

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen- und
Ohrenkrankheiten der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. Jan Helms
Neurootologie
Priv.-Doz. Dr. med. D. Schneider

Bedeutung und Korrelation einzelner Parameter bei der Nystagmusanalyse

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
medizinischen Fakultät
der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von
Florian Kupper
aus Coburg

Würzburg, September 2005

Referent: Priv.-Doz. Dr. med. D. Schneider
Korreferent: Prof. Dr. med. dent. U. Schlagenhauf
Dekan: Prof. Dr. med. G. Ertl

Tag der mündlichen Prüfung: 30.05.2006

Der Promovend ist Zahnarzt.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Materialien und Methoden | 3 |
| 2.1 Patientenkollektiv | 3 |
| 2.2 Anamnese | 3 |
| 2.3 Polygraphische Elektronystagmographie | 6 |
| 2.4 Spontannystagmus | 8 |
| 2.5 Kalorische Vestibularisprüfung | 9 |
| 2.6 Rotatorischer Intensitätsdämpfungstest (RIDT) | 12 |
| 2.7 Vestibulärer Reiz-Reaktionsstärke-Vergleich (VRRSV) | 14 |
| 2.8 Optokinetischer Nystagmus (OKN) | 16 |
| 2.9 Blickpendelfolge-Test (BPF) | 16 |
| 2.10 Cranio-Corpo-Graphie (CCG) | 17 |
| 2.11 Statistische Auswertung | 19 |
| 3 Ergebnisse | 20 |
| 3.1 Gesamtkollektiv | 20 |
| 3.2 Patientenunterkollektive | 22 |
| 3.2.1 Altersschichtenvergleich | 22 |
| 3.2.2 Vergleich Frauen-Männer | 26 |
| 3.2.3 Teilkollektiv von Patienten mit zentraler, peripherer oder kombinierter Störung | 29 |
| 3.3 Statistik der manuell und automatisch ausgewerteten Nystagmogramme | 30 |
| 3.3.1 Manuelle Nystagmusanalyse | 30 |
| 3.3.2 Automatische Nystagmusanalyse durch den Computer | 31 |
| 3.3.3 Statistischer Vergleich der manuellen und automatischen Nystagmus- auswertung..... | 31 |
| 3.4 Beziehungen der Nystagmusparameter | 34 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.5 | Berechnung von Nystagmusrichtungsüberwiegen und Seitendifferenz des vestibulären Systems..... | 42 |
| 3.6 | Kasuistische Ergebnisse | 48 |
| 3.6.1 | Fall 1: Patientin mit guter Übereinstimmung zwischen manueller und automatischer Nystagmusauswertung | 48 |
| 3.6.2 | Fall 2: Patientin mit guter Übereinstimmung zwischen manueller und automatischer Nystagmusauswertung | 50 |
| 3.6.3 | Fall 3: Patient mit geringer Übereinstimmung zwischen manueller und automatischer Nystagmusauswertung | 52 |
| 3.6.4 | Fall 4: Patientin mit geringer Übereinstimmung zwischen manueller und automatischer Nystagmusauswertung | 54 |
| 3.6.5 | Fall 5: Patientin mit guter Übereinstimmung zwischen Frequenz-, SPV- und Amplituden-Kalorigramm | 56 |
| 3.6.6 | Fall 6: Patient mit Abweichungen zwischen Frequenz-, SPV- und Amplituden-Kalorigramm | 59 |
| 4 | Diskussion | 62 |
| 4.1 | Nystagmus der Augen | 62 |
| 4.2 | Die vestibulo-okuläre Gleichgewichtsreaktion | 62 |
| 4.3 | Dignität der automatischen Nystagmusauswertung | 66 |
| 4.4 | Bedeutung und Korrelation einzelner Parameter der Nystagmusanalyse | 67 |
| 5 | Zusammenfassung | 74 |
| 6 | Literaturverzeichnis | 76 |

1 Einleitung

Die Ursachenklärung von Schwindelbeschwerden ist ein komplexes Feld. Das vestibuläre System mit seinen zahlreichen neuronalen Verschaltungen unterliegt dem Einfluss labyrinthärer, propriozeptiver, spinaler, hirnbasaler, corticaler, cerebellarer, optischer und psychischer Impulse. Störungsursachen sind in der Regel Ausfälle oder Blockierungen von Rezeptoren, Bahnensystemen und Koordinationszentren, welche durch hämodynamische, metabolische, raumfordernde oder mechanische Veränderungen bedingt sein können. Für die Schwindeldiagnostik stehen dem behandelnden Arzt die Anamnese, Inspektion, bildgebende Verfahren sowie die Funktionsanalyse zur Verfügung. Auf das Fachgebiet der äquilibrimetrischen Untersuchung hat sich die Gruppe der Neurootologen spezialisiert.

Für die Gleichgewichtskontrolle sind zwei Hauptreflexe, der vestibulo-okuläre und der vestibulo-spinale Reflex, verantwortlich. Die Antworten dieser Reflexe können dazu genutzt werden, ein peripheres oder zentral-vestibuläres Defizit zu diagnostizieren und zu quantifizieren [14, 25, 38]. Bei der Funktionsanalyse vestibulo-okulärer und retino-okulärer Bahnen wird in mehreren Versuchen, deren Aufbau und Durchführung im nachfolgenden Kapitel eingehend beschrieben sind, mittels verschiedener standardisierter Reize eine Effektorreaktion, der Nystagmus, evoziert. Schon BARANY [3, 4] und HALLPIKE [21, 27] betonten die herausragende Bedeutung des Nystagmus als Diagnosezeichen in der Beurteilung von Störungen des Äquilibrium.

Für die Reliabilität und Validität der Untersuchungen spielt, neben standardisierten Testbedingungen, die Wahl aussagekräftiger Auswerteparameter eine entscheidende Rolle [1, 29, 46, 56]. In den Anfangszeiten der Nystagmusanalyse ohne wesentliche technische Hilfsmittel standen dem Untersucher nur einfach bestimmbare Parameter wie die Nystagmusdauer oder die Nystagmusfrequenz zur Verfügung. Mit der Entwicklung objektiver Registrierungsmethoden wie der Elektronystagmographie oder der Videonystagmographie hat sich eine Vielzahl an Möglichkeiten der Auswertung von Nystagmuskurven ergeben. Parameter wie die Winkelgeschwindigkeit, Frequenz, Amplitudensumme pro Zeitintervall oder die Gesamtamplitude konnten nun leicht bestimmt, und zur Auswertung herangezogen werden. Die Frequenz und die Geschwindigkeit der langsamen Phase gelten als die beiden aussagekräftigsten

Parameter. Doch bis heute besteht Uneinigkeit, welchem der beiden Parameter der Vorzug zu geben ist. Während die „Arbeitsgemeinschaft Deutschsprachiger Audiologen und Neurootologen“ ADANO [63], aber auch eine Vielzahl amerikanischer Autoren wie STOCKWELL [52], BALOH [2] oder JACOBSEN [33] die Geschwindigkeit der langsamen Phase als Leitparameter favorisieren, wird von anderen Autoren wie FREYSS [23], TOROK [55, 56, 57, 58, 59] oder KUMAR [37] die Frequenz bevorzugt. Es stellt sich auch die Frage, wie weit einzelne Parameter von der Struktur der Nystagmuskurve her in bestimmten Relationen stehen, und welche Parameter völlig unabhängig sind. Die Untersuchung der Bedeutung einzelner Parameter und ihre Korrelation untereinander auf Basis der statistischen Begutachtung der Ergebnisse der elektronystagmographischen Untersuchungen an 150 Patienten soll Anliegen dieser Arbeit sein. Des Weiteren wurde noch die Zuverlässigkeit der automatischen Nystagmusauswertung durch den an der Universitäts-HNO-Klinik Würzburg verwendeten Computer-Nystagmographen der Firma Hortmann überprüft, da für das dieser Arbeit zugrunde liegende Patientenkollektiv bei der kalorischen Prüfung parallel auch noch eine manuelle Auswertung erfolgte.

2 Materialien und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Der Arbeit liegt ein Kollektiv von 150 Patienten der neurootologischen Abteilung der Universitäts-HNO-Klinik Würzburg zugrunde. Die Untersuchungen der Patienten fanden in den Jahren 1998 bis 2000 statt. Auswahlkriterium für das Patientenkollektiv war das Vorhandensein einer guten Nystagmusantwort bei der kalorischen Prüfung auf alle vier Reize.

Die Daten wurden mittels des neurootologischen Untersuchungsbogens NODEC III erfasst. Die Auswertung erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel.

2.2 Anamnese

Grundlage für die Anamneserhebung war das speziell neurootologisch ausgerichtete Anamneseschema NODEC III (Neurootologische Daten-Erfassung nach CLAUSSEN), der zweiten überarbeiteten Version des 1983 erschienenen NODEC I. Die ausgearbeiteten Fragenkomplexe decken systematisch alle anamnestisch wichtigen Bereiche ab, erlauben durch die identisch reproduzierbare Fragestellung eine Verlaufskontrolle und eignen sich gut zur statistischen Auswertung.

In dem einseitigen, aber zweiseitigen, Fragebogen werden zunächst Name, Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, Wohnung, Beruf und Untersuchungsdatum erfasst. Es folgt ein Fragenblock zu Vertigo-Symptomen, welche in die einzelnen Schwindel-Qualitäten Schwankschwindel, Drehgefühl, Fallneigung, Blackout und Unsicherheit unterteilt sind. Dazu werden noch vegetative Begleitsymptome wie Schweißausbruch, Übelkeit, Würgereiz, Erbrechen, Kollaps und die Schwindelauslösungsmechanismen wie Kinetose, Bücken, Kopfdrehen, Aufstehen und Blickwendung abgeklärt. Weiterhin werden die Anfallsdauer, unterteilt von Sekunden bis gleichmäßig andauernd, und der Zeitraum seitdem die Beschwerden vorliegen erfasst.

Im nächsten Fragenkomplex wird weiteren Störungen der Hirnnerven und Kopfsinne nachgegangen. Geruchsstörungen (An- und Parosmie) und Sehstörungen, unterteilt in

Unschärfe, Doppelbilder, Bewegungseindrücke und Blindheit, werden erfragt; es folgt die Abklärung eventueller Ohrensymptome wie Ohrensausen, Hörminderung, Taubheit oder Zustand nach Ohr-Operation, Abklärung von Geschmacksstörungen (Ageusie, Parageusie) sowie die Abklärung von Trigemimuszeichen und einer eventuellen zentralen oder peripheren Facialisparesie. Weiterhin werden Unfälle und Traumata, möglichst mit genauem Zeitpunkt und Hergang, erfasst.

Der folgende Fragenkomplex umfasst Grunderkrankungen des Patienten, unterteilt in neurologische Leiden, Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Hyper- und Hypotonus, Arteriosklerose, Herzinsuffizienz, Zustand nach Herzinfarkt, Diabetes mellitus und Nierenleiden. Nun werden noch Pharmaka, Alkohol-, Nikotin-, und Koffeinkonsum vermerkt.

Abschließend erfolgt eine subjektive Selbsteinschätzung des Patienten über seinen Krankheitsverlauf. Weitere Informationen können unter dem Punkt „Sonstiges“ festgehalten werden.

N O D E C III

Spezielle neurootologische Anamnese:

Name: _____ Beruf: _____ Geburtsdatum: _____

Wohnung: _____ Untersuchungsdatum: _____

- | | |
|--|---|
| <p>1) <u>Schwindelsymptome:</u> a) Schwankschwindel () b) Liftgefühl () c) Drehgefühl () n. rechts () n. links () d) Fallneigung () n. rechts () n. links () e) Schwarz-Werden-Vor-Augen () f) Unsicherheit ()</p> <p>2) <u>Vegetative Symptome:</u> a) Schweißausbruch () b) Übelkeit () c) Würgen () d) Erbrechen () e) Kollaps ()</p> <p>3) <u>Schwindelauslösung:</u> a) Kinetose -Schiff, Flugzeug, Bahn, Auto- () b) Kopfdrehen () c) Bücken () d) Aufstehen () e) Blickwendung ()</p> <p>4) <u>Dauer der Beschwerden:</u> a) seit Stunden () b) seit Tagen () c) seit Wochen () d) seit Monaten () e) seit Jahren () f) seit Jahrzehnten ()</p> <p>5) <u>Dauer des einzelnen Anfalls:</u> a) 1-2 Sekunden () b) Minuten () c) Stunden () d) Tage () e) Wochen () f) Monate () g) langdauernd gleichmäßig () h) an- und abschwelend langdauernd ()</p> <p>6) <u>Geruchsstörungen:</u> a) Anosmie () b) Parosmie ()</p> <p>7) <u>Sehstörungen:</u> a) Unschärfe () b) Doppelbilder () c) Bewegungseindrücke () ruckartige () d) Blindheit - rechts () links ()</p> <p>8) <u>Ohrensymptome:</u> a) Ohrensausen - rechts () links () b) Hörverminderung - rechts () links () c) Taubheit - rechts () links () d) Zust. n. Ohr-OP - rechts () links ()</p> | <p>9) <u>Geschmacksstörungen:</u> a) Ageusie () b) Parageusie ()</p> <p>10) <u>Trigeminuszeichen</u> rechts () links ()</p> <p>11) <u>Facialisparese:</u> a) peripher rechts () links () b) zentral rechts () links ()</p> <p>12) <u>Kopf-Hals-Trauma:</u> a) Verkehrsunfall () b) Arbeitsunfall () c) Sportunfall () d) Hausunfall ()</p> <p>13) <u>Neurologische Leiden:</u> ()</p> <p>14) <u>Herz-Kreislauf-Leiden:</u> a) Hypertonus () b) Hypotonus () c) Arteriosklerose () d) Herzinsuffizienz () e) Zustand nach Herzinfarkt ()</p> <p>15) <u>Diabetes Mellitus:</u> ()</p> <p>16) <u>Nierenleiden:</u> ()</p> <p>17) <u>Pharmaka oder Genußmittel:</u> a) Alkohol () b) Nikotin () c) Coffein () d) Salicylate () e) Streptomycin () f) Gentamycin () g) Contraceptiva () h) Sedativa () i) Antivertiginosa () j) Sonstige ()</p> <p>18) <u>.....-Untersuchung, Beschwerden:</u> a) unverändert () b) leicht gebessert () c) deutlich gebessert () d) leicht verschlechtert () e) deutlich verschlechtert ()</p> <p>19) <u>Sonstiges:</u></p> |
|--|---|

Abb. 1: Neurootologische Daten-Erfassung nach CLAUSSEN

2.3 Polygraphische Elektronystagmographie

Die neurootologische Untersuchung des vestibulo-okulären Bahnensystems erfolgt mit Hilfe der Schmetterlingskalorigraphie und dem "Rotatorischen Intensitäts-Dämpfungs-Test" (RIDT) nach CLAUSSEN [9, 10, 11, 12, 13, 14].

Es handelt sich um sensomotorische Prüfungen, bei denen jeweils durch einen standardisierten sensorischen Reiz eine motorische Effektor-Reaktion, der Nystagmus, erzielt wird. Für die Registrierung und Auswertung des Nystagmus hat die Elektronystagmographie große Bedeutung erlangt. Mit diesem erstmals 1922 von SCHOTT [50] beschriebenen Verfahren können Nystagmusreaktionen objektiv registriert, und sowohl quantitativ als auch qualitativ ausgewertet werden. Beim Nystagmusphänomen handelt es sich um ein, durch Reizung des Labyrinthes entstandenes, typisches dreieckiges Augenbewegungsmuster, bestehend aus einer langsamen Ablenkungskomponente, dem eigentlichen Reizsymptom, und einer schnellen Rückstellphase, der reflektorisch bedingten Rückstellbewegung der Bulbi zur Augenausgangslage. Der Nystagmusschlag wird per definitionem nach der Richtung der schnellen Phase bezeichnet. Zur Auslösung des vestibulären Nystagmus kommt es durch Auslenkung der Cupulae in den Bogengangampullen. Trigger-Reiz ist hier entweder eine Temperaturdifferenz (Kalt- und Warmreiz) oder eine Winkelbeschleunigung (Drehbewegung). Es kommt in beiden Fällen zu einer Endolymphströmung, durch welche die Cupula entweder in Richtung Ampulle oder in Richtung Utriculus ausgelenkt wird. Die Information wird über den N. vestibularis fortgeleitet und im ZNS (Formatio reticularis, sogenanntes Nystagmus-generierendes System) verarbeitet. Die resultierende efferente Information führt dann zum vestibulo-okulären Nystagmus.

Grundlage der Elektronystagmographie ist der elektrische Dipolcharakter des Auges. Die Retina als Ausstülpung von Hirngewebe weist eine negative, die bradytrophe Cornea eine positive Ladung auf. Bei Augenbewegungen kommt es also zu Potentialverschiebungen, welche mittels an der Haut sitzender Elektroden abgegriffen, und mit einem Polygraphen registriert werden können. Es handelt sich um Napfelektroden, welche, nach Entfettung der Hautstellen mit Alkohol, unter Verwendung einer gut leitenden Elektrodencreme, an der Haut befestigt werden. Es

kann sowohl mon- als auch binokulär abgeleitet werden; für die binokuläre Ableitung werden zwei Elektroden jeweils seitlich des Auges angebracht, zur horizontalen Ableitung eines Auges befindet sich eine weitere Elektrode im Bereich der Nasenwurzel, zur vertikalen Ableitung befestigt man jeweils eine Elektrode ober- und unterhalb des Auges. Eine indifferente Elektrode wird am rechten Bein befestigt. Es erfolgt eine zeitgleiche EKG-Aufzeichnung mit Ableitung nach Einthoven.

Der polygraphische Elektronystagograph besteht aus einem AC-Vorverstärker, Endverstärker, einem Thermokamm-Schreiber, einem Papiermagazin und einem Elektromotor für den Papiertransport.

Vor jeder Messung wird eine elektrische Eichung mittels eingebautem Impuls-generator vorgenommen. Ein Spannungsimpuls von 200 μV soll einen Zeigerausschlag von 1 cm bewirken. Unter Berücksichtigung der Strichdicke von 1mm ergibt sich eine Auflösung, welche die Identifikation von 20 μV Spannungsänderung ermöglicht. Dies entspricht 0,5 - 1° Augenbewegung. Beim EKG entspricht ein Zentimeter Zeigerausschlag einem 1000 μV Spannungsimpuls. Um den individuellen Wert für ein Grad Augenbewegung zu bestimmen, wird bei jedem Patienten vor den Versuchen auch eine biologisch-optische Eichung durchgeführt. Das Gerät ist so geeicht, dass Augenbewegungen nach rechts einen Zeigerausschlag nach oben bewirken, Augenbewegungen nach links bewirken einen Zeigerausschlag nach unten.

Die Papiergeschwindigkeit beträgt 7,5 mm/s, nur bei der Blick-Pendel-Folge wird sie auf 15 mm/s erhöht. Aus der ENG-Kurve lassen sich nun wichtige Informationen wie das Auftreten von Nystagmus an sich, dessen Häufigkeit, die Unterteilung in schnelle und langsame Phase des Nystagmusschlags, die Geschwindigkeiten und Dauer der beiden Phasen, die Nystagmusamplitude, die Abweichung der Augenachse des Nystagmusschlags von der Mittellage sowie die Nystagmusschlagrate pro Zeiteinheit herauslesen.

Neben der konventionellen manuellen Auswertung wurde parallel noch eine automatische Auswertung mit einem 4-Kanal Computernystagmograph der Firma Hortmann durchgeführt. Die Nystagmussignale laufen hierbei über Vorverstärker und werden dann dem Computer zugeführt, wo sie auf dem Bildschirm erscheinen und gleichzeitig gespeichert werden. Die ENG-Kurven werden durch den Computer ausgewertet und in einer Graphik zusammengefasst. Der Rechner erkennt

Nystagmusschläge nach einem ausgefeilten Algorithmus und berechnet Parameter wie Frequenz, Winkelgeschwindigkeit, Kumulationslatenz und Gesamtamplitude. Die Daten werden in einer Messtabelle mit dazugehörigem Schmetterlingskalorigramm oder RIDT-Kennlinienschema dargestellt. Die kulminative Phase der Nystagmusreaktion wird als Originalkurve ausgegeben, so dass stets die Möglichkeit besteht, die Originalkurve mit der Auswertegraphik zu vergleichen.

