,78	4,21	2,98	6,24	3,17	4,66	15,20	4,86
27					2,73	3,83	9,27	4,06	6,08	11,62	66,29	7,71
28	2,18	5,39	11,92	10,95	3,97	8,31	11,82	13,03	2,41	5,22	13,00	14,54
29	3,01	7,56	15,33	9,97	2,76	14,19	16,13	8,81	5,08	9,83	52,47	12,50
30	1,52	1,60	5,59	5,89	1,81	2,14	6,53	8,33	2,49	3,73	27,91	10,83
31												
32					3,54	5,08	9,42	12,26				

Proband	N_A2_de	N_A2_th	N_A2_al	N_A2_be	N_A1_de	N_A1_th	N_A1_al	N_A1_be	N_Cz_de	N_Cz_th	N_Cz_al	N_Cz_be
1	25,83	32,01	41,14	43,19	19,79	24,89	47,04	41,11	4,07	6,53	13,13	10,07
2	29,69	44,46	182,00	63,70	20,83	36,57	178,90	60,69	6,07	15,06	63,03	24,40
3	58,32	49,01	24,55	37,60	43,64	44,38	24,24	34,78	12,97	31,57	40,06	21,16
4	16,10	23,55	25,72	16,89	12,80	21,86	23,95	13,95	4,48	4,61	10,92	3,34
6	8,25	10,74	19,06	17,14	6,59	10,06	20,22	18,73	1,83	3,63	4,83	11,82
7	10,12	19,22	7,61	7,89	14,74	21,57	11,97	11,52	3,35	4,80	2,00	2,26
8	14,52	22,60	141,70	20,11	12,58	24,15	119,80	25,49	2,50	6,32	40,36	6,59
9	13,01	17,04	22,03	13,53	10,83	19,62	20,39	13,13	3,29	9,30	21,14	4,88
10	8,37	13,05	5,81	6,04	8,98	13,24	7,22	7,07	2,94	5,27	2,71	1,56
11	30,38	49,80	217,30	59,43	16,77	44,66	198,20	51,39	8,23	25,72	150,70	30,57
12	22,12	28,04	69,03	14,45	17,37	24,81	72,98	15,38	5,20	9,92	36,28	5,47
13					12,72	16,96	63,26	22,84	2,11	4,34	14,90	6,48
14	13,82	47,29	257,20	47,24	19,14	44,40	229,60	42,40	7,25	25,10	141,40	33,26
15	17,46	45,86	67,12	35,27					5,80	19,90	42,22	18,12
16	10,17	8,44	51,13	11,12	12,25	9,91	52,02	11,69	1,54	1,85	6,05	1,76
17	13,70	22,52	147,70	25,84	9,30	23,23	127,40	26,74	3,10	5,49	36,33	8,46
33	19,54	13,84	27,08	19,91	10,57	9,15	29,42	20,80	9,25	8,07	11,77	9,17
5	14,84	19,82	17,75	11,42	13,82	17,20	22,61	9,00	2,77	4,67	5,77	4,31
18	13,37	21,47	46,09	22,30	12,00	17,38	56,34	16,77	2,45	5,28	13,05	3,65
19	16,64	18,29	9,33	8,39	16,50	15,08	11,16	9,82	8,57	15,19	10,71	6,62
20	14,80	17,20	75,60	21,89	17,86	17,34	57,45	21,33	5,62	6,29	52,03	11,95
21	6,59	16,46	21,05	8,06	34,74	36,64	33,28	17,71	6,59	16,46	21,05	8,06
22	22,97	21,61	28,66	42,44	20,86	20,83	48,26	37,31	6,50	9,32	8,02	9,42
23	13,92	22,44	13,61	21,05	21,31	18,72	11,80	18,13	6,00	13,43	4,73	6,16
24												
25	40,26	31,26	50,99	24,49	26,18	23,01	55,51	20,75	3,56	5,74	14,64	4,17
26					11,94	14,23	7,27	7,37	4,98	9,06	6,91	2,76
27					11,87	18,38	30,64	12,87	4,60	8,24	8,92	4,50
28					17,65	32,88	51,12	30,06	6,45	15,09	19,94	8,78
29	13,40	24,87	30,38	25,12	15,51	17,97	22,23	17,78	6,23	17,80	17,94	10,27
30	9,52	13,12	31,92	20,25	8,21	12,33	30,88	25,35	4,04	4,56	15,32	3,97
31	22,24	14,04	15,24	14,93					6,62	6,89	10,86	9,61
32	14,52	16,70	53,49	29,03	12,86	16,76	50,40	34,90	3,16	5,12	18,96	11,06

Proband	S_Fp2_de	S_Fp2_th	S_Fp2_al	S_Fp2_be	S_Fp1_de	S_Fp1_th	S_Fp1_al	S_Fp1_be	S_F4_de	S_F4_th	S_F4_al	S_F4_be
1									8,60	14,75	29,20	22,66
2												
3	37,04	27,00	53,20	38,22	119,40	55,61	47,96	33,74	8,97	16,72	46,38	26,97
4	23,91	16,98	26,41	11,77	22,60	22,14	19,63	7,06	19,11	11,16	28,00	8,36
6									3,99	4,82	4,04	6,04
7									3,25	5,55	3,54	5,56
8	17,21	48,08	379,20	28,63	12,86	40,99	321,40	27,55	12,27	35,14	208,10	21,02
9	22,79	23,43	66,32	16,69	31,83	21,34	66,12	13,86	6,35	12,87	68,25	10,55
10									2,51	4,40	2,37	2,16
11												
12	30,56	27,42	68,11	8,74	18,52	17,32	57,22	7,90	9,49	14,17	41,20	6,46
13												
14												
15	9,11	23,16	219,00	26,12	11,19	24,42	202,60	22,51	6,49	21,16	173,50	25,25
16												
17	5,08	8,22	105,90	19,02	3,98	8,54	90,30	16,79	2,21	6,91	61,91	13,34
33	16,26	13,71	22,08	20,74	10,65	9,81	19,64	18,23	5,86	9,14	17,82	16,01
5												
18									4,17	10,23	49,99	8,69
19									8,44	9,01	5,94	8,06
20												
21									8,57	22,61	37,90	11,11
22	23,47	18,02	27,26	38,55					13,03	15,04	18,89	31,94
23									8,75	6,24	3,03	4,26
24												
25									6,00	5,47	21,23	8,67
26									6,85	5,90	6,05	3,49
27	1,38	3,02	5,28	0,81	1,38	3,02	5,28	0,81	6,46	6,67	20,36	2,86
28	130,20	61,22	23,79	14,71	64,41	34,22	20,34	14,97	17,94	12,55	17,83	7,06
29									10,79	9,58	26,69	13,73
30	6,21	10,29	11,23	10,64					2,79	3,63	7,66	5,03
31												
32									7,31	9,31	25,67	16,08