Da die manuelle Auswertung ein hohes Maß an Präzision erfordert und damit einen hohen Zeitaufwand bedeutet, kann durch die mit der Untersuchung simultan ablaufende Computerauswertung eine erhebliche Zeiteinsparung, und damit eine Rationalisierung des Arbeitsablaufs, erzielt werden. Voraussetzung ist die zuverlässige und sichere Nystagmuserkennung und Analyse durch den Computer.

2.4 Spontannystagmus

Unter Spontannystagmus versteht man die Basisaktivität des zentralnervösen Nystagmusgenerators. Diese wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. So wird der Nystagmus beispielsweise durch Öffnen der Augen, Belichtung der Cornea oder Blickfixierung gehemmt, aber durch Augenschließen und Dunkelheit verstärkt. Die Grundaktivität im Liegen ist etwa ein Drittel bis Viertel höher als im Sitzen.

Eine Messung der Spontanaktivität ist Voraussetzung für jede weitere Nystagmusprüfung.

Um Werte vergleichbar zu machen, müssen die Messbedingungen hierzu normiert werden. Die Messung erfolgt im Dunkeln, für den Kalorisationstest findet sie auf einem 30 Grad angehobenen Kalorisationstisch statt, vor der Drehprüfung erfolgt sie im Sitzen. Es wird jeweils eine Minute lang aufgezeichnet, jedoch nur das zweite 30-Sekunden-Intervall ausgewertet, um einen eventuellen Lagerungsfaktor auszuschließen. Diese Nystagmusschlagrate der zweiten 30 Sekunden heißt auch zentrale Nystagmusfrequenz.

Die Normbereiche für die zentrale Nystagmusfrequenz in Kalorisationsposition liegen für den rechtsgerichteten Spontannystagmus zwischen 0 und 18 Schlägen pro 30 Sekunden und für den linksgerichteten Nystagmus zwischen 0 und 19 Schlägen pro 30

Sekunden. Der entsprechende Normbereich in Sitzposition beträgt für den rechtsgerichteten Nystagmus 0 bis 12 Nystagmusschläge pro 30 Sekunden und für den linksgerichteten Nystagmus 0 bis 15 Nystagmusschläge pro 30 Sekunden.

Als weitere Parameter können noch die Nystagmusamplitude, also die Intensität des Spontanystagmus, und die Geschwindigkeit der langsamen Nystagmusphase betrachtet werden.

2.5 Kalorische Vestibularisprüfung

Die Bedeutung des kalorischen Vestibularistests ist schon durch die Verleihung des Nobelpreises im Jahre 1914 an Robert BARANY [3, 4] für die Beschreibung des Verfahrens der kalorischen Bogengangreizung zum Ausdruck gekommen.

Der Test wird am um 30 Grad angehobenen, liegenden Patienten vorgenommen, so dass sich die lateralen Bogengänge in Vertikalstellung befinden. Während des Tests hält der Proband die Augen geschlossen. Ein Spülkatheter wird in den Gehörgang eingeführt, über den, äquidistant zur mittleren Körpertemperatur, entweder mit 30° C kaltem oder 44° C warmem Wasser 30 Sekunden lang gespült wird. Die Wassermenge pro Spülung beträgt 20 ml. Bei Patienten mit Kontraindikationen, wie beispielsweise Trommelfellperforation, wird die kalorische Reizung monothermal mit 5 l Sauerstoff pro Minute von 21° C über 30 Sekunden durchgeführt. Die Temperaturdifferenz bewirkt einen Strömungsdruck im lateralen Bogengang. Die Cupula wird je nach Temperatur in Richtung Utriculus oder kanalwärts ausgelenkt. Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist die Möglichkeit, beide Seiten unabhängig voneinander zu prüfen.

Die kalorische Nystagmusreaktion der vier Einzelprüfungen (rechtes Ohr 44° C, linkes Ohr 44° C, rechtes Ohr 30° C, linkes Ohr 30° C) wird ab Spülbeginn für mindestens drei Minuten elektronystagmographisch aufgezeichnet. Der Abstand zwischen den Einzelprüfungen soll mindestens sechs Minuten betragen. Im Normalfall erzeugt die Warmspülung einen Nystagmus zur gereizten Seite, die Kaltspülung zur Gegenseite.

Zur graphischen Darstellung des kalorischen Nystagmustests verwenden wir das synoptische Schmetterlingsdiagramm nach CLAUSSEN [9, 10, 11, 12, 13, 14]. Es besteht aus vier Quadranten, in welche die Reaktionen auf Warm- und Kaltreiz jeweils

für das rechte und linke Ohr eingetragen werden. In jedem Quadranten sind zum interindividuellen Vergleich ein Normbereich des kalorischen Nystagmus und ein Normbereich des Spontannystagmus eingetragen.

Bei NODEC IV liegen die Normbereiche für die Spülung 44° C rechts bei 20,9 bis 55,7 Nystagmusschlägen, für 44° C links bei 23,1 bis 60,9 Nystagmusschlägen, für 30° C rechts bei 25,6 bis 64 Schlägen und für 30° C links bei 24,2 bis 66,8 Nystagmusschlägen über 30 Sekunden.

Auf dem NODEC III Befundbogen sind vier Schmetterlingsschematypen abgebildet.

Typ I, das kalorische Nystagmus-Frequenz-Kennlinienschema, dient der Darstellung der zentralen Nystagmusfrequenz während 30 Sekunden im Kulminationsbereich, also dem Bereich, wo die Nystagmussignale am größten und dichtesten gehäuft vorkommen. Dazu wird die ENG-Kurve in Zehn-Sekunden-Intervalle unterteilt; drei im Kulminationsbereich nebeneinander liegende Intervalle werden zusammengefasst und graphisch im Schmetterlingskalorigramm dargestellt. So erhält man die maximale Reaktionsdynamik des geprüften vestibulo-okulären Systems. Zusätzlich wird der Spontannystagmus als gestrichelte Linie eingetragen.

Das Schmetterlingsschema Typ II gleicht dem Typ I-Schema, nur findet sich hier zusätzlich eine nomographische Skala zur Umformung der zentralen Nystagmusfrequenz in die Einheit Hertz. Die Normbereiche für den Spontannystagmus sind hier seitlich herausgerückt.

Im Schmetterlingsschema Typ III, dem kalorischen ENG-Amplitudenschema, wird die zentrale Nystagmusamplitude dargestellt. Die Normbereiche hierfür liegen für 44° C rechts bei 34 – 152 μ V, für 30° C rechts bei 42 – 171 μ V, für 44° C links bei 37 – 158 μ V und für 30° C links bei 40 – 200 μ V.

Das Schmetterlingsschema Typ IV zeigt die maximale Geschwindigkeit der langsamen Phase im Kulminationsbereich. Weiterhin kann noch die Kumulationslatenz, also die Zeit vom Beginn der Kalorisation bis zur Mitte des Kulminationsbereichs, ermittelt werden. Bei NODEC III liegen die Normwerte hierfür zwischen 50 und 88 Sekunden.

Die zusammenfassende graphische Darstellung in den einzelnen Schmetterlingskalorigrammen gibt einen Überblick über die Versuchsergebnisse und erleichtert die Diagnose.

Es ergeben sich verschiedene krankheitstypische Schmetterlingsmuster, die auch als trinäre Codes dargestellt werden können. Liegt eine Kennlinie im Normbereich, so erhält sie die Ziffer 0, liegt sie unterhalb (Hemmung), so erhält sie die Ziffer 1, liegt sie oberhalb (Enthemmung), so erhält sie die Ziffer 2. Die Ziffernfolge beginnt im Schmetterlingskalorigramm links oben (rechtes Ohr, 44° C), und geht gegen den Uhrzeigersinn weiter bis rechts oben (linkes Ohr, 30° C). Auf diese Weise ergibt sich ein vierstelliger Code mit 81 Variationsmöglichkeiten.

Anhand der jeweiligen Symptomatik wie z.B. einseitigem Warm- oder Kaltverlust, einseitiger Reaktionshemmung, einseitiger Überfunktion, beidseitiger Enthemmung, Nystagmushemmungs- oder Nystagmusenthemmungsüberwiegen etc., kann nun zwischen zentralen und peripheren Gleichgewichtsstörungen unterschieden werden. Eine klare Trennung zwischen zentralen und peripheren Störungen ist jedoch nicht immer möglich, da manchmal gleichzeitige Veränderungen vorliegen, die für beide Arten von Störung sprechen, die so genannte kombinierte Störung.

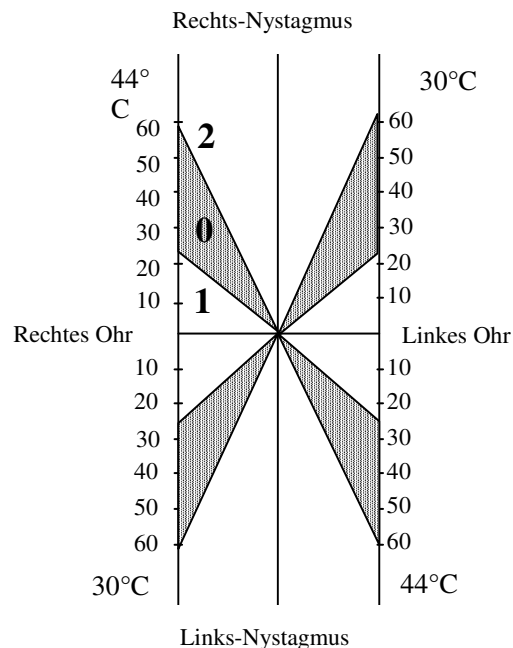


Abb. 2: Schmetterlingskalorigramm Typ I nach CLAUSSEN

2.6 Rotatorischer Intensitätsdämpfungstest (RIDT)

Die Prüfung des rotatorisch auslösbbaren Nystagmus, also mittels eines definierten Beschleunigungsstimulus, bietet weitere diagnostische Möglichkeiten. Die Reaktionsdynamik der per- und postrotatorischen Nystagmusschlagraten wird in einem Kennlinienschema, dem so genannten L-Schema nach CLAUSSEN [9, 10, 11, 12, 13, 14] dargestellt.

Der Proband sitzt im halb oder ganz abgedunkelten Raum auf dem Drehstuhl, den Kopf um 30 Grad nach vorne geneigt, so dass sich die lateralen Bogengänge in der Drehebene befinden. Da beide Bogengänge gleichzeitig geprüft werden, erweist sich eine eindeutige topodiagnostische Lokalisation anhand der Reaktionsmuster als schwierig. Der Vergleich mit den Ergebnissen des kalorischen Versuchs ist jedoch aufschlussreich. Es handelt sich um einen kombinierten per- und postrotatorischen Versuch. Beim perrotatorischen Versuch hält der Patient die Augen geschlossen und wird mit einer linearen Drehbeschleunigung von $3^\circ/s^2$ 30 Sekunden lang gedreht. Der supraliminale Reiz erzeugt ein parabelförmiges Nystagmusausschlagmuster mit Latenzphase, Kumulationsbereich und Abklingphase. Der perrotatorische Nystagmus erfolgt in Drehrichtung, es folgen jedoch noch ein bis zwei richtungswechselnde Nachphänomene, die Perrotatorii II und III. Nun wird der Patient mit 90 Grad pro Sekunde mindestens drei Minuten weitergedreht. Für den postrotatorischen Versuch wird der Patient innerhalb einer Drittel Sekunde abgestoppt. Hierdurch entsteht ein nadelförmiger supramaximaler Beschleunigungsimpuls von $270^\circ/s^2$. Das Abbremsen aus einer Rechtsdrehung erzeugt einen Linksnystagmus, das Abbremsen aus der Linksdrehung erzeugt einen Rechtsnystagmus. Die Intensität nach Abbremsen klingt hyperbelförmig ab.

Die Ergebnisse der ENG-Auswertung werden im L-Kennlinienschema eingetragen. Im L-Schema werden links der Ordinate die Nystagmusschläge des Perrotatorius I linear gegen die Zeit abgetragen, rechts der Ordinate erfolgt die doppelt logarithmische Darstellung des Postrotatorius I. Der rechtsgerichtete Nystagmus wird jeweils mit einer durchgezogenen Linie, der linksgerichtete Nystagmus mit einer gestrichelten Linie eingezeichnet.

Für die Kennlinien des Perrotatorius I wird die Schlagratensumme über 30 Sekunden im Kulminationsbereich ausgezählt. Auf der Abszisse entsprechen 30 Millimeter auch 30 Sekunden, auf der Ordinatenparallele entspricht ein Millimeter einem Nystagmusschlag in Drehrichtung. Die Verbindung zwischen Schlagratenpunkt und Nullpunkt ergibt die jeweilige RIDT-Kennlinie. Bei NODEC III liegt der Normbereich für den perrotatorischen Rechtsnystagmus zwischen 26,4 und 64,6 Nystagmusschlägen, der Normbereich für den perrotatorischen Linksnystagmus zwischen 24,4 und 61 Schlägen. Zur Konstruktion der postrotatorischen Kennlinie unterteilt man die ENG-Kurve ab dem Ende der Drehung in Fünf-Sekunden-Intervalle und zählt diese für die ersten 30 Sekunden aus. Die Werte werden fortlaufend in Fünf-Sekunden-Schritten aufsummiert, in das postrotatorische Schema eingetragen und optimal miteinander verbunden. Um eine Gerade zu erhalten, werden, im Gegensatz zum perrotatorischen Schema, Zeit und Nystagmusschlagsumme logarithmisch dargestellt. Diese Kennlinie verläuft nicht durch das Zentrum, besitzt also einen zusätzlichen Lagefaktor. Verlängert man nun die postrotatorische Kennlinie bis zur perrotatorischen Kennlinie, so erhält man die typische, mit dem Winkel nach oben offene, L-Form. Eine Diagnosestellung wird durch das Entstehen typischer Muster erleichtert. Diese Muster lassen sich ebenfalls wieder durch trinäre Codes mit der Ziffer 0 für den Normbereich, der Ziffer 1 für eine Lage unterhalb des Normbereichs und der Ziffer 2 für eine Lage oberhalb des Normbereichs darstellen. Der vierstellige Code setzt sich in der Reihenfolge perrotatorisch rechts, perrotatorisch links, postrotatorisch links und postrotatorisch rechts zusammen. Will man zusätzlich den Steigungsfaktor einbeziehen, so wird der Code noch um Steigung postrotatorisch rechts und Steigung postrotatorisch links erweitert.

Der "Rotatorische Intensitäts-Dämpfungs-Test" ist eine Ergänzung zum kalorischen Vestibularistest. Beide können im „Vestibulären Reiz-Reaktionsstärke-Vergleich“ (VRRSV) miteinander verglichen werden.

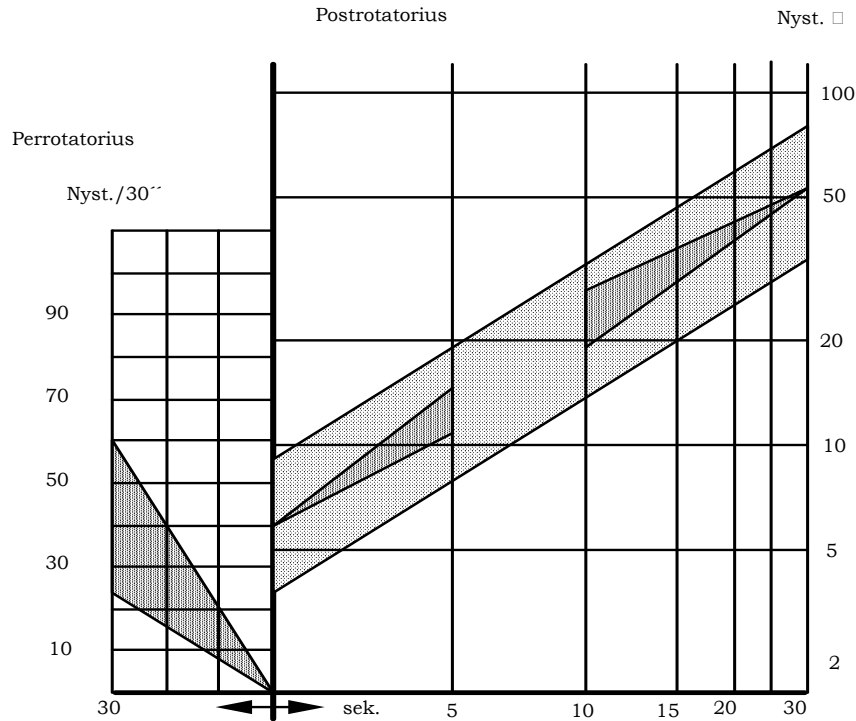


Abb. 3: RIDT-Diagramm (L-Schema nach CLAUSSEN)

2.7 Vestibulärer Reiz-Reaktionsstärke-Vergleich

Bei diesem Vergleich werden jeweils zwei Reize gewählt, die den gleichen Effekt am Rezeptor bewirken. Für den Rechtsnystagmus wird z.B. die Warmreizung des rechten Ohres mit dem perrotatorischen Rechtsnystagmus, für den Linksnystagmus die Warmreizung des linken Ohres mit dem entsprechenden perrotatorischen Test kombiniert. Es lassen sich hierbei drei Haupttypen unterscheiden:

1. Parallelverhalten: beide Tests zeigen ein analoges Normverhalten, Hemmungsverhalten oder Enthemmungsverhalten.
2. Recruitment: die Reaktion auf die kalorische Reizung fällt schwächer aus als im rotatorischen Test.
3. Decruitment: die Reaktion auf die kalorische Reizung fällt stärker aus als im rotatorischen Test.

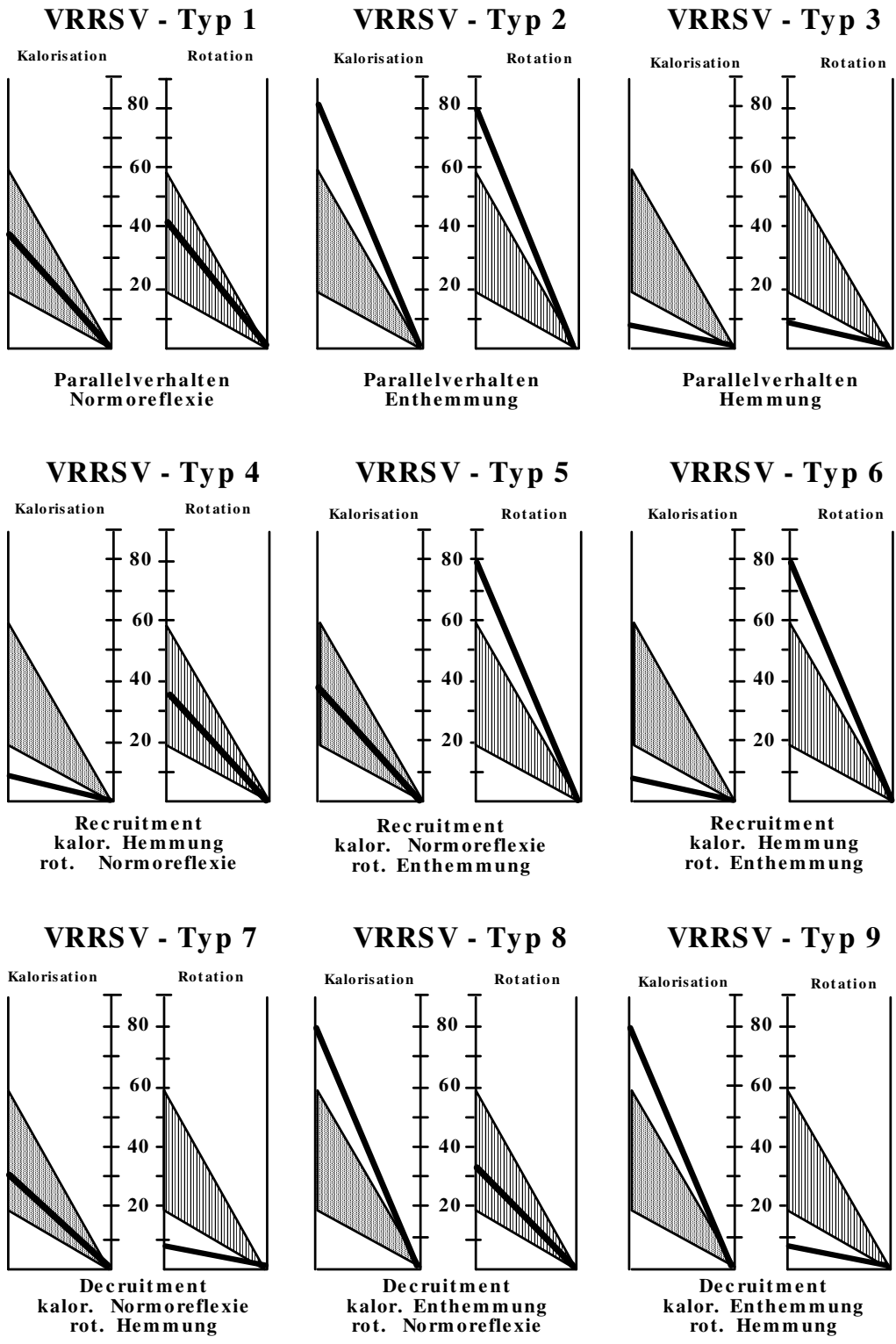


Abb. 4: Subtypen des „Vestibulären Reiz-Reaktionsstärke-Vergleichs“

2.8 Optokinetischer Nystagmus (OKN)

Der optokinetische Nystagmus gehört zu den okulomotorischen Reflexen. Er besteht aus einer langsamen Phase, in welcher das Auge einem sich bewegenden Objekt folgt, und einer schnellen Phase, der Rückstellbewegung des Auges. Mit der Prüfung des optokinetischen Nystagmus lassen sich retino-okuläre Störungen auf einfache Weise erkennen.

An der Universitätsklinik Würzburg wird der optokinetische Nystagmus als so genannter optokinetischer Freifeldnystagmus während dem Drehversuch gemessen.

Der Proband befindet sich im abgedunkelten Raum, hält die Augen geschlossen und wird mit 90°/Sekunde 1,5 Minuten auf dem Drehstuhl gedreht. Dann wird er aufgefordert die Augen zu öffnen und das Licht wird eingeschaltet. Die Auswertung der Nystagmusschläge bezieht sich auf den Zeitraum der 20. bis 50. Sekunde ab dem Zeitpunkt der Augenöffnung. Jetzt wird das Licht wieder ausgeschaltet und der Patient aufgefordert, die Augen zu schließen. In den folgenden 30 Sekunden werden nun die Nystagmusschläge für den optokinetischen Nach-, oder After-Nystagmus (OKAN) registriert und ausgewertet.

2.9 Blickpendelfolge-Test (BPF)

Mit Hilfe des Blickpendelfolge-Tests kann eine individuelle ENG-Eichung vorgenommen werden, er stellt aber auch einen eigenständigen optokinetischen Versuch dar.

Der Patient befindet sich in Rücklage auf dem horizontalgestellten kardanischen Lagerungstisch. Einen Meter über ihm befindet sich ein Pendel mit einer Glühbirne an dessen Ende. Die Pendelfrequenz ist auf 0,3 Hertz eingestellt und die Auslenkung beträgt 20 Grad in jede Richtung, woraus eine Amplitude von 40 Grad resultiert. Die sinusförmige Pendelbewegung und die Augenfolgebewegungen werden gleichzeitig elektronystagmographisch registriert. Das ENG wird an jedem Auge horizontal und vertikal abgeleitet; zusätzlich erfolgt noch die horizontale Ableitung für beide Augen zusammen. Es werden ca. 20 Pendelumläufe aufgezeichnet, die ersten fünf dienen der

Eingewöhnung, die nächsten fünf Umläufe werden dann quantitativ und qualitativ ausgewertet.

Zu den Auswertungskriterien des optokinetischen horizontalen Blickpendelfolge-Versuchs zählen die Augenbewegungsamplitude, das Phasenverhältnis zwischen Augenumschwüngen und Pendelumschwüngen und Nystagmusüberlagerungen. Die Dynamik der optokinetischen Reaktion kann normal, enthemmt oder gehemmt sein.

Für die biologische Eichung wird die Augenamplitude gemessen. Mit der elektrischen Eichung zusammen kann nun das corneo-retinale Potential in Mikrovolt für ein Grad Augenbewegung ermittelt werden.

2.10 Cranio-Corpo-Graphie (CCG)

Die Prüfung des vestibulo-spinalen Systems erfolgt mittels der Cranio-Corpo-Graphie nach CLAUSSEN [9, 10, 11, 12, 13, 14]. Bei dieser Methode werden sensomotorische Kopf-Körper-Reaktionen, die Ergebnisse des UNTERBERGER´ schen Tretversuchs [60] und des Stehversuchs nach ROMBERG [48], fotooptisch festgehalten und qualitativ sowie quantitativ ausgewertet. Für die Registrierung der Kopf-Schulter-Bewegungen wird dem Patienten ein Helm mit jeweils einer Lampe im Stirn- und Hinterhauptbereich aufgesetzt. Zusätzlich wird jeweils eine Glühbirne an jeder Schulter angebracht. Die Stromversorgung erfolgt über eine Batterie im Inneren des Helms. An der Decke über dem Patienten befindet sich ein Konvexspiegel, welcher fast den gesamten Raum wiedergibt. Auf den Spiegel ist eine Polaroid-Sofortbild-Kamera gerichtet, welche auf Dauerbelichtung und kleinste Blende eingestellt ist. Im abgedunkelten Raum können so die Leuchtspuren der Kopf-Körper-Bewegungen während eines Versuchs auf hochempfindlichem Schwarz-Weiß-Film festgehalten werden.

In einer zweiten Belichtung werden am Ende des Versuchs mittels eines Rotors, an dem Leuchtmarken im definierten Abstand von 20 cm angebracht sind, konzentrische Kreise in der jeweiligen Kopfhöhe des Patienten eingeblendet. Das so geschaffene Polarkoordinatenbezugssystem dient der maßstabgetreuen Ausmessung, da der

Originalabstand der Leuchten ja bekannt ist. Bei der Auswertung ist noch die spiegelverkehrte Darstellung der Patientenbewegungen zu beachten.

Ein wichtiger Test im Rahmen des CCG's ist der UNTERBERGER'sche Tretversuch [60]. Dem Patienten werden zunächst die Augen abgedeckt; er muss nun für ca. eine Minute auf der Stelle treten und 100 Schritte ausführen. Ab etwa dem 30. bis 40. Schritt überwiegt die vestibuläre Orientierung gegenüber der erinnerten. Für die Auswertung werden nun verschiedene Parameter mit dem Winkelmesser und dem Lineal metrisch erfasst.

Für die Beurteilung von zentralen Gleichgewichtsstörungen ist vor allem die Lateralschwankungsbreite des Kopfes und der Schultern relevant. Für die Beurteilung peripherer Gleichgewichtsstörungen spielt die anguläre Deviation, also die Seitenabweichung zwischen Ausgangs- und Endstellung, eine wichtige Rolle. Eine Winkelabweichung nach links wird hierbei mit einem negativen Vorzeichen angegeben, eine Abweichung nach rechts mit einem positiven Vorzeichen. Der Patient weicht in der Regel zur erkrankten Seite ab. Meist synchron zur angulären Deviation verhält sich der Körpereigenspin, also die Drehung um die Körperachse. Die Abweichungslänge, also die Strecke von der Ausgangs- bis zur Endstellung des Patienten, wird ebenfalls gemessen.

Die Norm-Mittelwerte und Norm-Standardabweichungen gemäß „Forschungsbericht Cranio-Corpo-Graphie“ aus der Schriftenreihe des „Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., 1986“ betragen für die Längsabweichung im Mittelwert 73,08 cm mit einer Standardabweichung von 37,73 cm, für die Lateralschwankungsbreite 9,8 cm mit einer Standardabweichung von 5,31 cm, für die anguläre Deviation 0,53 Grad mit einer Standardabweichung von 32,90 Grad und für den Eigenspin 2,30 Grad mit einer Standardabweichung von 54,23 Grad.

Neben diesen vier Hauptparametern enthält das komplexe Linienmuster noch weitere Informationen in Form verschiedener Graphoelemente wie Schleifen, Bögen, Spitzen und deren Kombination.

Der Stehversuch nach ROMBERG [48] wird als Ergänzung zum UNTERBERGER'schen Tretversuch [60] durchgeführt. Der Patient steht unter CCG-Bedingungen mit geschlossenen Augen im abgedunkelten Raum für drei Minuten auf

der Stelle. Die Füße werden eng aneinander gestellt und die Arme am Körper angelegt. Als Auswerteparameter gelten die antero-posteriore Verschiebung sowie die Lateralschwankungsmuster der Kopf- und Schulterleuchtspuren. Im Allgemeinen dominiert die antero-posteriore Bewegung.

Die Norm-Mittelwerte und Norm-Standardabweichungen gemäß " Forschungsbericht Cranio-Corpo-Graphie" aus der Schriftenreihe des „Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., 1986" betragen für die Längsschwankung 5,88 cm mit einer Standardabweichung von 4,16 cm und für die seitliche Schwankung 3,95 cm mit einer Standardabweichung von 2,14 cm.

Ferner kann aus den Messdaten die Schwankungsbereichsfläche der einzelnen Leuchtmarken errechnet, sowie deren Gestalt typisiert werden.

Ein weiterer Parameter ist der Torticolliswinkel. Darunter versteht man die Verstellung der Kopfachse zur Schulterachse aus dem normalen rechtwinkligen Verhältnis heraus.

2.11 Statistische Auswertung

Die mit dem neurootologischen Anamneseschema NODEC III nach CLAUSSEN [9, 10, 11, 12, 13, 14] erfassten Patientendaten wurden in eine Datenbank übertragen. Mittels eines Personal-Computers und des Tabellenkalkulations- und Graphikprogramms Excel wurden Selektionen und Ordnungen sowie eine einfache deskriptive Statistik durchgeführt.

Interessante und relevante Ergebnisse der Gesamtstatistik sowie die statistischen Ergebnisse ausgewählter Gruppen werden nachfolgend besprochen und graphisch dargestellt. Weiterhin wurde für den Vergleich der manuellen und automatischen Nystagmusauswertung sowie zur Untersuchung der Beziehungen zwischen den Parametern Frequenz, Geschwindigkeit der langsamen Phase und Gesamtamplitude eine Korrelationsstatistik mit Hilfe des Statistikprogramms STAT-VIEW 5.0 erstellt. In einem zweiten Abschnitt der Ergebnisse werden Einzelfälle kasuistisch erläutert.

3 Ergebnisse

3.1 Gesamtkollektiv

Das Patientenkollektiv (n = 150) setzt sich aus 86 Frauen (57,3 %) und 64 Männern (42,7 %) zusammen.

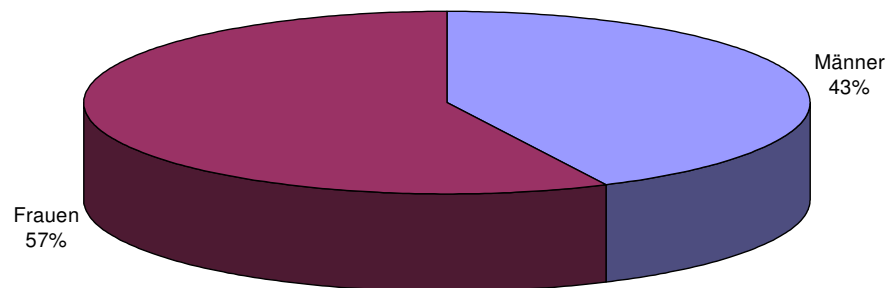


Abb. 5: Geschlechterverteilung im Gesamtkollektiv (n = 150) in Prozentangaben

Die Altersverteilung reicht von 9 – 79 Lebensjahren bei einem durchschnittlichen Alter von 47,2 Jahren. Die durchschnittliche Körpergröße beträgt 169,6 Zentimeter mit einer Standardabweichung von $\pm 9,5$ Zentimetern. Das durchschnittliche Gewicht liegt bei 74 Kilogramm mit einer Standardabweichung von $\pm 14,8$ Kilogramm.

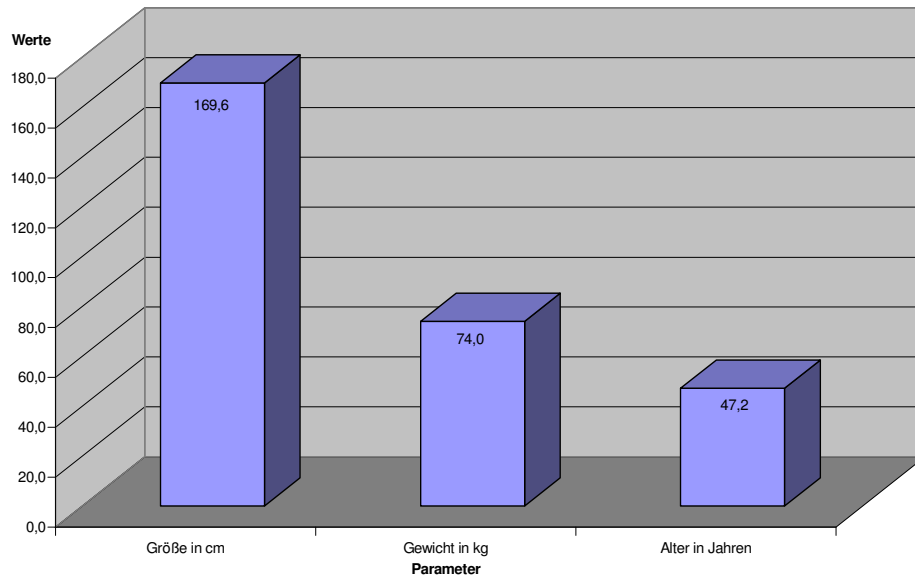


Abb. 6: Grundwerte des Gesamtkollektivs

Vertigosymptome traten bei 80 % aller Patienten auf, wovon die meisten unter Unsicherheit (55,3 %), Schwankschwindel (44,0 %) und Drehgefühl (34,0 %) leiden.

Vegetative Begleitsymptome zeigen sich bei 44,7 % der Patienten; die häufigsten Symptome sind Übelkeit (36,7 %), Schweißausbruch (26,7 %) und Erbrechen (17,3 %).

Die meisten Patienten haben ihre Beschwerden seit Jahren (35,3 %); die Anfallsdauer liegt am häufigsten im Bereich von Sekunden bis Minuten.

Immerhin 64 % des Gesamtkollektivs leiden unter Tinnitus, wobei 30,7 % einen beidseitigen, 20,7 % einen linksseitigen und 12,7 % einen rechtsseitigen Tinnitus zeigen. Eine Hörminderung liegt bei 50 % aller Patienten vor; bei 26,7 % eine beidseitige, bei 14,7 % eine linksseitige und bei 8,7 % eine rechtsseitige Hörminderung.

Von neurologischen Leiden sind 22 % der Patienten betroffen. Von den weiterhin erfassten Grunderkrankungen tritt Hypertonus mit 28,7 %, gefolgt von Hypotonus mit 21,3 %, am häufigsten auf. Herzerkrankungen traten selten auf; nur 2 % der Patienten leiden an Herzinsuffizienz oder erlitten in der Vorgeschichte einen Herzinfarkt. An Diabetes mellitus leiden 2,7 % der Patienten.

Im Rahmen der Untersuchung wurden periphere, zentrale und kombinierte Störungen der Vestibularisfunktion mit folgender Häufigkeit diagnostiziert:

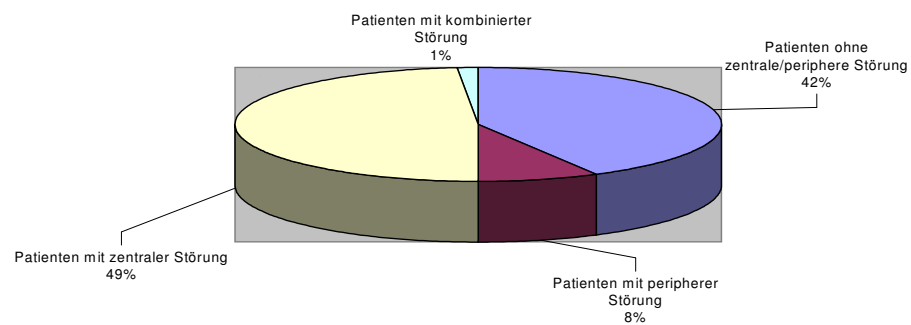


Abb. 7: Verteilung von zentralen, peripheren und kombinierten Störungen im Gesamtkollektiv

Die Graphik zeigt, dass in unserem Kollektiv zentrale Störungen mit 48 % am häufigsten anzutreffen sind. 42 % der Patienten weisen weder eine periphere noch zentrale Störung auf, nur 8 % eine periphere Störung und bei 1 % der Patienten liegt eine kombinierte Störung vor.

3.2 Patientenunterkollektive

3.2.1 Altersschichtenvergleich

Das Kollektiv wurde in vier Altersgruppen, die 9 – 35-Jährigen, die 36 – 45-Jährigen, die 46 – 59-Jährigen und die 60 – 79-Jährigen unterteilt. Die erste Gruppe umfasst 33 Personen (22 %), die zweite Gruppe 39 Personen (26 %), die dritte Gruppe 42 Personen (28 %) und die vierte Gruppe 36 Personen (24 %).

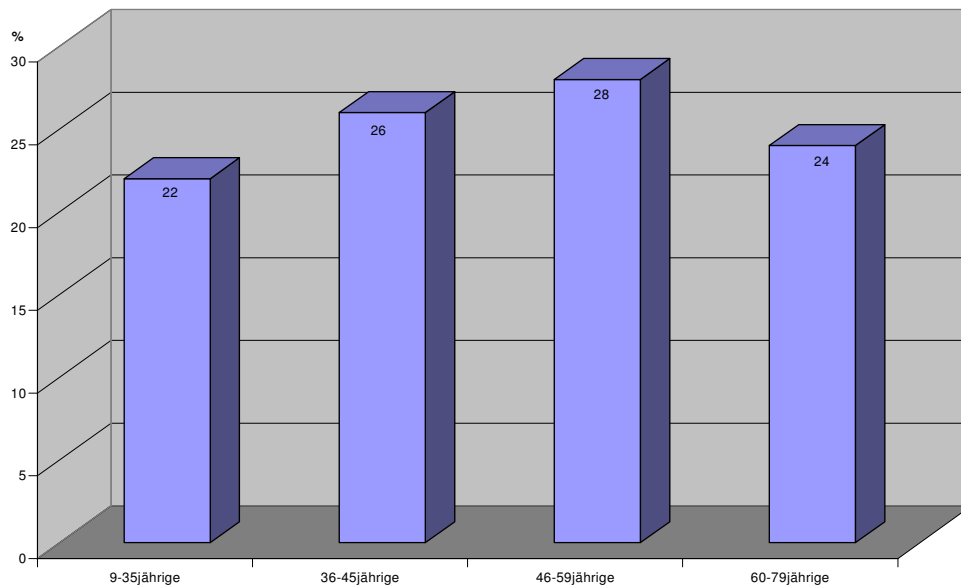


Abb. 8: Prozentualer Anteil der einzelnen Altersgruppen im Gesamtkollektiv

Diese Altersgruppen wurden auf die Verteilung von Vertigosymptomen untersucht:

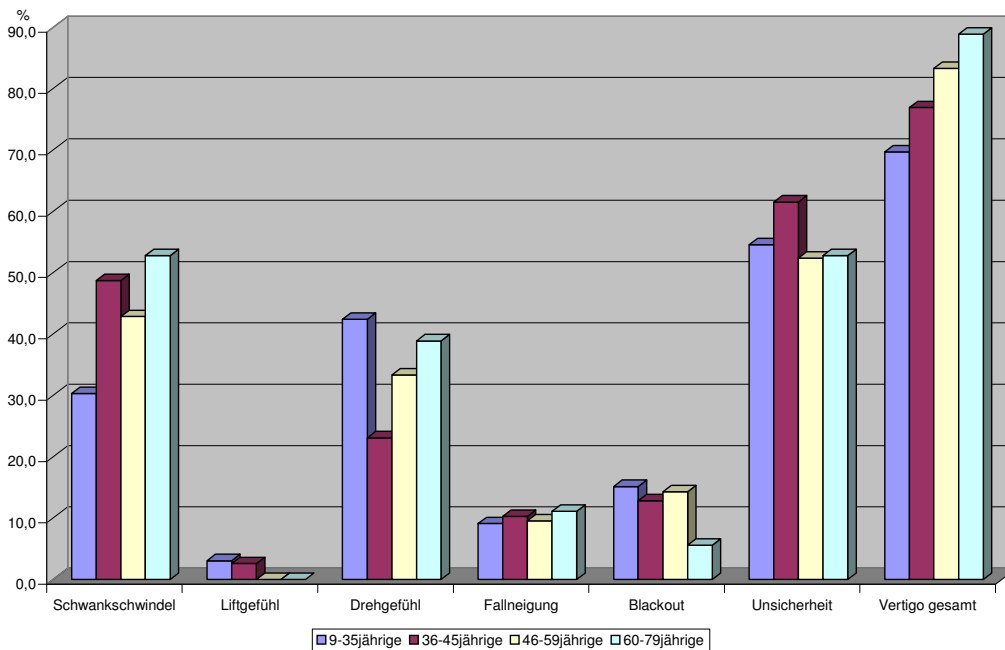


Abb. 9: Verteilung der einzelnen Vertigosymptome in den Altersgruppen

Dabei zeigt sich, dass diese mit dem Alter zunehmen. In der Gruppe der 60 – 79-Jährigen haben 88,9% Vertigosymptome; bei den 46 – 59-Jährigen sind es 83,3 %, gefolgt von den 36 – 45-Jährigen mit 76,9 % und den 9 – 35-Jährigen mit 69,7 %. Schwankschwindel war am häufigsten bei den 60 – 79-Jährigen (52,8 %) anzutreffen, gefolgt von den 36 – 45-Jährigen mit 48,7 %. Unter Liftgefühl litten 3 % der 9 – 35-Jährigen und 2,6 % der 36 – 45-Jährigen; in den anderen beiden Gruppen kam es gar nicht vor. Drehgefühl verspürten die 9 – 35-Jährigen mit 42,4 % am häufigsten, bei der Fallneigung war dies die Gruppe der 60 – 79-Jährigen mit 11,1 %, bei Blackout die Gruppe der 9 – 35-Jährigen mit 15,2 % und bei Unsicherheit die Gruppe der 36 – 45-Jährigen mit 61,5 %.