Proband	S_F3_de	S_F3_th	S_F3_al	S_F3_be	S_C4_de	S_C4_th	S_C4_al	S_C4_be	S_C3_de	S_C3_th	S_C3_al	S_C3_be
1	10,74	17,62	26,85	22,63	4,28	8,58	14,23	18,83	6,12	8,16	10,29	15,35
2												
3	15,74	19,60	31,18	24,72	9,39	18,51	66,99	32,45	5,91	19,60	113,10	42,13
4	4,03	6,00	21,76	4,38	5,01	6,60	17,35	3,47	2,68	5,10	11,61	2,81
6	3,61	3,64	4,01	5,78	1,74	2,19	3,64	4,99	3,19	2,66	2,72	4,59
7	3,52	8,06	3,27	5,26	1,58	3,33	2,62	2,87	1,55	3,16	1,93	3,62
8	7,16	30,42	146,80	17,89	6,93	22,52	171,60	15,94	9,41	23,99	182,90	20,37
9	8,43	12,10	69,54	12,36	4,52	8,99	13,31	6,54	2,82	6,07	17,59	5,24
10	1,61	3,94	1,75	1,89	3,27	3,08	1,49	1,84	1,51	2,32	1,28	1,33
11												
12	10,13	13,81	28,84	6,14	3,97	6,45	34,86	4,24	4,98	7,54	53,81	4,48
13												
14												
15	6,73	24,87	187,80	28,23	3,24	12,15	57,46	23,69	4,83	13,55	55,90	19,14
16												
17	1,48	4,10	17,60	5,00	1,16	4,21	29,37	10,62	2,07	4,12	15,08	7,45
33	4,75	7,86	14,77	14,30	4,61	4,98	9,41	13,79	2,84	4,76	12,91	12,69
5					1,97	5,37	3,26	3,13	3,68	5,82	4,00	3,10
18	3,75	9,31	49,46	7,92	2,11	7,08	26,37	6,65	1,84	4,83	19,81	4,47
19	7,62	7,69	5,48	7,64	5,69	7,62	6,40	5,71	4,94	7,15	6,41	8,40
20					4,40	5,52	22,90	9,50	2,86	5,79	17,46	7,44
21	13,66	21,46	43,22	11,55	3,11	15,21	21,59	7,55	4,62	11,89	21,45	9,12
22	7,08	10,53	16,60	25,47	5,13	9,84	15,12	17,61	5,63	7,93	13,14	13,70
23	11,79	10,16	3,49	5,34	6,58	5,13	1,88	4,32	14,65	10,19	2,97	4,58
24												
25					4,90	5,69	18,25	5,49				
26	5,80	5,15	6,75	3,51	4,23	5,53	4,51	1,97	3,34	4,77	5,01	1,82
27	7,35	6,96	27,83	2,68	1,38	3,02	5,28	0,81	1,38	3,02	5,28	0,81
28	11,46	9,37	16,51	6,05	5,53	9,65	10,82	5,91	5,54	11,25	13,41	7,53
29	6,76	9,10	20,21	13,72	4,10	6,79	14,58	8,95	7,97	10,46	14,94	9,93
30	2,34	2,82	11,17	4,00	1,81	2,72	2,35	3,64	2,03	3,05	8,25	3,70
31					2,74	5,69	16,29	10,79	4,20	6,98	18,54	13,23
32	4,49	7,97	27,20	15,58	3,95	5,37	29,44	13,60	3,56	5,67	17,08	15,00

Proband	S_P4_de	S_P4_th	S_P4_al	S_P4_be	S_P3_de	S_P3_th	S_P3_al	S_P3_be	S_O2_de	S_O2_th	S_O2_al	S_O2_be
1	5,23	8,67	13,15	22,19	6,22	8,44	18,79	24,24	6,70	16,58	55,71	35,21
2												
3	16,54	22,23	60,16	66,88	9,00	19,21	110,90	53,17	15,33	27,20	40,22	66,31
4	4,82	6,14	8,29	3,62	5,04	5,25	12,23	4,15	7,41	11,85	117,7	12,92
6	4,08	3,55	3,76	4,41	8,51	3,85	3,01	5,31	6,44	5,07	9,42	9,74
7	2,98	5,45	3,76	4,31	2,32	3,61	2,93	4,02	5,77	8,30	10	7,88
8	7,33	27,17	263,90	16,94	11,49	30,26	321,00	20,33	11,97	27,29	256	21,08
9	5,54	10,12	130,40	18,11	3,60	6,90	54,93	11,51	8,00	18,24	223,1	42,40
10	1,64	2,02	1,50	1,85	1,63	2,23	1,84	1,63	3,46	4,44	5,32	3,41
11												
12	8,89	14,92	119,10	8,39	10,52	14,18	125,00	7,04	17,07	26,21	103,4	48,97
13												
14												
15	5,38	31,98	503,30	30,87	3,68	16,37	245,20	27,15	8,05	45,95	466,3	43,88
16												
17	1,82	5,48	84,09	14,04	2,19	5,35	108,70	16,49	5,81	17,34	332,1	36,42
33	5,83	5,06	33,14	15,09	6,35	5,20	17,59	21,51	6,12	8,54	37,69	15,02
5	3,51	4,62	8,05	4,56	2,81	4,94	7,93	3,94	7,32	12,26	43,34	15,71
18	4,16	8,77	58,47	10,95	3,64	5,02	24,84	6,76	8,80	20,99	402,7	52,14
19	9,21	9,86	8,84	8,27	6,08	8,64	8,62	7,41	25,16	23,67	84,81	42,46
20	7,45	9,39	40,03	19,98	7,25	9,46	77,91	28,02	13,19	13,85	133,5	17,93
21	8,84	10,34	30,58	9,69	7,97	8,82	36,49	9,86	21,54	25,57	347,8	48,87
22	9,23	13,32	50,07	59,75	3,92	8,46	18,90	32,20	11,06	16,01	97,17	106,70
23	20,50	8,93	2,91	5,90	16,81	11,65	3,88	6,07	7,42	7,94	5,72	8,94
24												
25	6,80	6,47	28,67	7,65	6,91	7,55	35,88	8,90	13,93	12,96	68,69	18,43
26	5,43	6,24	6,94	3,45	3,61	5,52	6,51	3,04	7,49	9,08	40,38	14,60
27	3,43	6,05	53,86	3,78	2,66	3,69	21,95	2,52	10,26	19,49	162,9	15,69
28	11,77	11,55	16,79	10,73	9,99	9,14	16,92	7,58	15,86	16,36	90,05	22,77
29	6,39	9,49	33,21	13,15	7,70	9,84	49,22	19,61	11,95	12,75	77,09	18,95
30	2,41	3,11	9,11	5,70	2,51	3,55	4,76	4,47	3,11	6,18	87,32	20,32
31	5,38	8,41	29,69	19,06	6,02	7,93	33,80	20,70	9,98	13,85	124	47,48
32	7,08	7,26	65,42	19,64	4,75	6,59	47,63	18,99	7,79	11,97	125,1	29,49

Proband	S_O1_de	S_O1_th	S_O1_al	S_O1_be	S_F8_de	S_F8_th	S_F8_al	S_F8_be	S_F7_de	S_F7_th	S_F7_al	S_F7_be
1	6,44	14,54	33,36	24,85	27,09	21,42	39,01	33,04	24,55	18,08	35,15	25,13
2												
3	15,51	31,74	75,57	73,12	6,12	11,94	32,74	22,57	36,05	23,57	31,07	28,59
4	9,09	16,07	168,5	25,67	7,46	8,65	22,98	8,07	6,17	7,54	13,95	4,86
6	7,99	7,20	11,32	10,78	6,13	4,58	4,37	6,38	7,07	4,36	4,32	6,00
7	5,38	10,45	8,42	9,15	5,46	6,28	4,96	5,62	5,35	10,53	9,59	7,05
8	12,65	35,63	331,2	30,01	16,69	38,58	256,20	24,89	14,63	41,30	237,10	29,49
9	6,43	16,37	206,4	30,06	6,73	9,17	37,79	9,96	17,19	15,93	53,61	13,43
10	3,09	5,35	6,34	4,20	4,07	7,06	5,30	3,84	3,29	4,44	2,87	4,64
11												
12	16,24	25,94	136,2	30,81	12,51	17,15	50,29	8,26	7,76	10,76	24,85	16,78
13												
14												
15	7,59	41,66	421,1	47,29	9,42	21,35	177,50	28,37	8,10	21,12	160,30	28,09
16												
17	9,32	23,29	588,6	60,83					5,28	11,06	76,09	23,31
33	6,80	9,79	24,63	25,94	11,67	11,76	21,60	20,54	9,01	11,24	21,23	18,51
5	7,50	13,67	34,56	16,75	6,75	9,30	10,59	7,00	3,84	8,18	11,27	6,48
18	7,95	19,39	297,8	40,32	7,52	12,45	45,88	10,67	5,10	8,21	40,30	9,29
19	17,14	22,04	48,23	29,51								
20	10,43	15,90	186	25,76	8,54	10,87	19,40	10,80	24,01	20,99	17,34	12,42
21	19,91	31,15	344,4	45,11	7,29	14,30	37,55	19,47	7,60	20,37	35,68	12,21
22	10,47	15,60	67,63	61,86	11,73	10,36	27,62	36,94	9,96	13,08	22,05	31,88
23	8,91	10,18	5,89	7,78	9,76	9,67	3,53	8,81	12,40	10,22	3,49	6,60
24												
25	11,83	10,65	103,9	19,31	9,04	8,17	19,55	13,91	20,89	14,93	21,94	13,38
26	8,54	7,99	24,95	11,75	9,52	8,25	5,13	4,53	5,49	8,05	4,92	5,13
27	1,38	3,02	5,28	0,81	1,38	3,02	5,28	0,81	9,02	11,69	36,81	3,69
28	15,91	17,80	112,8	27,85	22,79	18,89	20,39	10,79	9,22	9,03	12,35	13,06
29	14,15	17,15	128,8	33,60	12,19	13,86	32,91	32,56	11,18	14,35	27,37	30,86
30	3,08	5,52	16,4	11,19	4,41	7,16	9,43	6,42	2,85	4,11	13,72	6,67
31	7,98	12,46	124,3	46,69	7,89	15,77	33,53	23,80	10,56	14,42	38,37	19,09
32	10,58	14,81	163,1	46,59	8,31	8,26	29,16	19,41	7,98	10,23	31,95	17,63