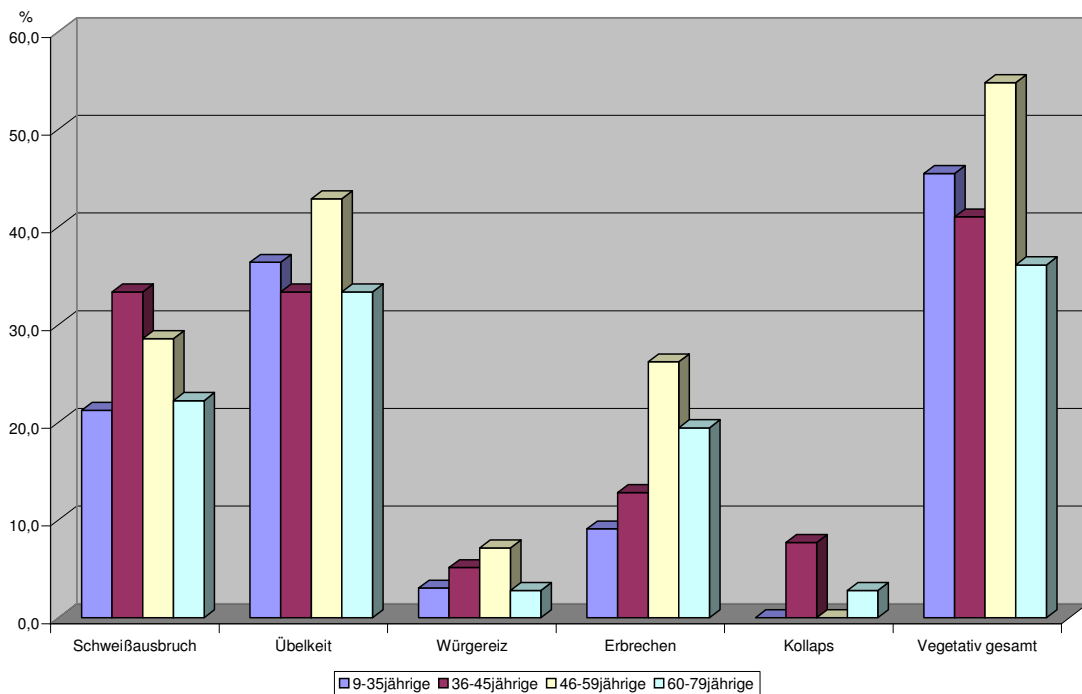


Abb. 10: Verteilung der einzelnen vegetativen Symptome in den Altersgruppen

Betrachtet man die Verteilung der vegetativen Symptome in den einzelnen Altersgruppen, so lässt sich in unserem Kollektiv keine klare Tendenz erkennen. Am häufigsten leiden mit 54,8 % die 46 – 59-Jährigen unter vegetativen Symptomen, vor allem unter Übelkeit (42,9 %), Schweißausbrüchen (28,6 %) und Erbrechen (26,2 %).

Bei den 9 – 35-Jährigen traten vegetative Symptome insgesamt mit einer Häufigkeit von 45,5 % auf, bei den 36 – 45-Jährigen zu 41,0 % und bei den 60 – 79-Jährigen zu 36,1 %. Die Symptome Kollaps und Würgereiz wurden von den Patienten insgesamt eher selten angegeben.

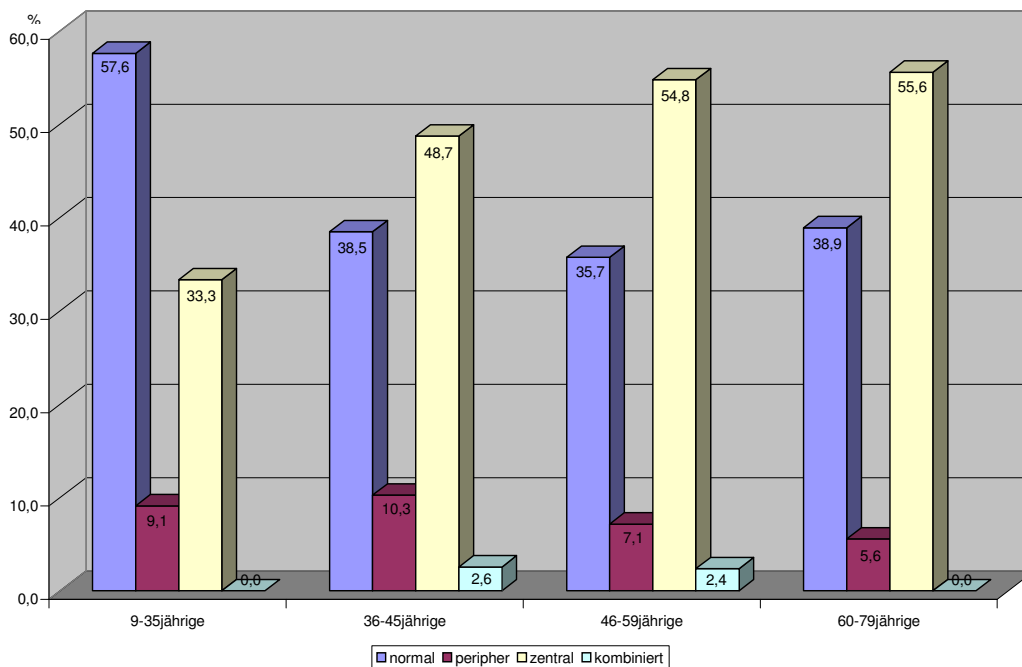


Abb. 11: Prozentuale Verteilung peripherer und zentraler Störungen in den Altersgruppen

In der Altersgruppe der 9 – 35-Jährigen liegt zu 57,6 % keine, zu 9,1 % eine periphere und zu 33,3 % eine zentrale Störung der vestibulären Funktion vor. Kombinierte Störungen traten in diesem Teilkollektiv nicht auf. Bei 48,7 % der 36 – 45-Jährigen wurde eine zentrale Störung, bei 10,3 % eine periphere und bei 2,6 % eine kombinierte Störung diagnostiziert. Bei den 46 – 59-Jährigen ist das Verhältnis 54,8 % für die zentrale Störung, 7,1 % für die periphere Störung und 2,4 % für die kombinierte Störung; zu 35,7 % war keine Störung feststellbar. Bei 55,8 % der 60 – 79-Jährigen liegt eine zentrale Störung, bei 5,6 % eine periphere Störung und bei 38,9 % keine Störung vor.

3.2.2 Vergleich Frauen-Männer

Die Gruppen der Frauen (n = 86) und Männer (n = 64) wurden auf einige Aspekte hin miteinander verglichen.

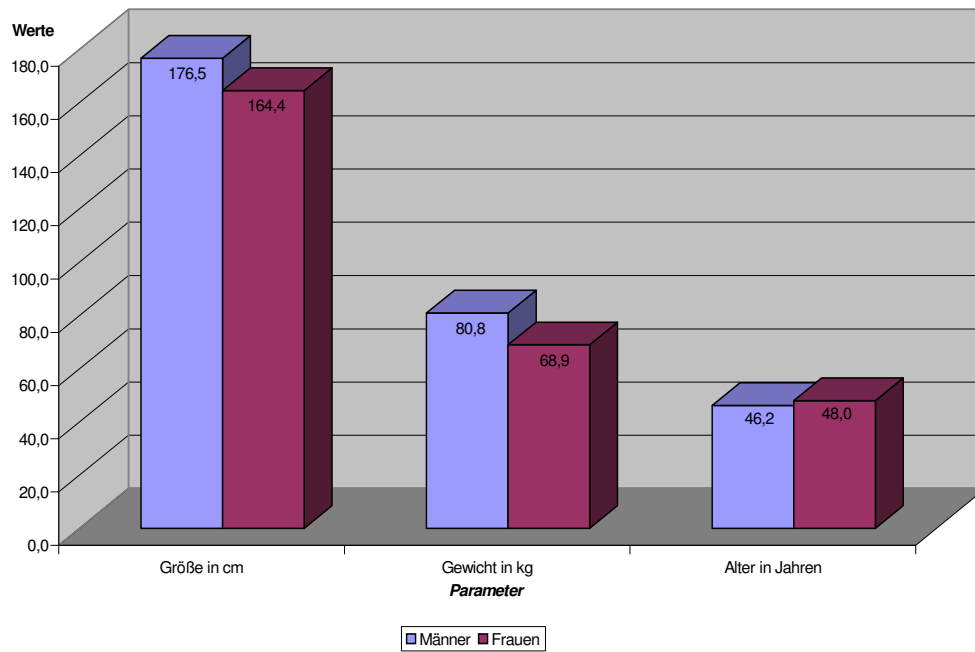


Abb. 12: Grundwerte des Frauen- und Männerkollektivs

Bei den Männern beträgt die durchschnittliche Größe 176,5 Zentimeter bei einem durchschnittlichen Gewicht von 80,8 Kilogramm. Die durchschnittliche Größe der Frauen beträgt 164,4 Zentimeter bei einem durchschnittlichen Gewicht von 68,9 kg. Das Durchschnittsalter der Männer lag bei 46,2, das der Frauen bei 48 Jahren.

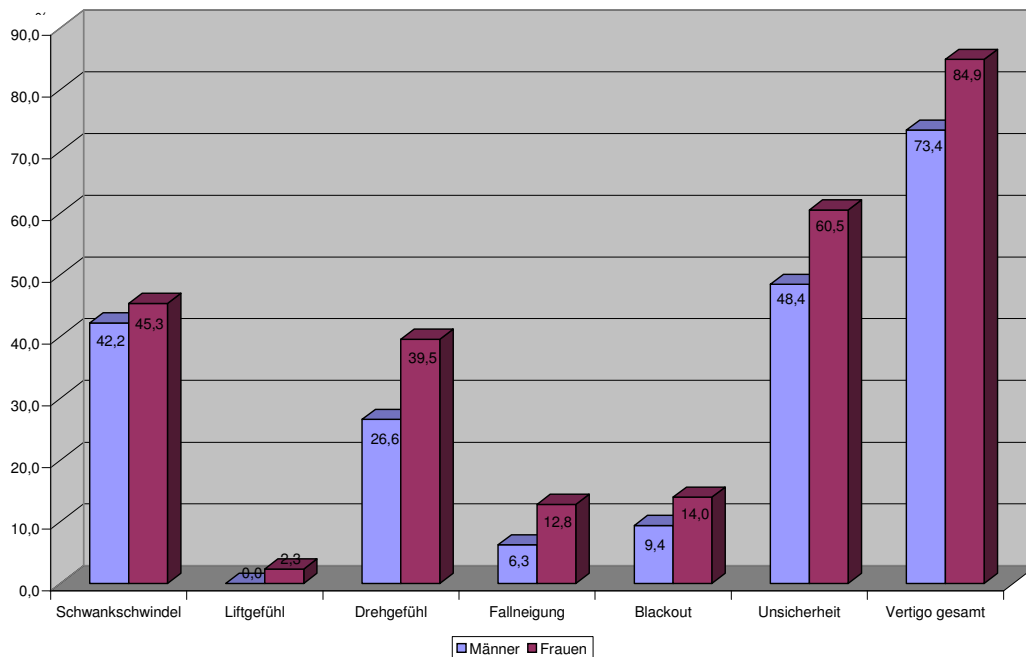


Abb. 13: Häufigkeit von Vertigosymptomen bei Frauen (n = 86) und Männern (n = 64) in Prozentangaben

Vertigosymptome traten bei den Frauen mit 84,9 % um 11,5 % häufiger auf als bei den Männern. So verhält es sich bei allen erfragten Schwindelsymptomen. Die häufigsten Schwindelsymptome sind Unsicherheit (Frauen 60,5 %, Männer 48,4 %), Schwankschwindel (Frauen 45,3 %, Männer 42,2 %) und Drehgefühl (Frauen 39,5 %, Männer 26,6 %).

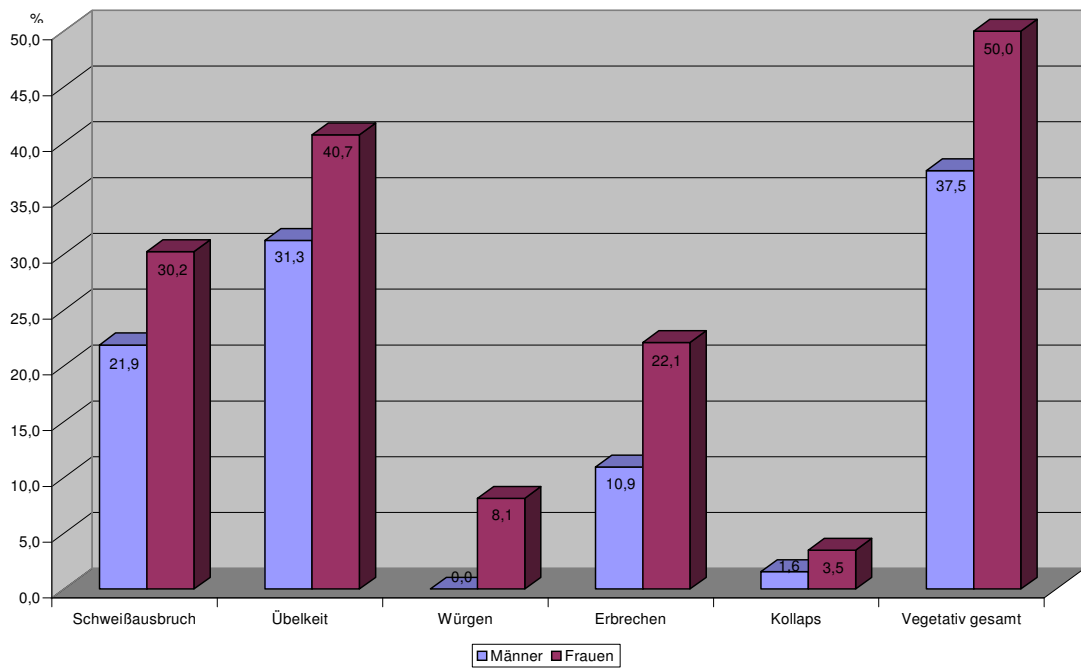


Abb. 14: Häufigkeit von vegetativen Symptomen bei Frauen (n = 86) und Männern (n = 69)

Auch bei den vegetativen Symptomen liegen die Frauen mit 50,0 % um 11,5 % über den Angaben der Männer. Frauen sind bei allen hier erfragten Symptomen stärker betroffen. Unter Schweißausbruch leiden 8,3 %, unter Übelkeit 9,4 %, unter Würgereiz 8,1 %, unter Erbrechen 11,2 % und unter Kollaps 1,9 % mehr Frauen als Männer.

3.2.3 Teilkollektiv von Patienten mit zentraler, peripherer und kombinierter Störung

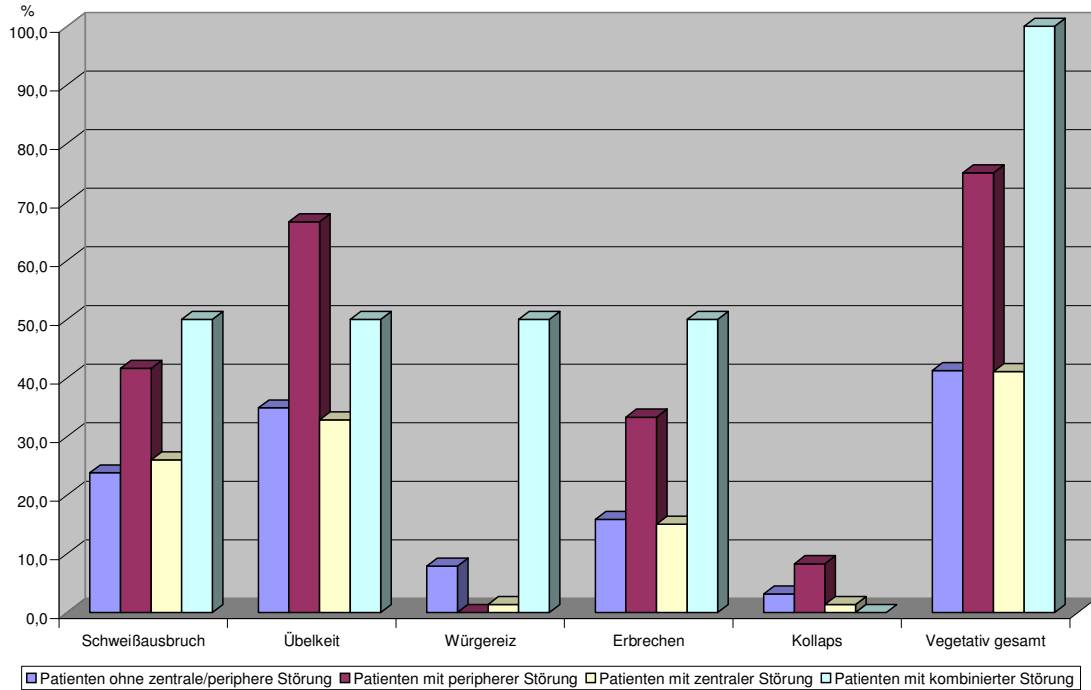


Abb. 15: Vegetative Symptome bei Patienten mit zentraler, peripherer und kombinierter Störung

Vegetative Symptome kamen in allen Teilkollektiven vor. Bei Patienten ohne zentrale oder periphere Störung zu 41,3 %, bei Patienten mit peripherer Störung zu 75,0 %, bei Patienten mit zentraler Störung zu 41,1 % und bei Patienten mit kombinierter Störung zu 100 %. Vermehrt litten also Patienten mit peripherer oder kombinierter Störung an vegetativen Symptomen. Es ist zu vermerken, dass nur zwei der 150 Patienten eine kombinierte Störung aufwiesen, der 100 %-Anteil an vegetativen Symptomen ist also nicht repräsentativ.

3.3 Statistik der manuell und automatisch ausgewerteten Nystagmogramme

Für das im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Patientenkollektiv wurde bei der kalorischen Prüfung sowohl eine manuelle als auch eine automatische Nystagmusanalyse durchgeführt. Um die Zuverlässigkeit der Nystagmusschlag-erkennung und der Analyse durch das Computerprogramm des Elektronystagmographen der Firma Hortmann zu überprüfen, wurden die Ergebnisse der automatischen und manuellen Frequenzanalyse miteinander verglichen. Mit dem Statistikprogramm STAT-VIEW 5.0 wurde eine Korrelationsstatistik erstellt.