Proband	S_T4_de	S_T4_th	S_T4_al	S_T4_be	S_T3_de	S_T3_th	S_T3_al	S_T3_be	S_T6_de	S_T6_th	S_T6_al	S_T6_be
1	4,19	10,49	19,73	30,83	5,52	6,10	13,74	21,09	5,08	12,66	27,91	24,80
2												
3	8,91	16,14	48,43	26,60	4,65	13,36	61,06	23,92	22,21	38,39	50,81	79,87
4	2,89	5,71	13,80	4,50	4,41	4,64	5,96	2,51	7,17	7,78	51,44	5,75
6	2,67	3,46	3,41	6,89	2,55	1,79	2,41	5,53	12,88	7,04	5,74	5,63
7	1,85	3,75	3,04	4,13	1,31	3,05	3,79	4,41	2,89	3,97	3,63	4,49
8	9,02	32,15	190,60	19,07	9,98	38,87	194,50	19,42	12,11	41,65	321,10	24,31
9	2,99	7,52	16,51	7,92	3,70	5,43	11,84	6,43	6,68	12,43	174,00	22,64
10	1,76	2,21	1,38	2,65	1,51	2,70	1,80	2,42	1,25	3,50	2,98	3,45
11												
12	5,19	7,24	23,17	4,83	4,53	6,82	29,70	4,44	13,53	23,78	97,09	15,74
13												
14												
15	3,71	11,97	45,22	22,50	3,48	14,76	58,89	19,49	10,35	51,20	668,90	52,45
16												
17	1,74	5,32	29,95	21,97	2,25	6,36	41,54	24,67	2,16	5,71	37,03	25,36
33	2,57	3,41	8,54	15,48	3,02	4,46	10,61	19,46	5,48	8,99	48,81	14,50
5	2,62	4,16	4,07	3,94	1,73	4,61	4,44	3,63	4,60	8,29	23,52	11,02
18	2,07	5,61	19,51	6,75	3,88	5,28	16,66	4,65	7,95	18,50	292,60	33,14
19	3,53	5,81	4,45	22,90	6,07	6,23	13,22	9,42	12,71	14,67	32,52	20,52
20	4,33	6,13	30,39	12,59	3,18	8,58	23,65	13,51	7,98	8,56	48,73	21,57
21	4,28	8,88	22,60	10,94	4,98	6,00	14,30	21,89	13,12	14,80	83,57	18,47
22	4,76	6,01	15,12	21,50	4,96	5,05	1,91	5,59	7,09	10,27	60,39	54,38
23	6,69	3,27	1,74	5,75	4,96	5,05	1,91	5,59	10,51	5,27	3,41	6,51
24												
25	4,64	4,93	46,61	11,32	1,88	3,16	14,69	13,06	10,86	8,67	63,13	13,46
26	3,84	6,08	3,14	2,49	2,49	4,73	3,44	2,29	8,13	8,39	28,99	7,89
27	3,03	3,15	9,71	1,75	4,00	4,78	11,83	1,78	1,38	3,02	5,28	0,81
28	4,92	4,87	7,43	7,54	5,68	6,85	8,60	8,29	12,22	11,29	23,77	13,84
29	2,37	4,10	13,42	10,25	3,13	5,03	13,12	7,78	7,12	9,28	37,16	12,01
30	2,28	2,36	6,01	6,20	1,55	3,19	8,65	5,58	4,40	5,47	88,92	20,27
31	3,42	6,45	19,51	12,81	4,22	8,66	21,13	13,52	7,14	11,86	61,61	21,00
32	3,64	4,24	15,37	14,44	4,15	5,86	12,00	22,34	4,36	7,74	46,30	18,88

Proband	S_T5_de	S_T5_th	S_T5_al	S_T5_be	S_Fz_de	S_Fz_th	S_Fz_al	S_Fz_be	S_Pz_de	S_Pz_th	S_Pz_al	S_Pz_be
1	6,29	13,66	40,37	30,28	7,81	13,97	25,43	14,59	7,22	9,16	13,15	26,45
2												
3	12,56	25,24	38,05	35,97	12,42	37,53	53,84	33,36	16,56	25,78	91,99	65,48
4	6,02	7,99	50,95	7,35					4,54	6,81	12,30	4,33
6	4,26	4,70	8,12	8,01	3,96	4,97	4,62	6,46	6,24	3,00	3,81	4,06
7	2,30	4,25	5,09	4,86					2,50	3,92	2,76	3,51
8	15,70	53,17	355,60	31,32	9,22	39,65	211,10	26,09	9,68	26,10	304,40	17,82
9	5,35	9,00	42,39	11,33	6,65	14,05	74,86	11,48	5,03	7,21	75,19	13,45
10	1,43	3,53	3,01	3,73	2,06	4,39	1,97	1,58	6,99	3,66	2,41	1,89
11												
12	23,09	31,52	166,80	14,36	11,24	19,19	43,35	6,50	12,97	20,06	171,40	10,38
13												
14												
15	5,13	20,67	146,50	25,54	8,30	28,03	205,90	21,65	4,83	23,45	450,80	24,29
16												
17	3,59	10,39	156,30	35,62	3,24	8,22	60,53	11,04	2,15	4,66	65,19	11,89
33	8,37	9,61	32,06	27,47	7,88	7,66	18,22	12,92	8,39	7,97	24,49	19,03
5	4,47	9,01	16,68	9,13					3,53	5,16	9,11	4,26
18	3,66	7,42	42,05	11,38	4,61	11,70	54,04	8,63	3,64	6,82	34,57	7,22
19	5,88	7,71	6,11	23,98	9,78	9,46	6,68	5,14	9,91	13,71	13,40	8,22
20	9,52	10,07	42,18	14,17	3,48	5,87	20,33	4,83	7,60	10,45	23,10	8,78
21	10,15	16,88	77,59	20,70	9,73	23,70	45,67	9,66	8,08	11,08	32,45	8,84
22	9,06	14,62	48,80	34,65	15,13	17,20	18,95	26,97	6,06	13,05	42,15	55,76
23	6,45	5,01	2,91	5,70	33,58	12,36	3,20	5,13	23,15	18,73	4,30	7,84
24												
25	8,99	7,49	50,63	9,84					8,36	7,07	26,81	9,05
26	3,85	5,00	7,44	3,98	7,11	8,28	7,12	4,17	4,63	6,29	7,83	3,13
27	6,57	9,43	26,21	5,20	1,38	3,02	5,28	0,81	3,64	5,67	39,27	2,90
28	10,85	11,01	37,62	14,53	16,66	13,65	18,87	5,42	11,77	13,34	19,60	9,44
29	11,92	14,96	78,89	21,58	7,18	10,85	26,87	8,93	7,66	12,08	27,98	13,58
30	2,79	4,27	10,99	11,66	2,58	3,08	9,61	3,67	3,60	3,95	4,43	5,05
31	8,03	11,75	76,40	28,94					6,86	9,96	32,94	27,55
32	6,78	9,69	52,53	20,43					5,61	7,69	64,21	15,03

Proband	S_A2_de	S_A2_th	S_A2_al	S_A2_be	S_A1_de	S_A1_th	S_A1_al	S_A1_be	S_Cz_de	S_Cz_th	S_Cz_al	S_Cz_be
1	28,55	25,78	42,33	37,11	16,69	24,38	41,19	40,81	5,00	10,30	14,08	12,30
2												
3	27,05	35,92	35,12	37,30	24,30	35,20	31,03	31,79	11,84	27,10	30,46	42,51
4	21,07	23,77	32,21	18,40	17,36	22,76	20,45	14,44	3,88	7,46	17,69	3,36
6	14,92	13,76	13,08	10,33	8,36	10,06	14,10	10,14	1,97	2,47	2,75	3,14
7	9,45	18,97	8,89	11,03	13,34	20,04	13,50	12,25	2,58	6,33	3,27	4,00
8	33,93	73,73	297,70	33,32	22,26	454,00	294,20	45,29	5,48	21,16	168,30	18,66
9	15,55	21,77	41,60	22,78	13,03	18,93	31,08	15,13	4,75	9,41	17,12	6,33
10	11,25	13,10	8,09	7,86	11,91	17,76	8,63	9,50	2,61	4,46	1,90	1,56
11												
12	19,72	24,46	90,55	11,37	23,12	20,19	100,50	10,93	5,36	9,14	47,13	4,81
13												
14												
15	15,09	35,85	104,20	28,48	13,91	33,03	101,30	38,74	6,68	14,94	70,66	17,27
16												
17	8,76	22,17	121,40	40,06	8,87	22,91	118,80	42,34	1,48	4,10	17,60	5,00
33	11,79	15,24	29,07	26,05	10,73	14,13	29,09	23,91	4,88	6,99	14,40	12,04
5	12,84	18,50	15,92	9,88	10,61	15,16	15,40	9,18	2,50	7,86	5,11	3,68
18	12,86	27,57	54,95	22,15	11,12	22,64	62,93	21,57	2,32	9,38	32,95	6,25
19	27,99	29,59	23,68	25,13	54,64	37,90	25,78	31,76	9,14	14,48	9,36	5,87
20									4,05	6,67	20,14	5,09
21	27,31	30,76	24,72	16,46	31,34	39,27	26,39	17,38	5,11	17,08	21,18	9,86
22	19,63	25,23	63,54	56,63	18,80	25,20	57,07	55,77	7,09	12,39	19,01	19,44
23									10,12	7,00	2,51	3,82
24												
25	21,65	24,38	36,00	18,73	21,03	17,35	41,55	17,10	4,43	7,78	12,68	4,04
26	18,34	17,24	13,32	7,92	23,54	16,02	9,84	7,01	4,90	6,35	6,77	2,01
27	18,80	25,32	53,29	11,31	17,30	27,61	61,75	9,34	1,38	3,02	5,28	0,81
28	35,69	39,98	38,70	23,90	29,75	45,37	39,98	27,91	6,96	17,69	15,17	8,27
29	29,99	34,55	35,46	28,94	36,20	27,35	28,57	25,83	4,98	14,68	20,04	8,55
30	7,61	12,19	20,69	21,76	7,91	12,51	16,29	25,75	2,90	4,11	6,05	3,28
31	13,64	19,21	47,15	37,37	14,60	22,09	62,89	34,69	4,22	8,66	21,13	13,52
32	11,56	41,18	78,45	30,76	13,08	27,10	86,42	35,07	5,73	8,97	26,05	13,71

Tab. 5: Absolute und prozentuale Änderungen des Deltafrequenzbereichs (de) des EEG Powerspektrums symptomatischer und asymptomatischer Probanden von 100 m auf 3.440 m (N-H) und von 100 m auf 5.050 m (S-H).

Mann-Whitney-U-Test:							
	Symptomatische Probanden			Asymptomatische Probanden			asymptotische Signifikanz
	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	
N-H_Fp2_de	6	-13,50	-32,97	7	-11,12	-37,53	0,848
S-H_Fp2_de	6	-8,65	-29,40	5	-1,73	-9,13	0,715
N-H_Fp1_de	8	-0,50	-2,33	7	-9,49	-40,06	0,132
S-H_Fp1_de	4	-13,76	-48,62	5	3,29	29,34	0,221
N-H_F4_de	13	-1,15	-22,50	12	-1,17	-14,82	0,786
S-H_F4_de	10	-1,17	-17,18	11	-2,04	-21,18	0,725
N-H_F3_de	13	1,17	20,49	12	0,07	4,96	0,355
S-H_F3_de	10	0,09	5,01	10	0,35	8,61	0,597
N-H_C4_de	13	-1,13	-20,31	14	-2,33	-32,48	0,610
S-H_C4_de	11	-0,70	-22,03	13	-2,08	-23,09	0,192
N-H_C3_de	15	-0,30	-10,50	12	-0,88	-15,13	0,407
S-H_C3_de	12	0,24	6,61	11	0,05	0,99	0,424
N-H_P4_de	15	-0,09	-1,46	10	-2,40	-31,69	0,437
S-H_P4_de	13	-0,05	-1,40	12	-0,50	-8,99	0,786
N-H_P3_de	15	-1,07	-25,46	13	-0,93	-17,84	0,872
S-H_P3_de	13	-1,58	-21,09	13	-0,11	-1,41	0,858
N-H_O2_de	15	-2,53	-28,79	11	-4,50	-24,40	0,897
S-H_O2_de	12	-0,45	-6,59	11	-0,37	-3,00	0,951
N-H_O1_de	12	-0,18	3,07	8	-0,57	-6,81	0,537
S-H_O1_de	11	-0,27	-3,47	7	1,14	8,76	0,618
N-H_F8_de	12	-6,27	-54,50	13	-3,57	-49,14	0,703
S-H_F8_de	12	-3,29	-34,43	11	2,59	33,98	0,196
N-H_F7_de	12	-3,80	-40,66	8	-2,52	-29,67	0,939
S-H_F7_de	11	-2,14	-35,28	11	0,59	11,64	0,341
N-H_T4_de	14	0,80	28,83	10	-2,92	-48,32	0,046
S-H_T4_de	11	1,07	17,55	10	-3,88	-57,91	0,035
N-H_T3_de	12	-0,02	-0,47	8	-3,65	-54,94	0,037
S-H_T3_de	10	0,09	2,81	9	-3,14	-42,66	0,060
N-H_T6_de	15	-0,12	-1,37	11	-2,80	-37,12	0,253
S-H_T6_de	11	0,80	6,62	12	-0,87	-13,25	0,479
N-H_T5_de	9	0,75	32,61	10	-1,25	-12,90	0,288
S-H_T5_de	5	2,66	68,03	9	-1,13	-10,02	0,386
N-H_Fz_de	15	-0,62	8,88	11	0,45	9,23	0,979
S-H_Fz_de	11	-0,05	-1,90	9	-0,58	-5,60	0,732
N-H_Pz_de	16	-2,90	-29,12	12	-2,23	-27,95	0,444
S-H_Pz_de	13	-2,29	-27,57	13	-0,73	-11,51	0,427
N-H_Cz_de	17	-0,35	-15,28	14	-1,39	-22,03	0,751
S-H_Cz_de	13	-0,19	-8,80	13	-2,38	-29,09	0,644

Tab. 6: Absolute und prozentuale Änderungen des Thetafrequenzbereichs (th) des EEG Powerspektrums symptomatischer und asymptomatischer Probanden von 100 m auf 3.440 m (N-H) und von 100 m auf 5.050 m (S-H).