3.3.1 Manuelle Nystagmusanalyse

Ausgehend von der Definition des Nystagmusschlags nach CLAUSSEN als Wechsel einer langsamen und einer schnellen Nystagmusphase mit einer Amplitude des einzelnen Nystagmusschlags von mehr als 20 μ V, ergeben sich für die manuelle Nystagmusfrequenzanalyse folgende Werte für den Kulminationsbereich (30 s):

| Nystagmusfrequenz | n | Mittelwert | St.-Dev. | x + s | x - s | Max. | Min. |
|-------------------|-----|------------|----------|-------|-------|-------|------|
| manuell Re 44° C | 150 | 55,3 | 16,6 | 71,9 | 38,7 | 108,0 | 13,0 |
| manuell Li 44° C | 150 | 51,6 | 15,5 | 67,1 | 36,1 | 91,0 | 19,0 |
| manuell Re 30° C | 150 | 50,2 | 13,8 | 64,0 | 36,4 | 88,0 | 17,0 |
| manuell Li 30° C | 150 | 53,1 | 14,3 | 67,4 | 38,8 | 93,0 | 17,0 |

Zeichenerklärung:

n: Summe der ausgewerteten Kurven

x: Mittelwert

Min.: kleinster Wert

Max.: größter Wert

s: Standardabweichung

3.3.2 Automatische Nystagmusanalyse durch den Computer

Nach den beschriebenen Kriterien des Computerprogramms ergaben sich für die zentrale Nystagmusfrequenz für die postkalorischen Nystagmus signale folgende Messergebnisse:

| Nystagmusfrequenz | n | Mittelwert | St.-Dev. | x + s | x - s | Max. | Min. |
|-------------------|-----|------------|----------|-------|-------|------|------|
| autom. Re 44° C | 150 | 52,6 | 16,1 | 68,7 | 36,5 | 96,0 | 13,0 |
| autom. Li 44° C | 150 | 50,1 | 16,0 | 66,1 | 34,1 | 93,0 | 15,0 |
| autom. Re 30° C | 150 | 48,5 | 15,4 | 63,9 | 33,1 | 90,0 | 11,0 |
| autom. Li 30° C | 150 | 50,5 | 14,4 | 64,9 | 36,1 | 85,0 | 13,0 |

3.3.3 Statistischer Vergleich der manuellen und automatischen Nystagmusauswertung

Um den Grad des Zusammenhangs der Daten zu beschreiben, wurde jeweils der Korrelationskoeffizient „R“ nach Pearson errechnet.

Bei dem Korrelationskoeffizienten „R“ handelt es sich um eine dimensionslose Größe (Skalar). Seine Werte liegen im Bereich von +1 bis -1. Bei R = 0 besteht zwischen den beiden miteinander verglichenen Variablen kein statistischer Zusammenhang, R = +1 besagt einen positiven, streng linearen Zusammenhang und bei R = -1 besteht ein ausgeprägtes Gegensatzverhältnis.

Der Determinationskoeffizient R² gibt an, in welchem Ausmaß die Varianz der einen Variablen durch die Varianz der anderen Variablen bestimmt wird.

Zur statistischen Absicherung wurde durch den Computer jeweils der p-Wert bei einer angenommenen Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ errechnet.

Im Folgenden sind nun alle mit dem Statistikprogramm STAT-VIEW 5.0 errechneten Ergebnisse mit den zugehörigen Regressionsgeraden für die manuell und automatisch ermittelten Frequenzen bei den vier Spülungen der kalorischen Prüfung dargestellt:

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,926 | 0,858 | < 0,0001 |

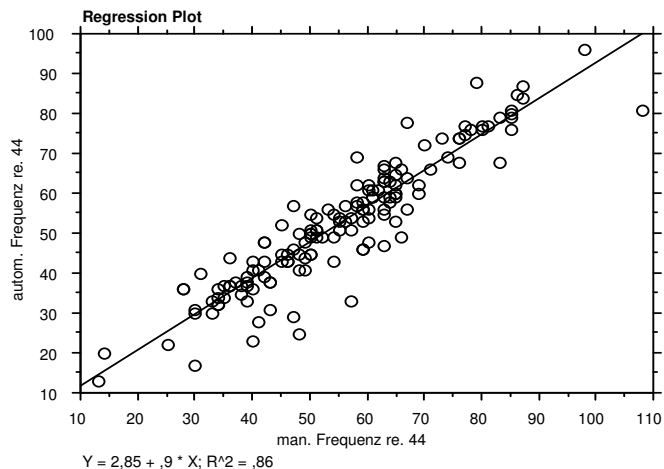


Abb. 16: Regressionsgerade der automatisch und manuell ermittelten Frequenz für 44° C rechts

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,913 | 0,833 | < 0,0001 |

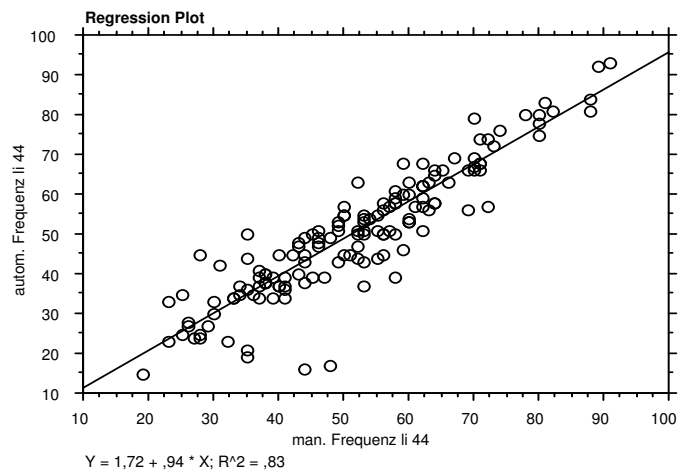


Abb. 17: Regressionsgerade der automatisch und manuell ermittelten Frequenz für 44° C links

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,839 | 0,705 | < 0,0001 |

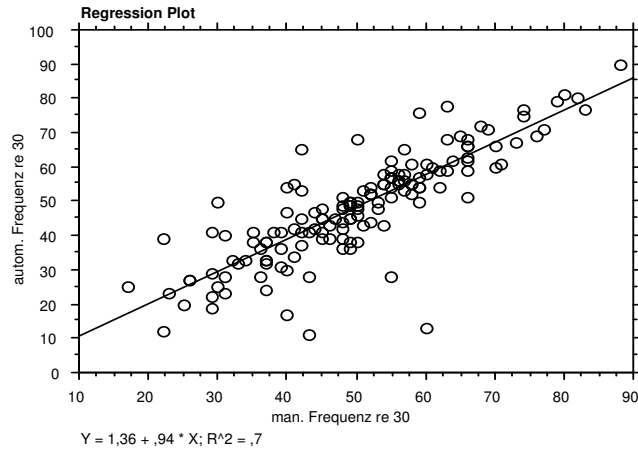


Abb. 18: Regressionsgerade der automatisch und manuell ermittelten Frequenz für 30° C rechts

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,887 | 0,786 | < 0,0001 |

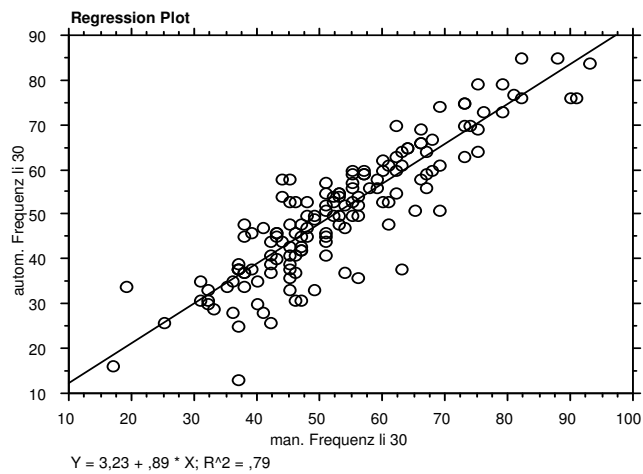


Abb. 19: Regressionsgerade der automatisch und manuell ermittelten Frequenz für 30° C links

Beim Vergleich der automatisch und manuell ermittelten Frequenzen beträgt die Korrelation für 44° C rechts 0,926, für 44° C links 0,913, für 30° C rechts 0,839 und für 30° C links 0,887. Dies zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen den manuell und automatisch ermittelten Daten. Da in den Patientenakten die bei der manuellen Analyse ermittelten Kulminationsintervalle nicht festgehalten wurden, konnten diese nicht mit den computerermittelten Intervallen auf Übereinstimmung überprüft werden. Einige geringe Abweichungen bei der Frequenzanalyse erklären sich vielleicht aus Differenzen der Kulminationsintervalle.

Das Programm errechnete für alle Tests p-Werte < 0,0001. Die Ergebnisse sind folglich hochsignifikant und die gute Übereinstimmung der automatisch und manuell ermittelten Frequenzen kann somit als statistisch gesichert betrachtet werden.

3.4 Beziehungen der Nystagmusparameter

Zur Auswertung der kalorischen Nystagmusreaktion wurden die Frequenz (Schläge pro 30 s), die Geschwindigkeit der langsamen Phase (Slow Phase Velocity in Grad pro Sekunde, SPV) und die Gesamtamplitude (in Grad) ermittelt. Für die einzelnen kalorischen Prüfungen ergaben sich für diese Parameter folgende Mittelwerte und Standardabweichungen:

| Variable | Re 30° C | Re 44° C | Li 30° C | Li 44° C |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| SPV | 11,2 ± 5,9 | 13,6 ± 8,7 | 12,7 ± 5,9 | 11,1 ± 5,5 |
| Frequenz | 48,5 ± 15,4 | 52,6 ± 16,1 | 50,5 ± 14,4 | 50,1 ± 16,0 |
| Gesamtamplitude | 607,8 ± 397,8 | 673,0 ± 376,9 | 684,1 ± 373,6 | 590,2 ± 338,3 |

Um den Zusammenhang der einzelnen Parameter untereinander zu erfassen, wurde auch hier eine Korrelationsstatistik mit dem Statistikprogramm Stat-View 5.0 erstellt. Im Folgenden sind die Regressionsgeraden mit dazugehörigem Korrelationskoeffizienten (R), Determinationskoeffizienten (R²) und p-Wert dargestellt.

Vergleich von Frequenz und SPV:

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,573 | 0,328 | < 0,0001 |

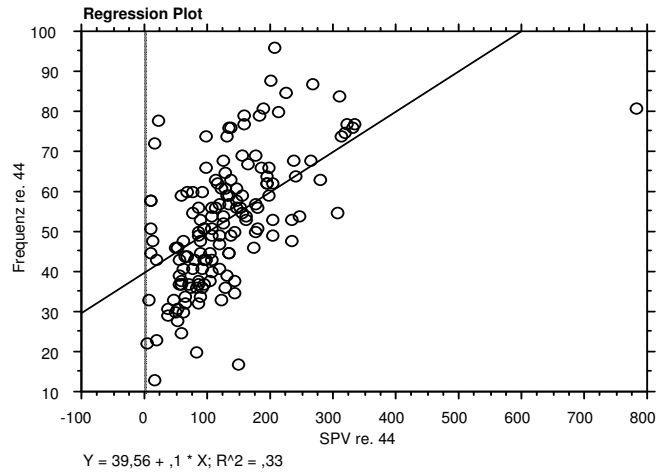


Abb. 20: Regressionsgerade und Korrelation für Frequenz und SPV bei 44° C rechts

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,603 | 0,364 | < 0,0001 |

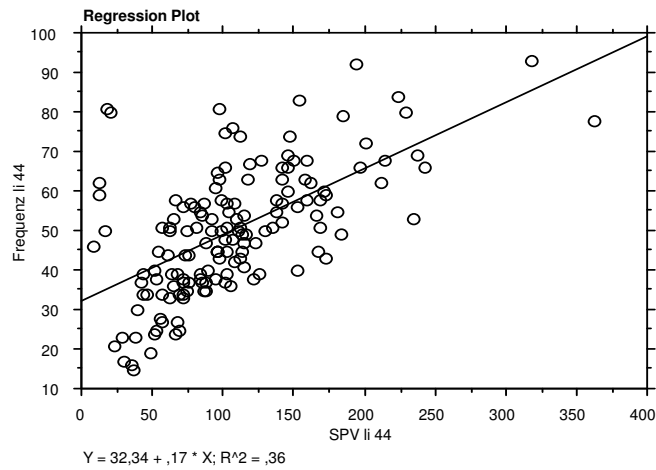


Abb. 21: Regressionsgerade und Korrelation für Frequenz und SPV bei 44° C links

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,522 | 0,272 | < 0,0001 |

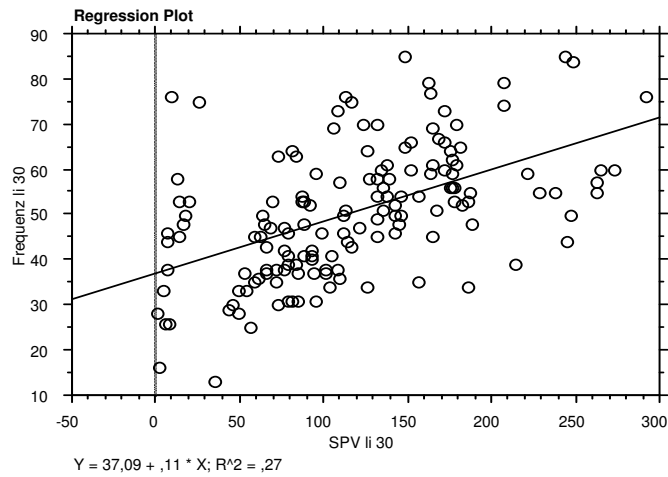


Abb. 22: Regressionsgerade und Korrelation für Frequenz und SPV bei 30° C links

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,583 | 0,340 | < 0,0001 |

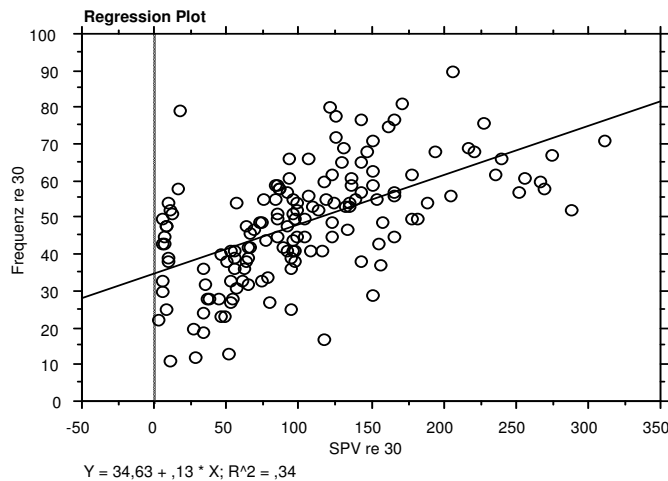


Abb. 23: Regressionsgerade und Korrelation für Frequenz und SPV bei 30° C rechts

Vergleich von Frequenz und Gesamtamplitude:

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,529 | 0,280 | < 0,0001 |

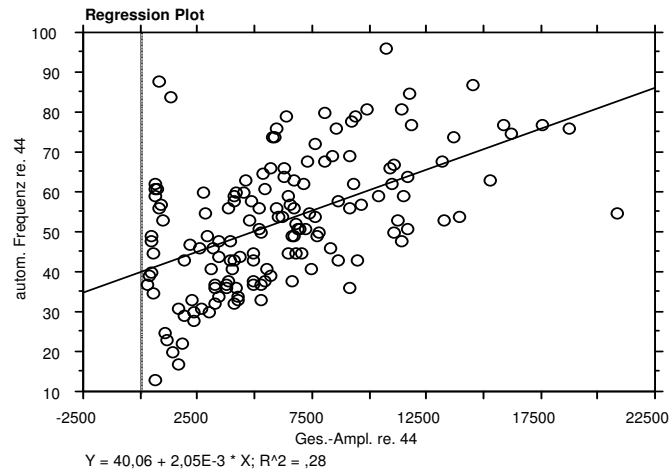


Abb. 24: Regressionsgerade und Korrelation für Frequenz und Gesamtamplitude bei 44° C rechts

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,522 | 0,273 | < 0,0001 |

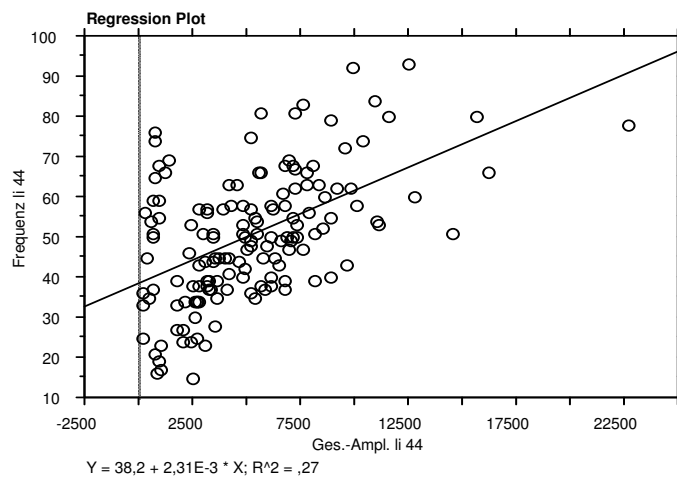


Abb. 25: Regressionsgerade und Korrelation für Frequenz und Gesamtamplitude bei 44° C links

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,580 | 0,336 | < 0,0001 |

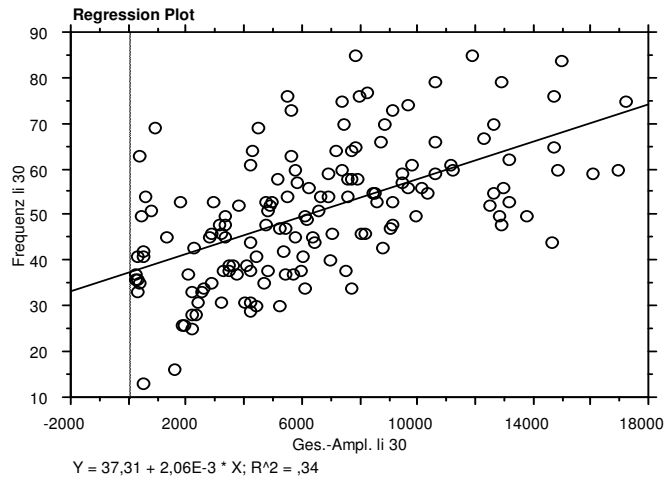


Abb. 26: Regressionsgerade und Korrelation für Frequenz und Gesamtamplitude bei 30° C links

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,453 | 0,206 | < 0,0001 |

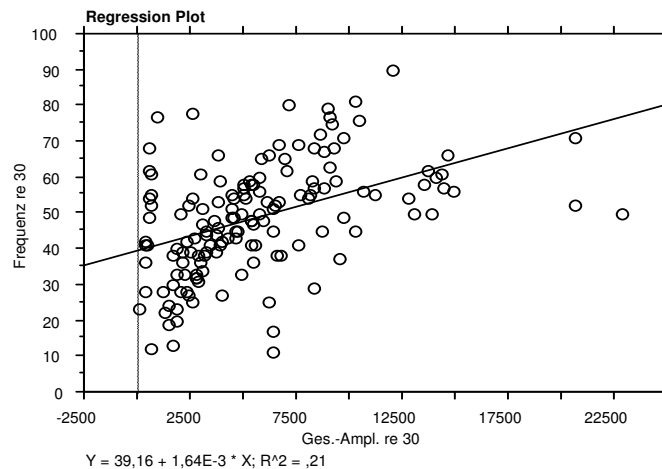


Abb. 27: Regressionsgerade und Korrelation für Frequenz und Gesamtamplitude bei 30° C rechts

Vergleich von SPV und Gesamtamplitude:

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,641 | 0,410 | < 0,0001 |

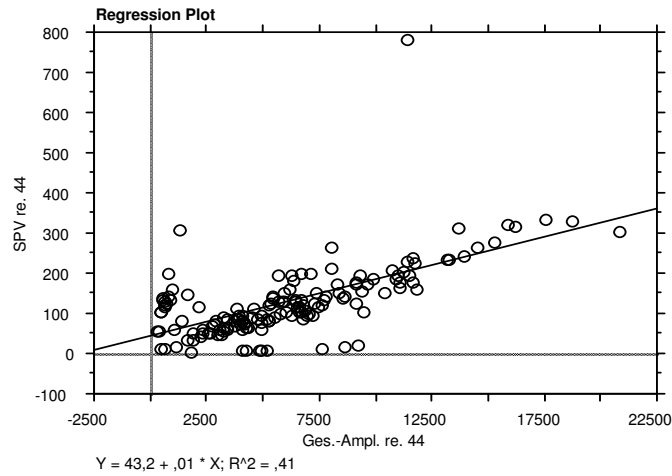


Abb. 28: Regressionsgerade und Korrelation für SPV und Gesamtamplitude bei 44° C rechts

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,620 | 0,384 | < 0,0001 |

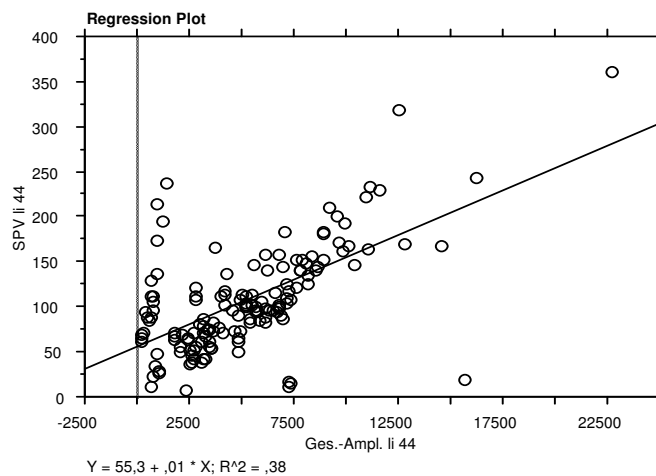


Abb. 29: Regressionsgerade und Korrelation für SPV und Gesamtamplitude bei 44° C links

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,722 | 0,521 | < 0,0001 |

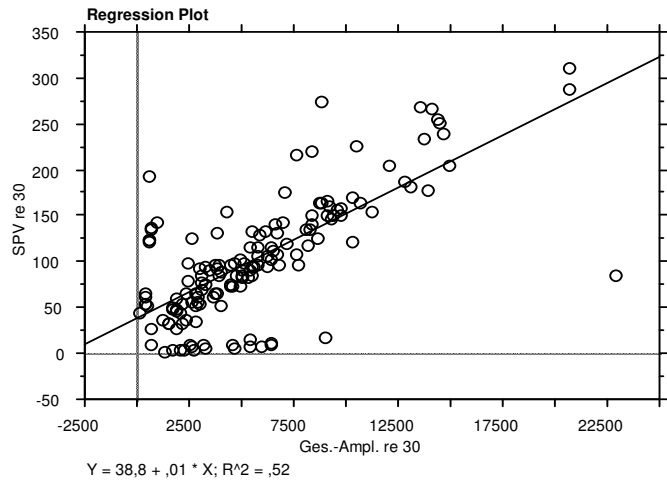


Abb. 30: Regressionsgerade und Korrelation für SPV und Gesamtamplitude bei 30° C rechts

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,666 | 0,444 | < 0,0001 |

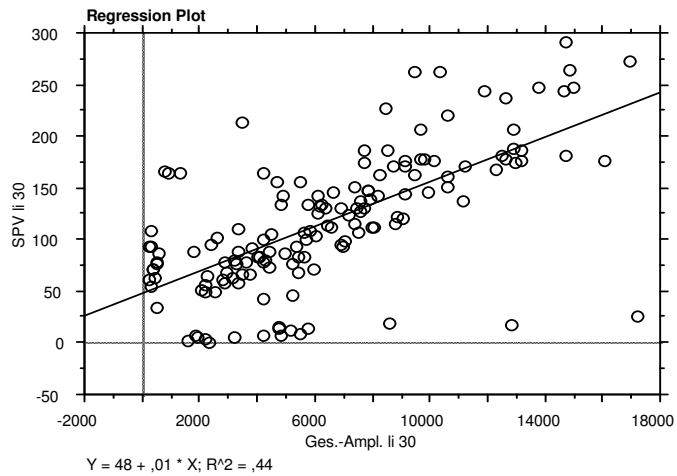


Abb. 31: Regressionsgerade und Korrelation für SPV und Gesamtamplitude bei 30° C links

Für den Vergleich von SPV und Frequenz betragen die Korrelationskoeffizienten 0,573 (44° C rechts), 0,603 (44° C links), 0,522 (30° C links) und 0,583 (30° C rechts).

Der Vergleich von Frequenz und Gesamtamplitude ergab bei 44° C rechts eine Korrelation von 0,529, bei 44° C links eine Korrelation von 0,522, bei 30° C links eine Korrelation von 0,580 und bei 30° C rechts eine Korrelation von 0,453.

Die Winkelgeschwindigkeit und Gesamtamplitude korrelierten bei 44° C rechts mit einem Koeffizienten von 0,641, bei 44° C links mit einem Koeffizienten von 0,620, bei 30° C rechts mit einem Koeffizienten von 0,722 und bei 30° C links mit einem Koeffizienten von 0,666.

Für alle Ergebnisse errechnete der Computer p-Werte $< 0,0001$; zwischen den untersuchten Parametern bestehen somit signifikante Zusammenhänge. Allerdings liegen die Koeffizienten lediglich im mittel hohen Bereich; auch ist der Zusammenhang für die einzelnen Parameter unterschiedlich stark ausgeprägt.

Die stärkste Korrelation scheint mit einem mittleren Koeffizienten der vier kalorischen Prüfungen von 0,662 zwischen der SPV und der Gesamtamplitude, gefolgt von der Frequenz und der SPV mit einem mittleren Koeffizienten von 0,570 und der Frequenz und der Amplitude mit einem mittleren Koeffizienten von 0,521, zu bestehen.

3.5 Berechnung von Nystagmusrichtungsüberwiegen und Seitendifferenz des vestibulären Systems

Für die vom Computer im kalorischen Test ermittelten Werte der Frequenz, der Geschwindigkeit der langsamen Phase und der Gesamtamplitude wurden jeweils Berechnungen des Nystagmus-Richtungsüberwiegens (Directional Preponderance, DP) und der Seitendifferenz (Unilateral Weakness, UW) mittels der klassischen JONGKEES-Formeln durchgeführt [7, 15, 20, 34, 35].

JONGKEES-Formeln für die Berechnung von Unilateral Weakness (UW) und Directional Preponderance (DP):

$$UW (\%) = \frac{(R 30^\circ C + R 44^\circ C) - (L 30^\circ C + L 44^\circ C)}{R 30^\circ C + R 44^\circ C + L 30^\circ C + L 44^\circ C} \times 100$$

$$DP (\%) = \frac{(R 30^\circ C + L 44^\circ C) - (R 44^\circ C + L 30^\circ C)}{R 30^\circ C + L 44^\circ C + R 44^\circ C + L 30^\circ C} \times 100$$

Zum Vergleich der Ergebnisse der Berechnungen für jeden der drei Parameter wurde wiederum eine Korrelationsstatistik erstellt. Im Folgenden sind die Regressionsgeraden mit dazugehörigem Korrelationskoeffizienten, Determinationskoeffizienten und p-Wert für den Vergleich von SPV, Frequenz und Gesamtamplitude, jeweils bezüglich der Ergebnisse der Berechnung von Directional Preponderance und Unilateral Weakness, dargestellt:

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,694 | 0,482 | < 0,0001 |

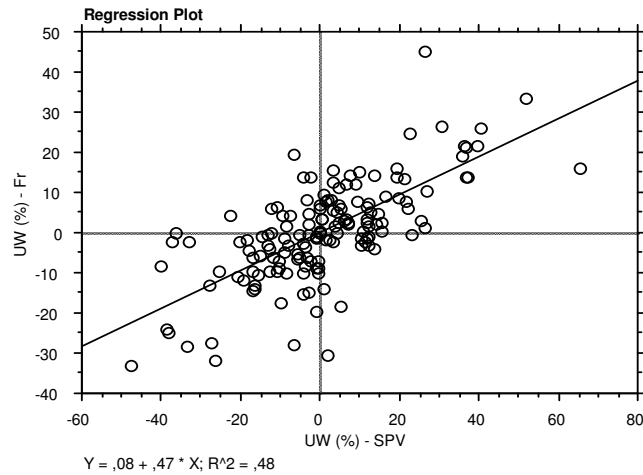


Abb. 32: Regression und Korrelation von Frequenz und SPV für Unilateral Weakness

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,723 | 0,522 | < 0,0001 |

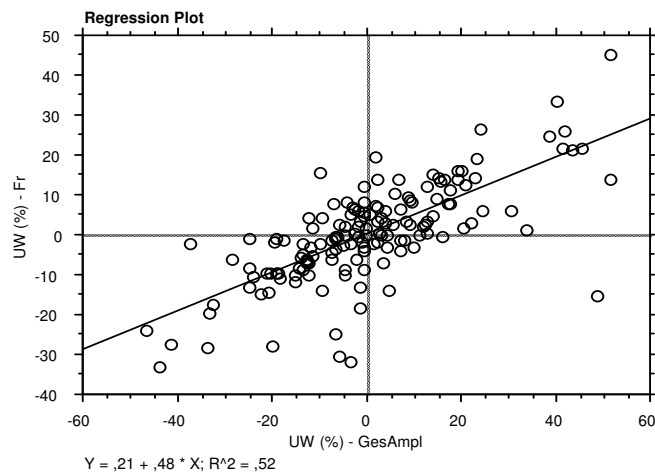


Abb. 33: Regression und Korrelation von Frequenz und Gesamtamplitude für Unilateral Weakness

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,759 | 0,577 | < 0,0001 |

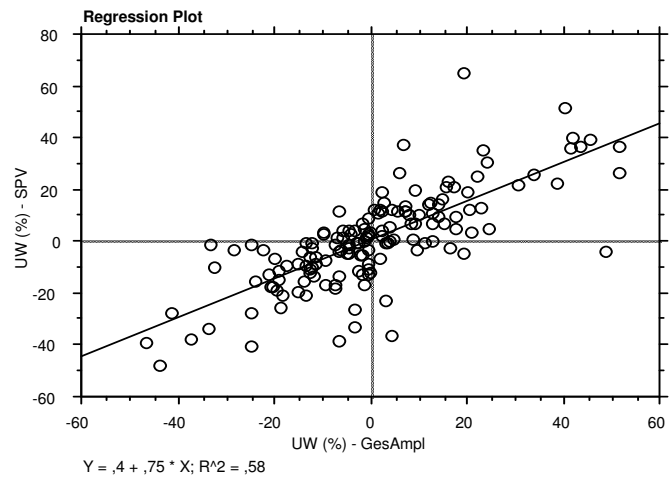


Abb. 34: Regression und Korrelation von SPV und Gesamtamplitude für Unilateral Weakness

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,599 | 0,359 | < 0,0001 |

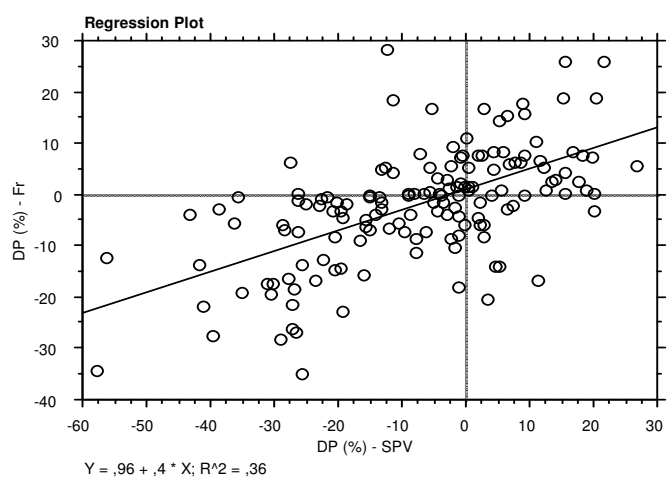


Abb. 35: Regression und Korrelation von Frequenz und SPV für Directional Preponderance

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,621 | 0,386 | < 0,0001 |

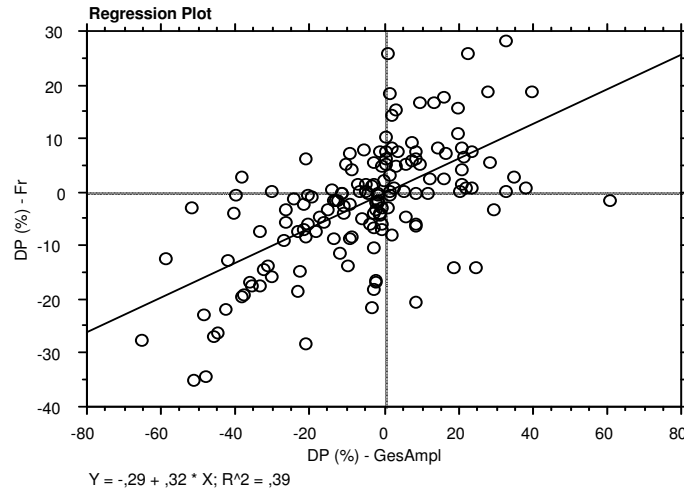


Abb. 36: Regression und Korrelation von Frequenz und Gesamtamplitude für Directional Preponderance

| Count | R | R ² | p-Value |
|-------|-------|----------------|----------|
| 150 | 0,779 | 0,607 | < 0,0001 |

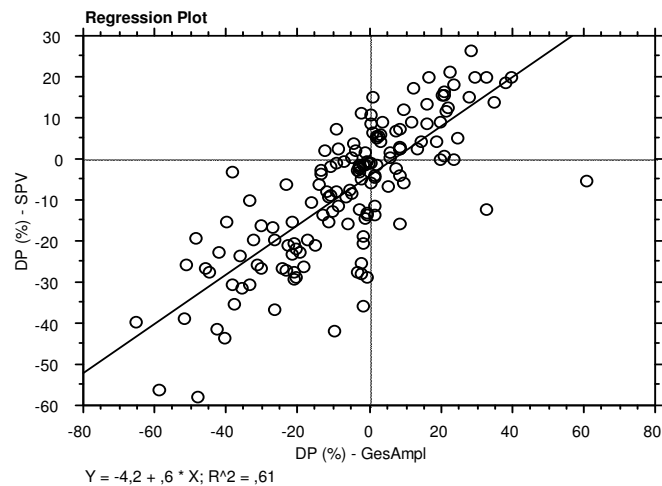


Abb. 37: Regression und Korrelation von SPV und Gesamtamplitude für Directional Preponderance

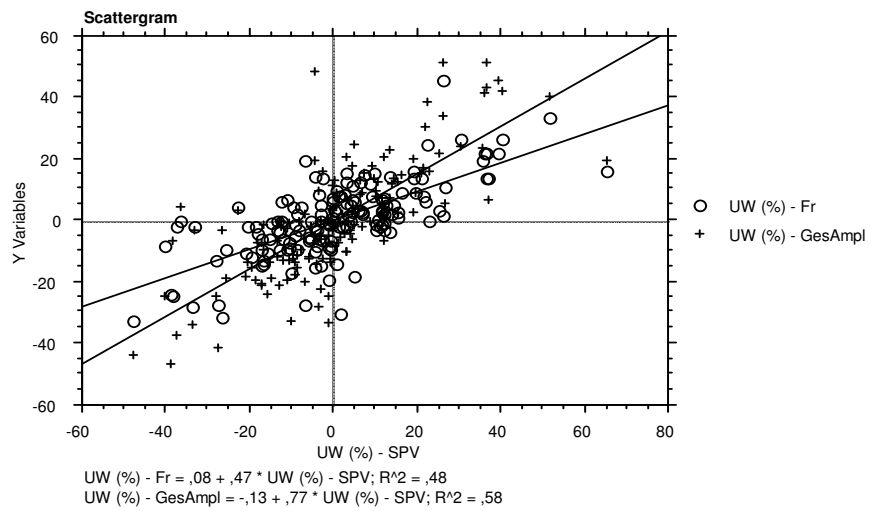


Abb. 38: Diagramm mit den drei Parametern SPV, Frequenz und Gesamtamplitude für Unilateral Weakness

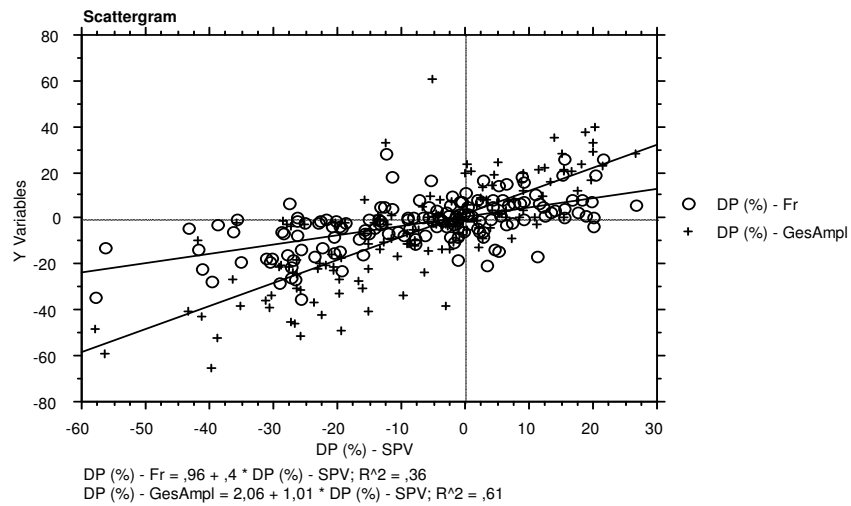


Abb. 39: Diagramm mit den drei Parametern SPV, Frequenz und Gesamtamplitude für Directional Preponderance

Für die Seitendifferenz (Unilateral Weakness) betragen die Korrelationskoeffizienten für den Vergleich von Frequenz und SPV 0,694, für den Vergleich von Frequenz und Gesamtamplitude 0,723 und für den Vergleich von SPV und Gesamtamplitude 0,759. Es besteht also ein deutlicher Zusammenhang zwischen den einzelnen Parametern, auch wenn in allen Diagrammen einzelne Werte von der Regressionsgeraden abweichen. Am stärksten scheinen in unserem Patientenkollektiv auch hier wieder die SPV und Gesamtamplitude zu korrelieren.

Bei der Berechnung des Nystagmusrichtungsüberwiegens (Directional Preponderance) fallen die Beziehungen zwischen den einzelnen Parametern etwas schwächer aus. Die Korrelation beträgt für den Vergleich von Frequenz und SPV 0,599, für den Vergleich von Frequenz und Gesamtamplitude 0,621 und für den Vergleich von SPV und Gesamtamplitude 0,779. Der stärkste Zusammenhang scheint auch hier zwischen SPV und der Gesamtamplitude zu bestehen.

Die Abbildungen 38 und 39 zeigen den Zusammenhang zwischen den drei Parametern für Seitendifferenz und Nystagmusrichtungsüberwiegen jeweils in einem Diagramm.

3.6 Kasuistische Ergebnisse

3.6.1 Fall 1: Patientin mit guter Übereinstimmung zwischen manueller und automatischer Nystagmusauswertung

Name: O.M.

Geschlecht: w

Größe: 156 cm

Beruf: Hausfrau

Alter: 46 Jahre

Gewicht: 52 kg

Beschwerden:

Die Patientin leidet seit Wochen unter unklaren lang dauernden Schwindelbeschwerden mit rechtsseitiger Hörminderung. Dabei handelt es sich um Schwankschwindel und Unsicherheit, verbunden mit Übelkeit.

Eine Sehstörung liegt in Form von Unschärfe vor.

Vor 15 Jahren erlitt die Patientin eine Trommelfellruptur des linken Ohres.

Ergebnisse der neurootologischen Untersuchungen:

Bei der Untersuchung zeigte sich ein deutlich rechtsschlägiger Spontannystagmus.

Die kalorische und rotatorische Erregbarkeit der vestibulären Funktion war normal.

Der optokinetische Afternystagmus war jeweils in Drehrichtung stark enthemmt.