Mann-Whitney-U-Test:							
	Symptomatische Probanden			Asymptomatische Probanden			asymptotische Signifikanz
	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	
N-H_Fp2_th	6	-4,18	-17,20	8	-30,39	-68,27	0,156
S-H_Fp2_th	6	-10,83	-37,41	5	-14,95	-40,53	0,361
N-H_Fp1_th	8	-0,58	-3,30	7	-5,98	-25,47	0,203
S-H_Fp1_th	4	-9,90	-32,62	6	0,58	3,86	0,134
N-H_F4_th	14	-0,99	-21,27	12	-2,12	-14,96	0,758
S-H_F4_th	10	-0,76	2,28	11	-2,00	-17,27	0,360
N-H_F3_th	13	-0,63	-7,18	12	-2,53	-27,09	0,480
S-H_F3_th	10	1,63	20,18	10	-2,92	-34,50	0,112
N-H_C4_th	13	-2,62	-32,69	14	-2,86	-32,62	0,771
S-H_C4_th	11	-0,40	-14,45	13	-2,21	-21,36	0,311
N-H_C3_th	15	-0,04	-1,57	12	-1,96	-30,28	0,354
S-H_C3_th	12	-0,03	-2,50	11	-3,17	-39,56	0,538
N-H_P4_th	15	-1,72	-29,25	10	-2,39	-21,72	0,978
S-H_P4_th	13	-1,08	-5,02	12	-2,52	-26,95	0,624
N-H_P3_th	15	-1,30	-18,21	13	-1,43	-24,24	0,908
S-H_P3_th	12	-1,41	-12,42	13	-2,43	-20,44	0,786
N-H_O2_th	15	-0,96	-14,08	11	-0,62	-5,59	0,736
S-H_O2_th	12	-1,94	-16,63	11	0,71	5,90	0,712
N-H_O1_th	12	0,36	3,96	8	-0,65	-7,10	0,589
S-H_O1_th	11	0,24	2,31	7	-1,07	-6,74	0,497
N-H_F8_th	12	-5,24	-37,65	12	-3,94	-36,81	0,817
S-H_F8_th	12	-4,73	-28,52	10	-0,38	-3,89	0,843
N-H_F7_th	12	-5,35	-28,55	8	-4,75	-37,67	0,758
S-H_F7_th	11	-2,34	-22,24	11	1,65	19,23	0,341
N-H_T4_th	14	-2,49	-26,10	10	-3,96	-38,23	0,380
S-H_T4_th	11	-0,88	-20,65	10	-4,08	-40,46	0,091
N-H_T3_th	12	0,24	6,89	8	-2,35	-33,18	0,487
S-H_T3_th	10	-2,79	-35,04	9	-3,36	-26,55	0,514
N-H_T6_th	15	-2,47	-25,28	11	-2,47	-25,32	0,716
S-H_T6_th	11	-2,92	-36,16	12	-1,50	-14,81	0,667
N-H_T5_th	9	0,14	3,00	10	-4,19	-32,03	0,102
S-H_T5_th	5	4,24	60,84	9	-5,04	-29,46	0,053
N-H_Fz_th	15	-2,21	-15,48	11	-5,44	-28,20	0,815
S-H_Fz_th	11	-1,85	-12,99	9	-5,64	-29,24	0,184
N-H_Pz_th	16	-2,25	-26,57	12	-4,01	-35,04	0,745
S-H_Pz_th	13	-2,02	-29,12	13	-4,03	-25,63	0,778
N-H_Cz_th	17	-2,36	-19,50	14	-3,55	-33,62	0,361
S-H_Cz_th	13	-2,94	-22,57	13	-4,16	-38,41	0,555

Tab. 7: Absolute und prozentuale Änderungen des Alphafrequenzbereichs (al) des EEG Powerspektrums symptomatischer und asymptomatischer Probanden von 100 m auf 3.440 m (N-H) und von 100 m auf 5.050 m (S-H).

Mann-Whitney-U-Test:							
	Symptomatische Probanden			Asymptomatische Probanden			asymptotische Signifikanz
	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	
N-H_Fp2_al	6	-9,35	-22,64	7	9,13	31,14	0,775
S-H_Fp2_al	6	24,20	49,82	5	4,55	20,81	0,715
N-H_Fp1_al	8	-5,73	-17,18	7	7,69	31,60	0,355
S-H_Fp1_al	4	39,52	69,82	5	3,89	23,65	0,806
N-H_F4_al	13	-1,31	-11,35	12	2,11	10,64	0,586
S-H_F4_al	10	11,70	51,20	11	3,23	13,77	0,398
N-H_F3_al	13	0,47	3,13	12	2,11	13,23	1,000
S-H_F3_al	10	5,76	45,81	10	3,27	26,05	0,364
N-H_C4_al	13	2,23	3,39	14	-2,57	-17,63	0,593
S-H_C4_al	11	2,72	20,56	13	0,56	3,56	0,259
N-H_C3_al	15	-2,61	-11,00	12	-1,26	-8,56	0,526
S-H_C3_al	12	2,24	26,53	11	0,79	3,82	0,295
N-H_P4_al	15	2,81	5,83	10	-5,58	-10,61	0,657
S-H_P4_al	13	2,66	21,23	12	-13,02	-22,65	0,034
N-H_P3_al	14	1,31	8,08	13	-3,76	-8,54	0,884
S-H_P3_al	12	0,95	6,80	13	-6,91	-17,11	0,092
N-H_O2_al	15	-5,63	-5,82	11	11,62	19,83	0,234
S-H_O2_al	12	-3,70	-13,18	11	23,92	44,99	0,622
N-H_O1_al	12	8,03	26,02	8	-11,71	-12,59	0,165
S-H_O1_al	11	1,94	20,68	7	30,10	19,74	0,135
N-H_F8_al	12	-1,40	-14,06	12	-2,42	-17,08	0,773
S-H_F8_al	12	3,27	48,37	10	2,53	28,66	0,468
N-H_F7_al	12	-0,46	-9,13	8	-0,52	2,05	0,877
S-H_F7_al	11	1,21	6,52	11	2,89	33,75	0,718
N-H_T4_al	14	-0,41	-5,63	10	-1,58	-13,67	0,953
S-H_T4_al	11	1,49	19,57	10	0,00	0,97	0,833
N-H_T3_al	12	0,60	7,33	8	-0,03	-0,39	0,758
S-H_T3_al	10	2,50	28,53	9	-0,20	-1,85	0,327
N-H_T6_al	15	3,60	18,90	11	6,52	37,00	0,815
S-H_T6_al	12	23,39	36,67	12	9,33	27,05	0,419
N-H_T5_al	9	9,19	53,04	10	0,24	5,47	0,288
S-H_T5_al	5	2,66	91,97	9	16,75	49,54	0,739
N-H_Fz_al	15	4,56	20,28	11	1,49	4,77	0,659
S-H_Fz_al	11	3,62	23,61	9	2,90	7,68	0,403
N-H_Pz_al	16	-9,57	-25,17	12	-4,42	-12,26	0,353
S-H_Pz_al	13	-2,31	-7,32	13	-14,39	-42,34	0,174
N-H_Cz_al	17	0,62	14,73	14	-2,04	-11,58	0,122
S-H_Cz_al	13	1,33	33,67	13	-1,12	-7,37	0,343

Tab. 8: Absolute und prozentuale Änderungen des Betafrequenzbereichs (be) des EEG Powerspektrums symptomatischer und asymptomatischer Probanden von 100 m auf 3.440 m (N-H) und von 100 m auf 5.050 m (S-H).