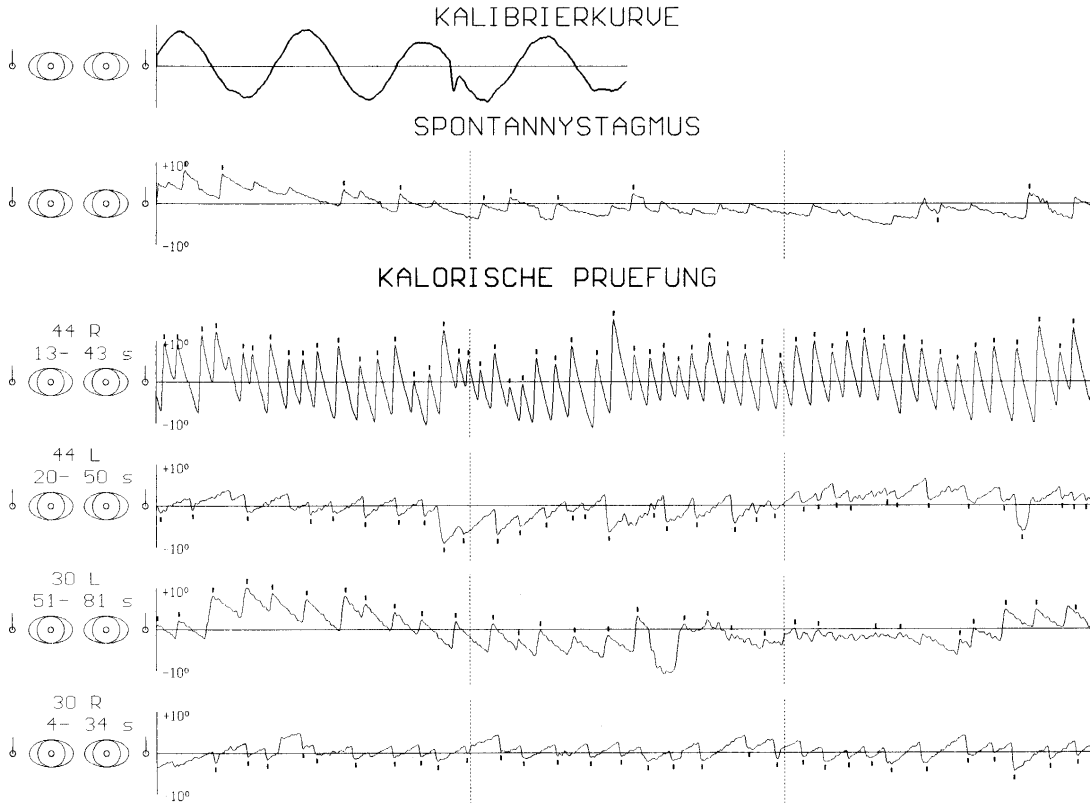
Die vestibulo-spinale Gleichgewichtsregulation ist normal.

Diagnose:

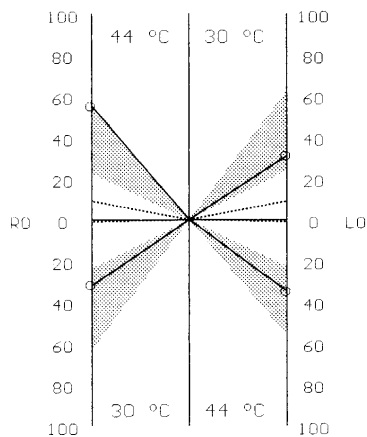
Zentrale Gleichgewichtsstörung und zentrales Hemmungsdefizit.

Manuell ermittelte Frequenzen für den kalorischen Test:

| Stimulus | Frequenz (N/30s) |
|--------------|------------------|
| 44° C rechts | 54 |
| 44° C links | 36 |
| 30° C links | 32 |
| 30° C rechts | 33 |



FREQUENZ-KALORIGRAMM nach CLAUSSEN



Kalorischer Nystagmus

| Stim | Freq [N/30s] | Kulm * [s] | Ampl [pU] |
|------|---|------------|-----------|
| R 44 | 55 | 13- 43 | 311.9 |
| L 44 | 35 | 20- 50 | 88.7 |
| L 30 | 31 | 51- 81 | 111.0 |
| R 30 | 32 | 4- 34 | 79.5 |
| Sp R | 9 | | |
| Sp L | 1 | | |
| EB | r+ 87 | lt 66 | |
| ED | $\frac{<RW+RK> - <LW+LK>}{<RW+RK+LW+LK>}$ | | 13.7 |
| RÜ | $\frac{<RW+LK> - <LW+RK>}{<RW+RK+LW+LK>}$ | | 12.4 |

* Plus Dauer der Spülung

3.6.2 Fall 2: Patientin mit guter Übereinstimmung zwischen manueller und automatischer Nystagmusauswertung

Name: N.I.

Geschlecht: w

Größe: 175 cm

Beruf: Lehrerin

Alter: 45 Jahre

Gewicht: 65 kg

Beschwerden:

Die Patientin erlitt vor ca. einem Monat einen Hörsturz. Sie leidet unter Tinnitus links sowie einer Hörminderung beidseits. Anamnestisch ist weiterhin ein Hypotonus zu verzeichnen. Die weitere Anamnese ist unauffällig.

Ergebnisse der neurootologischen Untersuchungen:

Es zeigte sich ein überwiegend rechtsschlägiger Spontannystagmus, eine kalorische Warmenthemmung links, vestibuläres Recruitment im VRRSV links und ein leicht enthemmter optokinetischer Afternystagmus, jeweils in Drehrichtung.

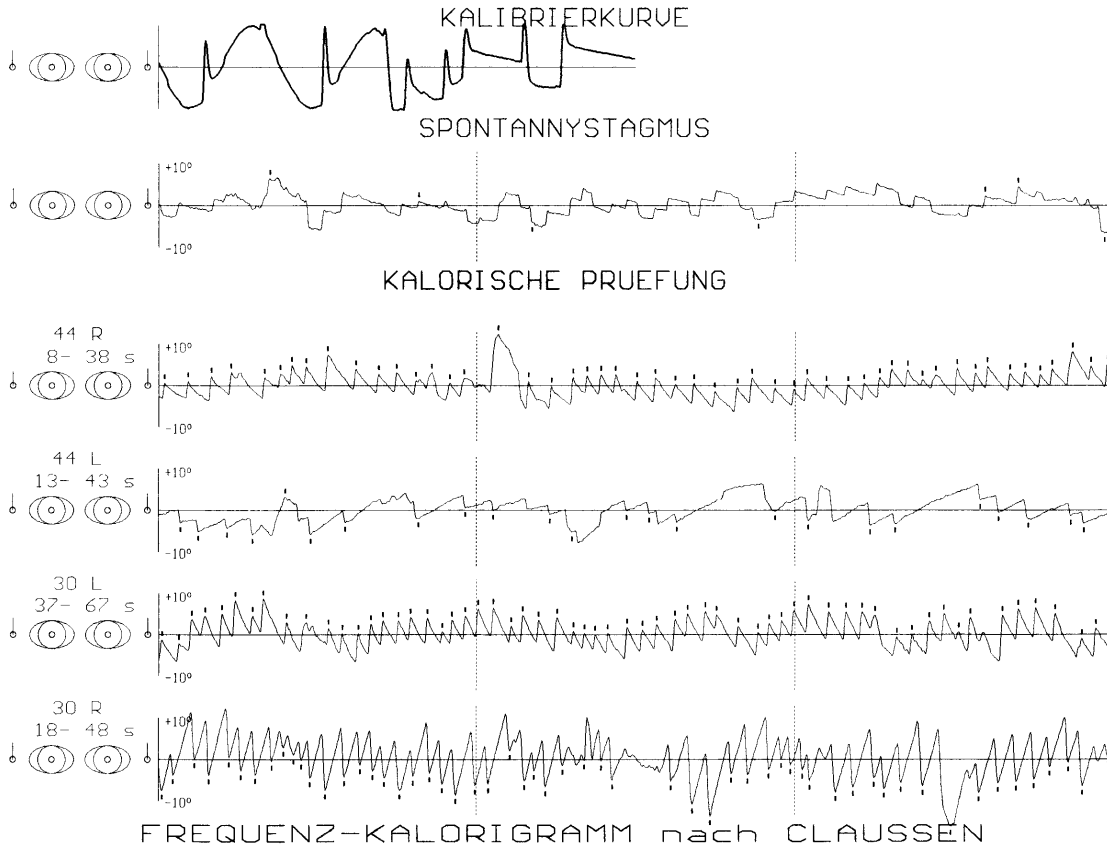
Im Tret-CCG zeigt sich eine starke Linksabweichung.

Diagnose:

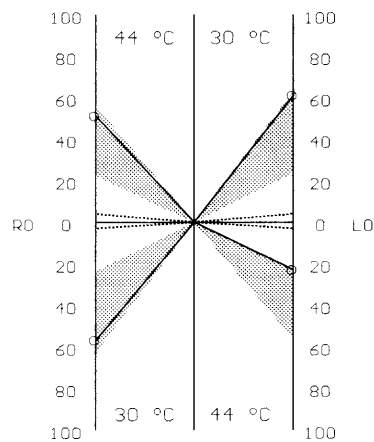
Überwiegend periphere Gleichgewichtsstörung links.

Manuell ermittelte Frequenzen für den kalorischen Test:

| Stimulus | Frequenz (N/30s) |
|--------------|------------------|
| 44° C rechts | 51 |
| 44° C links | 23 |
| 30° C links | 61 |
| 30° C rechts | 59 |



FREQUENZ-KALORIGRAMM nach CLAUSSEN



Kalorischer Nystagmus

| Stim | Freq [N/30s] | Kulm * [s] | Ampl [µU] |
|------|---|------------|-----------|
| R 44 | 51 | 8- 38 | 117.6 |
| L 44 | 23 | 13- 43 | 89.0 |
| L 30 | 61 | 37- 67 | 144.1 |
| R 30 | 57 | 18- 48 | 239.7 |
| Sp R | 4 | | |
| Sp L | 3 | | |
| EB | re 108 | ii 84 | |
| ED | $\frac{(RW+RK) - (LW+LK)}{(RW+RK+LW+LK)}$ | | 12.5 |
| RÜ | $\frac{(RW+LK) - (LW+RK)}{(RW+RK+LW+LK)}$ | | 16.7 |

* Plus Dauer der Spülung

3.6.3 Fall 3: Patient mit geringer Übereinstimmung zwischen manueller und automatischer Nystagmusauswertung

Name: H.R.

Geschlecht: m

Größe: 177 cm

Beruf: Beamter

Alter: 46 Jahre

Gewicht: 84 kg

Beschwerden:

Der Patient klagt seit 3 Monaten über Unsicherheit in Verbindung mit Übelkeit und Schweißausbrüchen. Die Beschwerden sind an- und abschwellend. Der Patient erlitt vor 30 Jahren eine Commotio cerebri. Die weitere Anamnese ist unauffällig.

Ergebnisse der neurootologischen Untersuchungen:

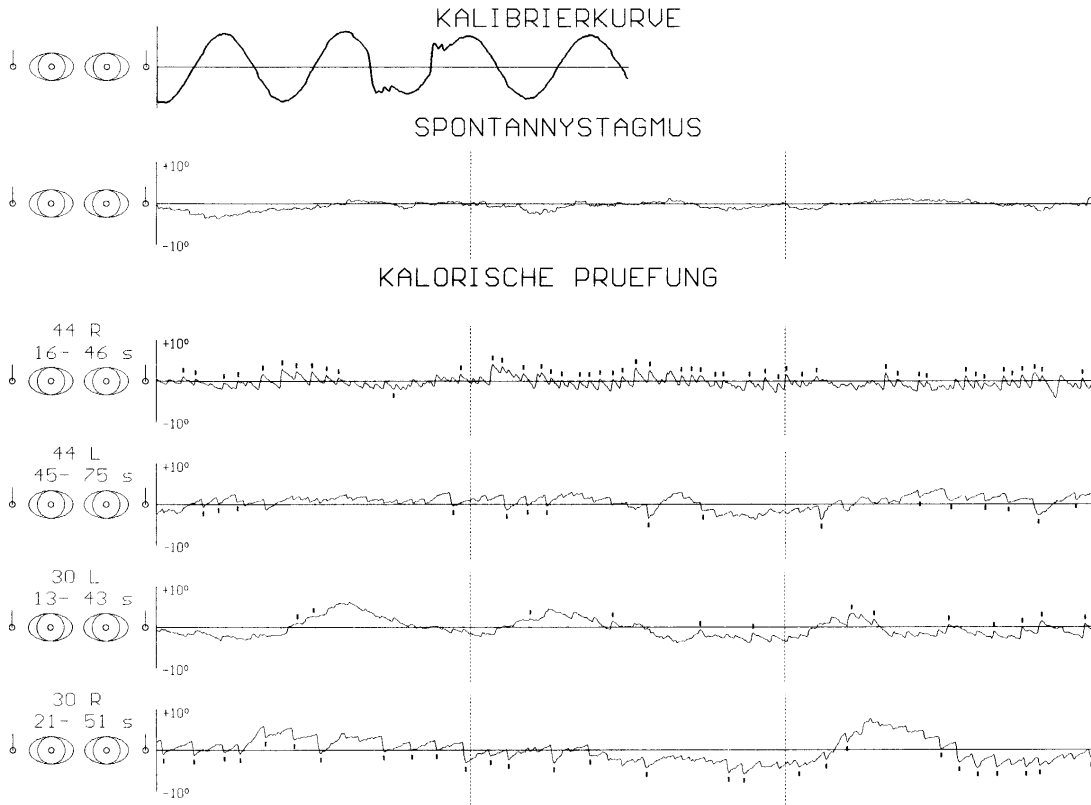
Es zeigte sich ein Blickrichtungsnystagmus bei Blick nach links, eine kalorische Warmenthemmung rechts, ein enthemmter Perrotatorius bei Rechts- und Linksdrehung sowie ein leicht enthemmter optokinetischer Afternystagmus. Die Lateralschwankungsbreite im Tret-CCG lag über den Normwerten.

Diagnose:

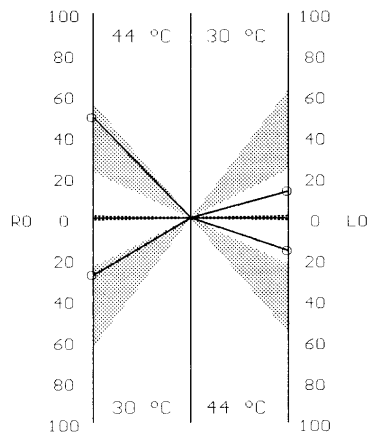
Zentrale Gleichgewichtsfunktionsstörung und zentrales Hemmungsdefizit.

Manuell ermittelte Frequenzen für den kalorischen Test:

| Stimulus | Frequenz (N/30s) |
|--------------|------------------|
| 44° C rechts | 66 |
| 44° C links | 44 |
| 30° C links | 37 |
| 30° C rechts | 55 |



FREQUENZ-KALORIGRAMM nach CLAUSSEN



Kalorischer Nystagmus

| Stim | Freq [N/30s] | Kulm * [s] | Ampl [µV] |
|------|---|------------|-----------|
| R 44 | 49 | 16- 46 | 61.2 |
| L 44 | 16 | 45- 75 | 66.2 |
| L 30 | 13 | 13- 43 | 61.9 |
| R 30 | 28 | 21- 51 | 71.4 |
| Sp R | 0 | | |
| Sp L | 0 | | |
| EB | re 77 | li 29 | |
| ED | $\frac{(RW+RK)-(LW+LK)}{(RW+RK+LW+LK)}$ | | 45.3 |
| RÜ | $\frac{(RW+LK)-(LW+RK)}{(RW+RK+LW+LK)}$ | | 17.0 |

* Plus Dauer der Spülung

3.6.4 Fall 4: Patientin mit geringer Übereinstimmung zwischen manueller und automatischer Nystagmusauswertung

Name: K.C.

Geschlecht: w

Größe: 164 cm

Beruf: Hausfrau

Alter : 34

Gewicht: 64 kg

Beschwerden:

Die Patientin erlitt vor einer Woche einen Hörsturz links. Sie leidet unter Tinnitus sowie einer linksseitigen Hörverminderung.

Eine Sehstörung liegt in Form von leichter Unschärfe vor.

Die Patientin leidet unter Hypotonus. Weitere anamnestische Auffälligkeiten lagen nicht vor.

Ergebnisse der neurootologischen Untersuchungen:

Es zeigte sich eine leicht enthemmte per- und postrotatorische Reaktion sowie ein enthemmter optokinetischer Afternystagmus, jeweils in Drehrichtung.

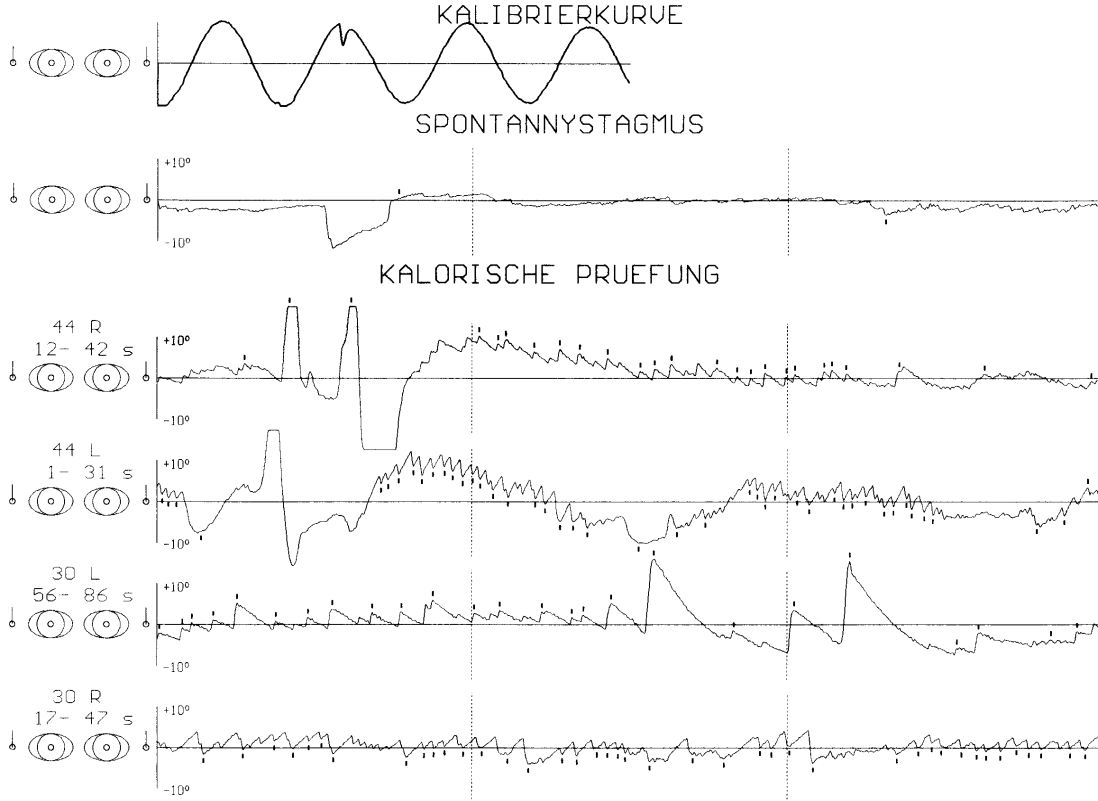
Im Tretversuch zeigte sich eine Rechtsabweichung.

Diagnose:

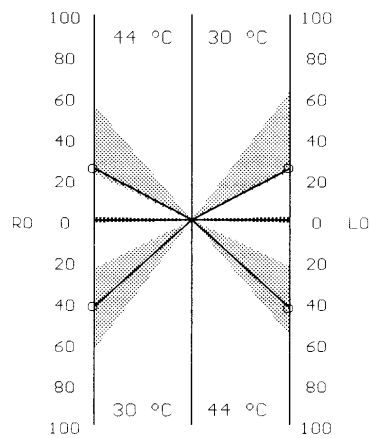
Überwiegend zentrale Gleichgewichtsstörung und zentrales Hemmungsdefizit.