Mann-Whitney-U-Test:							
	Symptomatische Probanden			Asymptomatische Probanden			asymptotische Signifikanz
	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	
N-H_Fp2_be	6	0,46	4,03	8	3,13	8,39	0,796
S-H_Fp2_be	6	1,92	24,77	5	5,65	43,22	0,715
N-H_Fp1_be	8	1,99	24,99	7	5,40	49,59	0,203
S-H_Fp1_be	4	-0,44	2,60	5	5,87	64,51	0,027
N-H_F4_be	13	-0,45	-9,04	12	0,23	4,35	0,703
S-H_F4_be	11	2,61	19,07	11	1,00	6,63	0,491
N-H_F3_be	13	0,36	18,27	12	1,19	13,97	0,384
S-H_F3_be	10	1,59	40,12	10	0,29	3,04	0,257
N-H_C4_be	13	-0,50	-7,02	14	-0,31	-4,97	0,610
S-H_C4_be	11	0,10	2,42	13	-1,76	-14,84	0,183
N-H_C3_be	15	-0,04	-0,86	12	-0,04	-6,92	0,591
S-H_C3_be	12	-0,16	-4,90	11	-1,01	-25,23	0,538
N-H_P4_be	15	2,16	12,68	10	-3,18	-15,20	0,149
S-H_P4_be	13	1,23	11,00	12	-2,96	-24,34	0,064
N-H_P3_be	14	-0,26	-2,95	13	-0,27	-1,64	0,771
S-H_P3_be	12	0,30	5,93	13	-1,38	-15,09	0,514
N-H_O2_be	15	1,71	3,41	11	4,23	24,61	0,586
S-H_O2_be	12	3,22	20,07	11	5,21	37,92	0,460
N-H_O1_be	12	8,13	40,60	8	2,48	12,83	0,316
S-H_O1_be	11	4,89	41,23	7	12,19	41,70	0,441
N-H_F8_be	12	0,17	1,37	12	0,33	4,93	0,603
S-H_F8_be	12	1,09	14,15	10	4,55	32,04	0,323
N-H_F7_be	12	1,33	18,24	8	1,59	16,77	0,700
S-H_F7_be	11	2,73	45,91	11	4,93	49,52	0,922
N-H_T4_be	14	0,51	3,95	10	1,65	15,11	0,482
S-H_T4_be	11	0,24	4,03	10	4,71	46,07	0,078
N-H_T3_be	13	1,43	14,48	8	0,00	-1,33	0,148
S-H_T3_be	10	0,00	3,01	9	1,62	20,77	0,683
N-H_T6_be	15	2,34	12,06	11	0,17	1,66	0,697
S-H_T6_be	11	4,44	71,90	12	0,75	3,19	0,268
N-H_T5_be	9	0,85	6,64	10	-2,27	-18,48	0,253
S-H_T5_be	5	3,50	56,86	9	1,74	5,88	0,947
N-H_Fz_be	15	0,10	2,67	11	0,52	5,36	0,697
S-H_Fz_be	11	1,68	34,85	9	1,24	18,32	0,621
N-H_Pz_be	16	0,65	0,40	12	0,18	4,68	0,593
S-H_Pz_be	13	0,32	3,67	13	-2,14	-16,46	0,174
N-H_Cz_be	17	-0,30	-4,01	14	-1,42	-21,96	0,475
S-H_Cz_be	13	-0,45	-9,62	13	-1,42	-18,76	0,317

Tab. 9: Absolute und prozentuale Änderungen des Deltafrequenzbereichs (de) des EEG Powerspektrums symptomatischer und asymptomatischer Probanden von 100 m auf 3.440 m (N-H) und von 100 m auf 5.050 m (S-H) mit ergänzten Werten.

Mann-Whitney-U-Test							
	Symptomatische Probanden			Asymptomatische Probanden			asymptotische Signifikanz
	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	
N-H_Fp2_de	9	-8,26	-40,47	11	-15,40	-60,73	0,909
S-H_Fp2_de	9	-11,30	-55,37	11	-16,76	-66,09	0,970
N-H_Fp1_de	9	-9,49	-52,84	11	-7,33	-38,36	0,030
S-H_Fp1_de	9	-10,88	-60,58	11	-8,46	-44,27	0,518
N-H_F4_de	9	-0,49	-9,59	11	-0,66	-8,35	0,849
S-H_F4_de	9	1,38	27,01	11	0,67	8,48	0,909
N-H_F3_de	9	-2,35	-36,04	11	2,02	39,84	0,569
S-H_F3_de	9	0,21	3,22	11	1,69	33,33	0,849
N-H_C4_de	9	-2,58	-51,81	11	-2,64	-38,37	0,970
S-H_C4_de	9	-1,71	-34,34	11	-2,60	-37,79	0,790
N-H_C3_de	9	-0,90	-25,71	11	-0,59	-14,05	0,470
S-H_C3_de	9	0,18	5,14	11	0,42	10,00	0,425
N-H_P4_de	9	-0,03	-0,62	11	-1,45	-21,42	0,909
S-H_P4_de	9	0,56	11,62	11	-0,38	-5,61	0,909
N-H_P3_de	9	-0,46	-10,11	11	1,35	24,41	0,621
S-H_P3_de	9	-0,91	-20,00	11	0,69	12,48	0,160
N-H_O2_de	9	-3,06	-34,27	11	-1,50	-15,97	0,909
S-H_O2_de	9	-0,88	-9,85	11	-1,60	-17,04	0,342
N-H_O1_de	9	-1,48	-19,05	11	2,54	34,09	0,970
S-H_O1_de	9	-0,18	-2,32	11	3,13	42,01	0,184
N-H_F8_de	9	-6,96	-54,55	11	-1,63	-22,51	0,849
S-H_F8_de	9	-6,01	-47,10	11	2,28	31,49	0,518
N-H_F7_de	9	-6,02	-54,88	11	-4,58	-39,25	0,676
S-H_F7_de	9	-3,21	-29,26	11	-3,69	-31,62	0,970
N-H_T4_de	9	-1,51	-31,52	11	-1,11	-26,88	0,569
S-H_T4_de	9	-1,80	-37,58	11	-0,49	-11,86	0,621
N-H_T3_de	9	-2,94	-49,16	11	-1,61	-31,26	0,790
S-H_T3_de	9	-2,28	-38,13	11	-1,00	-19,42	0,732
N-H_T6_de	9	-3,89	-53,51	11	-1,90	-27,22	0,224
S-H_T6_de	9	-0,18	-2,48	11	0,19	2,72	0,732
N-H_T5_de	9	-1,03	-22,64	11	-0,57	-7,99	0,621
S-H_T5_de	9	0,58	12,75	11	-0,35	-4,91	0,569
N-H_Fz_de	9	-0,62	-10,75	11	1,25	18,04	0,820
S-H_Fz_de	9	0,88	15,25	11	0,88	12,70	0,790
N-H_Pz_de	9	-2,86	-37,39	11	-2,08	-27,99	0,305
S-H_Pz_de	9	-2,62	-34,25	11	0,23	3,10	0,160
N-H_Cz_de	9	-2,55	-38,69	11	-1,93	-27,93	0,790
S-H_Cz_de	9	-1,84	-27,92	11	-1,91	-27,64	0,849

Tab. 10: Absolute und prozentuale Änderungen des Thetafrequenzbereichs (th) des EEG Powerspektrums symptomatischer und asymptomatischer Probanden von 100 m auf 3.440 m (N-H) und von 100 m auf 5.050 m (S-H) mit ergänzten Werten.

Mann-Whitney-U-Test							
	Symptomatische Probanden			Asymptomatische Probanden			asymptotische Signifikanz
	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	
N-H_Fp2_th	9	-3,70	-17,60	11	-12,04	-49,12	0,210
S-H_Fp2_th	9	-3,00	-14,27	11	-10,80	-44,06	0,305
N-H_Fp1_th	9	2,27	13,28	11	-8,83	-42,39	0,014
S-H_Fp1_th	9	-6,56	-38,39	11	-11,02	-52,90	0,790
N-H_F4_th	9	-1,91	-16,78	11	-2,57	-22,19	0,909
S-H_F4_th	9	1,49	13,09	11	-2,00	-17,27	0,518
N-H_F3_th	9	-1,16	-12,46	11	-3,01	-27,92	0,518
S-H_F3_th	9	1,22	13,10	11	-2,81	-26,07	0,138
N-H_C4_th	9	-5,56	-48,39	11	-3,58	-36,95	0,849
S-H_C4_th	9	-4,41	-38,38	11	-2,90	-29,93	0,970
N-H_C3_th	9	-2,97	-38,98	11	-2,34	-28,30	0,621
S-H_C3_th	9	-1,55	-20,34	11	-1,12	-13,54	0,569
N-H_P4_th	9	-0,99	-10,34	11	-1,48	-13,82	0,849
S-H_P4_th	9	0,55	5,75	11	-2,04	-19,05	0,970
N-H_P3_th	9	-2,26	-24,67	11	-0,58	-6,40	0,970
S-H_P3_th	9	-2,26	-24,67	11	-0,62	-6,84	0,849
N-H_O2_th	9	0,99	6,79	11	1,22	10,41	0,569
S-H_O2_th	9	3,66	25,10	11	4,64	39,59	0,909
N-H_O1_th	9	0,14	1,16	11	-4,32	-27,20	0,970
S-H_O1_th	9	4,31	35,74	11	1,27	8,00	0,790
N-H_F8_th	9	-4,55	-38,72	11	-1,92	-18,88	0,970
S-H_F8_th	9	-1,39	-11,83	11	1,59	15,63	0,970
N-H_F7_th	9	-6,71	-45,09	11	-5,71	-38,02	0,425
S-H_F7_th	9	-4,12	-27,69	11	-3,96	-26,36	0,849
N-H_T4_th	9	-4,11	-46,86	11	-0,77	-10,12	0,790
S-H_T4_th	9	-2,76	-31,47	11	-1,90	-24,97	0,621
N-H_T3_th	9	-5,70	-54,18	11	-2,90	-28,68	0,676
S-H_T3_th	9	-5,09	-48,38	11	-4,01	-39,66	0,761
N-H_T6_th	9	-2,23	-22,66	11	-1,94	-17,48	0,621
S-H_T6_th	9	2,59	26,32	11	-1,82	-16,40	0,425
N-H_T5_th	9	-0,34	-3,26	11	-4,04	-30,54	0,239
S-H_T5_th	9	-1,43	-13,70	11	-2,84	-21,47	0,160
N-H_Fz_th	9	-7,59	-40,92	11	0,14	1,28	0,732
S-H_Fz_th	9	-4,50	-24,26	11	-1,48	-13,53	0,569
N-H_Pz_th	9	-3,70	-30,43	11	-0,70	-5,83	0,970
S-H_Pz_th	9	-4,95	-40,71	11	-2,84	-23,67	0,569
N-H_Cz_th	9	-4,19	-31,06	11	-5,33	-39,78	0,909
S-H_Cz_th	9	-4,11	-30,47	11	-3,10	-23,13	0,732

Tab. 11: Absolute und prozentuale Änderungen des Alphafrequenzbereichs (al) des EEG Powerspektrums symptomatischer und asymptomatischer Probanden von 100 m auf 3.440 m (N-H) und von 100 m auf 5.050 m (S-H) mit ergänzten Werten.

Mann-Whitney-U-Test							
	Symptomatische Probanden			Asymptomatische Probanden			asymptotische Signifikanz
	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	
N-H_Fp2_al	9	10,79	53,18	11	0,80	3,66	0,970
S-H_Fp2_al	9	29,70	146,38	11	4,55	20,81	0,676
N-H_Fp1_al	9	10,28	51,09	11	6,62	33,97	0,676
S-H_Fp1_al	9	27,84	138,37	11	0,85	4,36	0,676
N-H_F4_al	9	3,43	17,64	11	0,38	2,03	0,621
S-H_F4_al	9	21,76	111,93	11	7,94	42,35	0,425
N-H_F3_al	9	6,96	46,34	11	5,24	29,74	0,849
S-H_F3_al	9	13,82	92,01	11	2,59	14,70	0,328
N-H_C4_al	9	2,97	29,91	11	-3,77	-23,61	0,569
S-H_C4_al	9	5,19	52,27	11	-1,39	-8,70	0,342
N-H_C3_al	9	-2,17	-19,07	11	-2,50	-18,55	0,676
S-H_C3_al	9	6,21	54,57	11	-0,07	-0,52	0,184
N-H_P4_al	9	15,21	42,45	11	-0,83	-2,36	0,732
S-H_P4_al	9	22,64	63,19	11	-4,55	-12,95	0,030
N-H_P3_al	9	-0,37	-1,56	11	0,33	1,06	0,676
S-H_P3_al	9	1,13	4,77	11	-12,25	-39,47	0,044
N-H_O2_al	9	44,41	54,50	11	17,05	32,07	0,210
S-H_O2_al	9	15,68	19,24	11	36,88	69,36	0,160
N-H_O1_al	9	16,55	23,61	11	62,99	107,11	0,909
S-H_O1_al	9	5,48	7,82	11	69,99	119,01	0,119
N-H_F8_al	9	2,81	18,20	11	-1,29	-6,68	0,790
S-H_F8_al	9	17,30	112,05	11	9,86	51,09	0,342
N-H_F7_al	9	4,64	33,72	11	-2,90	-14,18	0,676
S-H_F7_al	9	11,09	80,60	11	6,92	33,84	0,732
N-H_T4_al	9	-5,25	-34,63	11	0,89	6,89	0,676
S-H_T4_al	9	1,35	8,91	11	0,89	6,89	0,621
N-H_T3_al	9	-3,36	-24,67	11	-4,36	-28,74	0,425
S-H_T3_al	9	0,68	4,99	11	-3,17	-20,90	0,138
N-H_T6_al	9	-9,09	-24,57	11	-4,88	-16,82	0,909
S-H_T6_al	9	51,92	140,32	11	8,14	28,05	0,074
N-H_T5_al	9	12,49	53,04	11	5,33	23,69	0,074
S-H_T5_al	9	18,50	78,56	11	28,45	126,44	0,518
N-H_Fz_al	9	7,90	48,77	11	-1,45	-6,92	0,970
S-H_Fz_al	9	27,15	167,59	11	4,47	21,33	0,470
N-H_Pz_al	9	-16,95	-39,43	11	-37,97	-64,33	0,849
S-H_Pz_al	9	-0,84	-1,95	11	-34,53	-58,51	0,470
N-H_Cz_al	9	2,08	15,71	11	-1,38	-7,14	0,074
S-H_Cz_al	9	5,77	43,58	11	-1,72	-8,90	0,271

Tab. 12: Absolute und prozentuale Änderungen des Betafrequenzbereichs (be) des EEG Powerspektrums symptomatischer und asymptomatischer Probanden von 100 m auf 3.440 m (N-H) und von 100 m auf 5.050 m (S-H) mit ergänzten Werten.

Mann-Whitney-U-Test							
	Symptomatische Probanden			Asymptomatische Probanden			asymptotische Signifikanz
	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	Anzahl n	absolute Änderung	prozentuale Änderung	
N-H_Fp2_be	9	1,26	11,55	11	-3,13	-24,17	0,210
S-H_Fp2_be	9	-0,27	-2,47	11	1,76	13,59	0,732
N-H_Fp1_be	9	2,03	21,37	11	1,79	15,91	0,160
S-H_Fp1_be	9	-1,58	-16,63	11	3,72	33,07	0,676
N-H_F4_be	9	1,98	32,04	11	0,09	0,87	0,732
S-H_F4_be	9	2,51	40,61	11	2,97	28,64	0,676
N-H_F3_be	9	2,04	34,99	11	-0,34	-3,65	0,676
S-H_F3_be	9	2,09	35,85	11	2,23	23,93	0,518
N-H_C4_be	9	0,72	15,93	11	-2,59	-20,77	0,820
S-H_C4_be	9	2,02	44,69	11	-3,52	-28,23	0,323
N-H_C3_be	9	-0,14	-2,95	11	-0,51	-5,59	0,849
S-H_C3_be	9	-0,26	-5,49	11	0,00	0,00	0,732
N-H_P4_be	9	3,91	47,51	11	-6,48	-34,36	0,119
S-H_P4_be	9	2,72	33,05	11	-5,71	-30,28	0,011
N-H_P3_be	9	2,17	26,56	11	-1,89	-14,00	0,621
S-H_P3_be	9	-1,13	-13,83	11	2,99	22,15	0,210
N-H_O2_be	9	2,56	11,53	11	11,85	73,15	0,676
S-H_O2_be	9	21,67	97,57	11	6,57	40,56	0,732
N-H_O1_be	9	7,06	42,05	11	2,01	8,91	0,470
S-H_O1_be	9	14,02	83,50	11	6,94	30,75	0,790
N-H_F8_be	9	1,01	15,68	11	-3,12	-24,74	0,909
S-H_F8_be	9	3,52	54,66	11	6,80	53,93	0,305
N-H_F7_be	9	1,30	19,82	11	0,36	3,11	0,569
S-H_F7_be	9	6,87	104,73	11	6,04	52,11	0,790
N-H_T4_be	9	-1,40	-19,20	11	0,63	6,18	0,239
S-H_T4_be	9	-0,54	-7,41	11	4,24	41,57	0,138
N-H_T3_be	9	0,03	0,50	11	-2,22	-19,15	0,909
S-H_T3_be	9	-0,47	-7,77	11	7,83	67,56	0,849
N-H_T6_be	9	-0,39	-2,56	11	2,88	26,57	0,305
S-H_T6_be	9	7,39	48,46	11	7,63	70,39	0,037
N-H_T5_be	9	5,30	64,87	11	-3,10	-13,64	0,184
S-H_T5_be	9	3,49	42,72	11	-1,15	-5,06	0,271
N-H_Fz_be	9	0,89	13,13	11	1,56	18,03	0,909
S-H_Fz_be	9	1,85	27,29	11	1,01	11,68	0,470
N-H_Pz_be	9	3,35	39,93	11	-8,05	-42,12	0,447
S-H_Pz_be	9	1,99	23,72	11	-7,22	-37,78	0,270
N-H_Cz_be	9	-0,46	-8,61	11	-0,94	-10,00	0,909
S-H_Cz_be	9	0,91	17,04	11	-0,85	-9,04	0,470

Tab. 13: Absolutwerte der peripheren Sauerstoffsättigung (SaO₂, angegeben in %) und des endexpiratorischen Kohlendioxids (etCO₂, angegeben in mmHg).

Proband	SaO ₂			etCO ₂		
	100 m	3.440 m	5.050 m	100 m	3.440 m	5.050 m
1	99	88	87	36	31	26
2	97	85	-	35	30	-
3	100	92	84	35	28	23
4	97	90	83	38	29	26
6	97	87	84	32	28	16
7	99	85	82	38	33	20
8	98	90	81	34	27	27
9	100	93	87	30	24	17
10	100	91	79	35	30	27
11	99	83	-	35	28	-
12	99	88	86	37	33	23
13	97	91	-	32	23	-
14	100	89	-	33	28	-
15	97	89	87	32	26	20
16	99	88	-	33	32	-
17	100	94	86	32	29	24
33	98	94	85	32	23	20
5	100	92	84	32	31	26
18	98	91	85	29	37	22
19	100	94	88	34	41	25
20	100	87	86	33	34	27
21	97	88	76	33	38	26
22	98	88	82	33	38	22
23	99	88	82	37	38	30
24	97	90	84	36	31	22
25	99	95	-	33	28	-
26	97	91	86	32	37	26
27	100	85	80	37	44	32
28	97	89	89	37	38	30
29	99	86	80	29	34	23
30	96	89	80	31	32	20
31	99	94	72	35	35	29
32	100	93	89	32	29	23

Tab. 14: Differenzen der peripheren Sauerstoffsättigung (SaO₂, angegeben in %) und des endexpiratorischen Kohlendioxids (etCO₂, angegeben in mmHg) (100 m – 3.440 m, 100 m – 5.050 m).

Proband	SaO ₂		etCO ₂	
	100 m – 3.440 m	100 m – 5.050 m	100 m – 3.440 m	100 m – 5.050 m
1	-11	-12	-5	-10
2	-12	-	-5	-
3	-8	-16	-7	-12
4	-7	-14	-9	-12
6	-10	-13	-4	-16
7	-14	-17	-5	-18
8	-8	-17	-7	-7
9	-7	-13	-6	-13
10	-9	-21	-5	-8
11	-16	-	-7	-
12	-11	-13	-4	-14
13	-6	-	-9	-
14	-11	-	-5	-
15	-8	-10	-6	-12
16	-11	-	-1	-
17	-6	-14	-3	-8
33	-4	-13	-9	-12
5	-8	-16	-1	-6
18	-7	-13	8	-7
19	-6	-12	7	-9
20	-13	-14	1	-6
21	-9	-21	5	-7
22	-10	-16	5	-11
23	-11	-17	1	-7
24				
25	-4	-	-5	-
26	-6	-11	5	-6
27	-15	-20	7	-5
28	-8	-8	1	-7
29	-13	-19	5	-6
30	-7	-16	1	-11
31	-5	-27	0	-6
32	-7	-11	-3	-9

Tab. 15: Korrelationen der Änderungen der peripheren Sauerstoffsättigung mit Änderungen des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in den Elektroden P3 und P4 asymptomatischer und symptomatischer Probanden von 100 m auf 5.050 m der Gruppe mit ergänzten Werten (n=20).

Asymptomatische Probanden:

			Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P3 von 100 m – 5.050 m	Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 von 100 m – 5.050 m
Spearman-Rho	Änderung der SaO ₂ von 100 m – 5.050 m	Korrelationskoeffizient	-0,252	0,572
		Signifikanz (2-seitig)	0,455	0,066
		N	11	11

Symptomatische Probanden:

			Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P3 von 100 m – 5.050 m	Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 von 100 m – 5.050 m
Spearman-Rho	Änderung der SaO ₂ von 100 m – 5.050 m	Korrelationskoeffizient	-0,009	0,745(*)
		Signifikanz (2-seitig)	0,982	0,021
		N	9	9

* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig).

Tab. 16: Korrelationen der Änderungen des endexpiratorisch gemessenen Kohlendioxids (etCO₂) mit Änderungen des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in den Elektroden P3 und P4 asymptomatischer und symptomatischer Probanden von 100 m auf 5.050 m der Gruppe mit ergänzten Werten.

Asymptomatische Probanden:

			Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P3 von 100 m – 5.050 m	Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 von 100 m – 5.050 m
Spearman-Rho	Änderung des etCO ₂ von 100 m – 5.050 m	Korrelationskoeffizient	0,162	-0,171
		Signifikanz (2-seitig)	0,635	0,615
		N	11	11

Symptomatische Probanden:

			Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P3 von 100 m – 5.050 m	Änderung des Alphafrequenzbereichs des EEG Powerspektrums in der Elektrode P4 von 100 m – 5.050 m
Spearman-Rho	Änderung des etCO ₂ von 100 m – 5.050 m	Korrelationskoeffizient	-0,815(**)	-0,622
		Signifikanz (2-seitig)	0,007	0,074
		N	9	9

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig).

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

Danksagung

Herrn PD Dr. med. S. Noachtar danke ich für die Annahme als Doktoranden, die Bereitstellung des Dissertationsthemas, die Unterstützung bei der Durchführung meiner Arbeit und die konstruktive Kritik bei der Zusammenstellung und Ausarbeitung.

Herrn Dr. med. B. Feddersen danke ich herzlichst für die hilfreiche Unterstützung, die unzähligen Gespräche sowie hervorragende persönliche und fachliche Betreuung während der Arbeit.

Herrn Dr. med. C. Vollmar und Herrn Dr. med. H. Ausserer danke ich für das tatkräftige Mitgefühl beim Kampf mit dem Computer.

Bei Herrn PD Dr. med. M. Dugas aus dem Rechenzentrum bedanke ich mich für die Hilfe bei der statistischen Auswertung dieser Arbeit.

Lebenslauf

Name: Thanbichler
Vorname: Florian
Anschrift: Aicherstraße 8
81241 München
Geburtsdatum/-ort: 23.04.1979, München
Nationalität: deutsch
Familienstand: ledig

Schulbildung:

09/ 1985 – 07/ 1989 Grundschole am Schererplatz, München
09/ 1989 – 06/ 1998 Karlsgymnasium, München
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Zivildienst:

08/ 1998 – 08/ 1999 Behindertenwerkstatt des Monsignore-Bleyer-Hauses, München

Zusatzqualifikation:

10/ 1999 – 12/ 1999 Sanitätsdienstlehrgang beim Arbeiter-Samariter-Bund, KV München

Hochschulbildung:

04/ 2000 – 04/ 2006 LMU München: Studiengang Humanmedizin
03/ 2002 Ärztliche Vorprüfung
03/ 2003 Erster Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
03/ 2005 Zweiter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung
04/ 2005 – 08/ 2005 Praktisches Jahr: 1. Tertial, Innere Medizin,
Kreisklinik München-Pasing
08/ 2005 – 11/ 2005 Praktisches Jahr: 2. Tertial, Neurologie,
Universitätsklinikum Großhadern LMU, München
11/ 2005 – 03/ 2006 Praktisches Jahr: 3. Tertial, Chirurgie, Klinikum
München Pasing
04/ 2006 Dritter Abschnitt der Ärztlichen Prüfung

Publikationen:

03/ 2006 Feddersen B, Ausserer H, Thanbichler F, Neupane P, Waanders R, Noachtar S. Right Temporal Cerebral Dysfunction Heralds Symptoms of Acute Mountain Sickness. Klinische Neurophysiologie 2006;37:35.

04/ 2006 Feddersen B, Ausserer H, Thanbichler F, Neupane P, Depaulis A, Waanders R, Noachtar S. Right temporal cerebral dysfunction heralds symptoms of acute mountain sickness. J Neurol 2006 im Druck.