Manuell ermittelte Frequenzen für den kalorischen Test:

| Stimulus | Frequenz (N/30s) |
|--------------|------------------|
| 44° C rechts | 48 |
| 44° C links | 53 |
| 30° C links | 37 |
| 30° C rechts | 48 |



FREQUENZ-KALORIGRAMM nach CLAUSSEN



Kalorischer Nystagmus

| Stim | Freq [N/30s] | Kulm * [s] | Ampl [µV] |
|------|---|------------|-----------|
| R 44 | 25 | 12- 42 | 108.0 |
| L 44 | 43 | 1- 31 | 102.7 |
| L 30 | 25 | 56- 86 | 132.5 |
| R 30 | 42 | 17- 47 | 78.0 |
| Sp R | 1 | | |
| Sp L | 1 | | |
| EB | re 67 | li 68 | |
| ED | $\frac{(RW+RK)-(LW+LK)}{(RW+RK+LW+LK)}$ | | -0.7 |
| RÜ | $\frac{(RW+LK)-(LW+RK)}{(RW+RK+LW+LK)}$ | | -25.9 |

* Plus Dauer der Spülung

3.6.5 Fall 5: Patientin mit guter Übereinstimmung des Frequenz-, SPV- und Amplituden-Kalorigramms

Name: F.L.

Geschlecht: w

Größe: 156 cm

Beruf: Rentnerin

Alter : 67

Gewicht: 75 kg

Beschwerden:

Die Patientin leidet seit Jahren unter Schwankschwindel, vor allem bei schnellen Bewegungen wie Bücken oder Aufstehen kommt es zu Anfällen, welche jeweils einige Sekunden andauern. Sie leidet weiterhin seit ca. einem Jahr unter linksseitigem Tinnitus und Hörverminderung unklarer Genese.

Ergebnisse der neurootologischen Untersuchung:

Es zeigte sich ein deutlich enthemmter kalorischer Nystagmus beidseits. Die per- und postrotatorischen Reaktionen waren normal, der VRRSV ergab ein vestibuläres Decruitment beidseits.

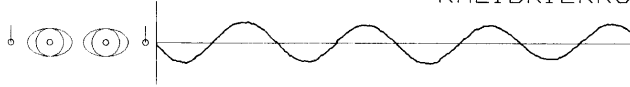
Der optokinetische Afternystagmus war jeweils in Drehrichtung stark enthemmt.

Die vestibulo-spinale Gleichgewichtsreaktion ist normal.

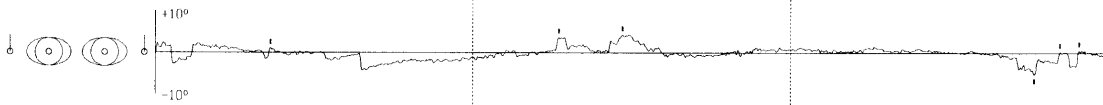
Diagnose:

Zentrale Gleichgewichtsfunktionsstörung und starkes zentrales Hemmungsdefizit.

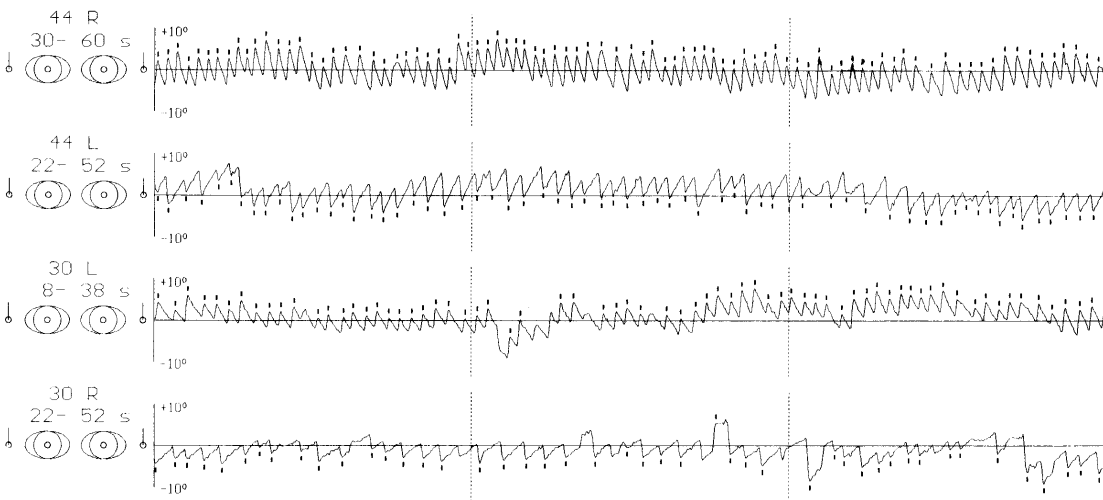
KALIBRIERKURVE



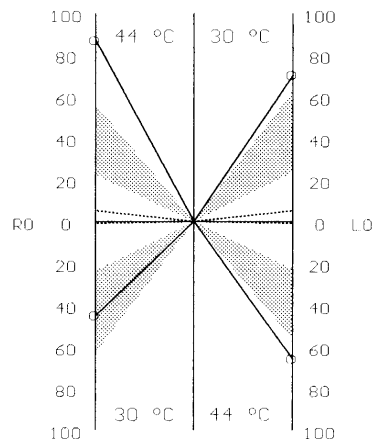
SPONTANNYSTAGMUS



KALORISCHE PRUEFUNG



FREQUENZ-KALORIGRAMM nach CLAUSSEN

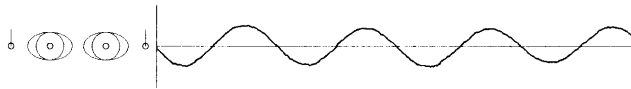


Kalorischer Nystagmus

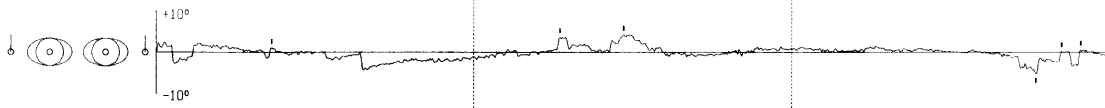
| Stim | Freq [N/30s] | Kulm * [s] | Ampl [µV] |
|------|---|------------|-----------|
| R 44 | 87 | 30- 60 | 86.7 |
| L 44 | 66 | 22- 52 | 67.9 |
| L 30 | 70 | 8- 38 | 55.3 |
| R 30 | 45 | 22- 52 | 52.7 |
| Sp R | 5 | | |
| Sp L | 1 | | |
| EB | re 132 | ll 136 | |
| ED | $\frac{\langle RW+RK \rangle - \langle LW+LK \rangle}{\langle RW+RK+LW+LK \rangle}$ | | -1.5 |
| RÜ | $\frac{\langle RW+LK \rangle - \langle LW+RK \rangle}{\langle RW+RK+LW+LK \rangle}$ | | 17.2 |

* Plus Dauer der Spülung

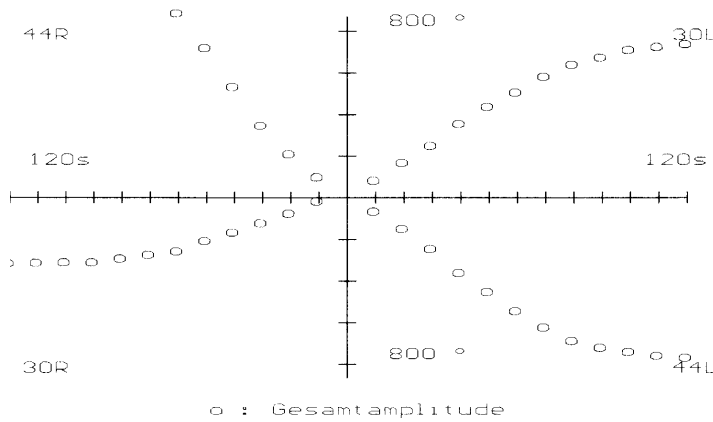
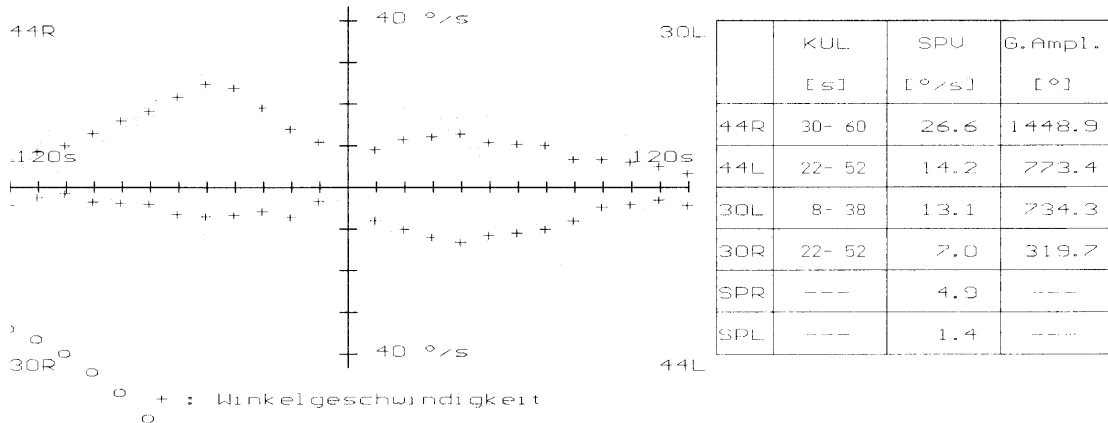
KALIBRIERKURVE



SPONTANNYSTAGMUS



WINKELGESCHWINDIGKEIT (SPU) und GESAMTAMPLITUDE



3.6.6 Fall 6: Patient mit Abweichungen zwischen Frequenz-, SPV- und Amplituden-Kalorigramm

Name: H.M.

Geschlecht: m

Größe: 172 cm

Beruf: Steinmetz

Alter : 68

Gewicht: 68 kg

Beschwerden:

Der Patient leidet seit ca. 3 Wochen unter lang andauerndem und gleichmäßigem Drehgefühl in Kombination mit Übelkeit und Erbrechen. Er leidet weiterhin unter einer Sehstörung in Form von Doppelbildern sowie einer Hörverminderung beidseits.

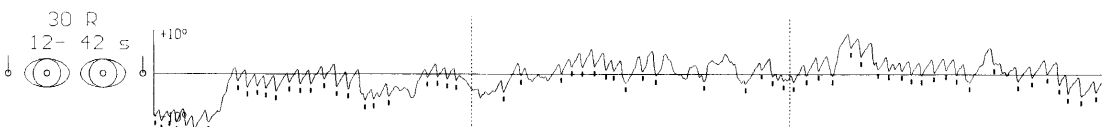
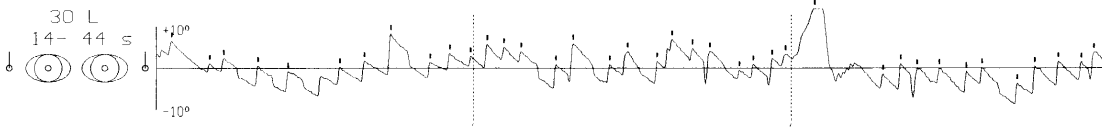
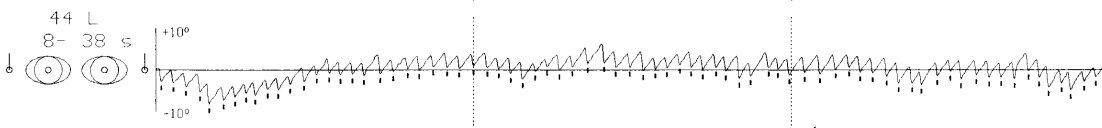
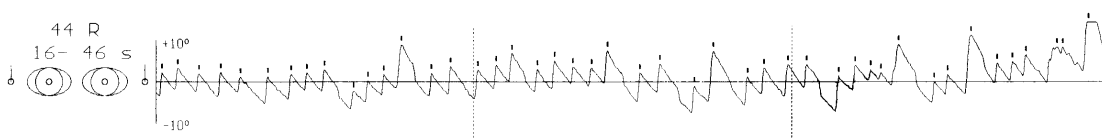
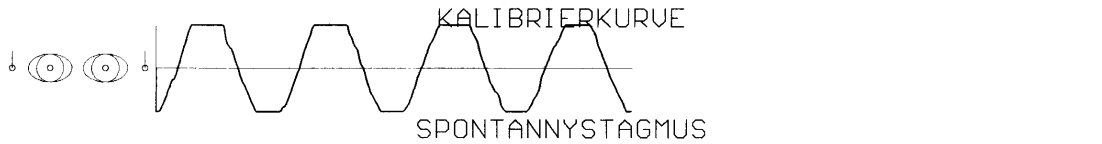
Ergebnisse der neurootologischen Untersuchungen:

Es zeigte sich ein richtungswechselnder Spontannystagmus, eine kalorische Warmenthemmung links, ein vestibuläres Decruitment links sowie ein vestibuläres Recruitment rechts. Der optokinetische Afternystagmus nach Linksdrehung war stark enthemmt.

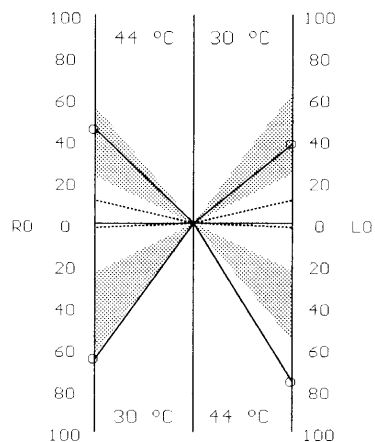
Im Tret-CCG zeigt sich eine deutliche Rechtsabweichung.

Diagnose:

Kombinierte periphere und zentrale Gleichgewichtsstörung mit Hinweis auf rechtsseitige Lokalisation der peripheren Störung.



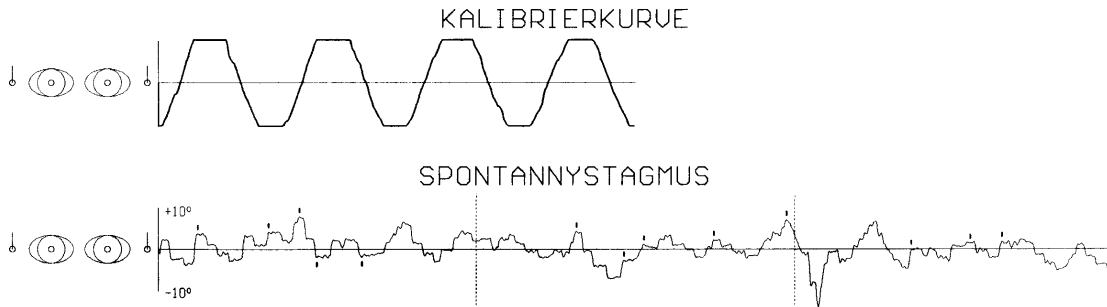
FREQUENZ-KALORIGRAMM nach CLAUSSEN



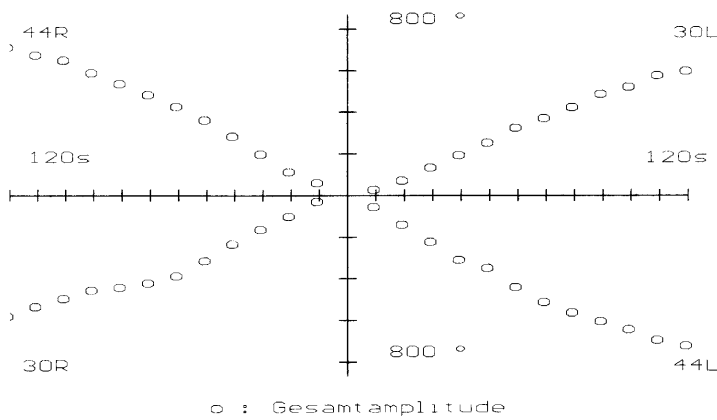
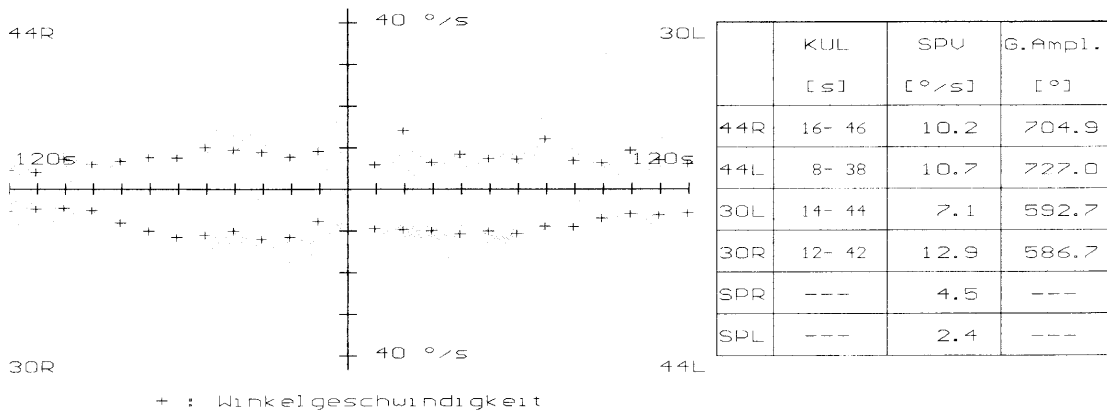
Kalorischer Nystagmus

| Stim | Freq [N/30s] | Kulm * [s] | Ampl [µV] |
|------|---|------------|-----------|
| R 44 | 45 | 16- 46 | 213.4 |
| L 44 | 76 | 8- 38 | 120.3 |
| L 30 | 38 | 14- 44 | 175.7 |
| R 30 | 65 | 12- 42 | 121.3 |
| Sp R | 11 | | |
| Sp L | 2 | | |
| EB | re 110 | ii 114 | |
| ED | $\frac{<RW+RK>-<LW+LK>}{<RW+RK+LW+LK>}$ | | -1.8 |
| RÜ | $\frac{<RW+LK>-<LW+RK>}{<RW+RK+LW+LK>}$ | | -25.9 |

* Plus Dauer der Spülung



WINKELGESCHWINDIGKEIT (SPU) und GESAMTAMPLITUDE



4 Diskussion

4.1 Nystagmus der Augen

Der Nystagmus der Augen als Anzeiger für periphere Sensorik- und zentralnervöse Steuervorgänge spielt bei der neurootologischen Diagnostik eine wichtige Rolle. Bewegungen des Auges kommen durch das geregelte Zusammenspiel der sechs an der Sklera inserierenden Augenmuskeln zustande.

Nach WALDEYER [61] haben die einzelnen Augenmuskeln folgende Funktionen:

- M. rectus lateralis: reine Abduktion
- M. rectus medialis: reine Adduktion
- M. rectus superior: hebt die Sehlinie, adduziert, rotiert nach innen
- M. rectus inferior: senkt die Sehlinie, abduziert, rotiert nach außen
- M. obliquus superior: senkt die Sehlinie, adduziert, rotiert nach innen
- M. obliquus inferior: hebt die Sehlinie, abduziert, rotiert nach außen

Der M. obliquus superior wird vom N. trochlearis, der M. rectus lateralis vom N. abducens innerviert. Die Innervation der restlichen Augenmuskeln erfolgt über den N. oculomotorius. Der reine Horizontalnystagmus resultiert aus dem Wechsel der langsamen und schnellen Anspannung des M. rectus lateralis und des M. rectus medialis. Die für die Innervation zuständigen Augenmuskelkerne liegen ventro-superior des vierten Ventrikels im Mesencephalon. Sie sind durch das mittlere Längsbündel miteinander verbunden und haben Kontakt zu den vor der Rautengrube liegenden Vestibulariskernen.

4.2 Die vestibulo-okuläre Gleichgewichtsreaktion

Die Gleichgewichtsregulation erfolgt im Wesentlichen über drei Systeme: das vestibuläre System, das okuläre System und das propriozeptive System. Anatomie und Physiologie des vestibulären Systems sollen an dieser Stelle kurz erläutert werden.

Das periphere Vestibularisorgan liegt im Felsenbein und bildet zusammen mit dem Hörorgan das Innenohr. Es ist im häutigen Labyrinth lokalisiert, welches mit Endolymphe gefüllt ist. Dieses wiederum ist vom knöchernen Labyrinth umgeben; im Raum dazwischen befindet sich Perilymphe. Das Gleichgewichtsorgan beinhaltet fünf vestibuläre Strukturen mit unterschiedlichen Mechanorezeptoren (drei Bogengänge und zwei Otolithenorgane). Die Haarzellenfelder des sackförmigen Sacculus und Utriculus (auch Macula- oder Statolithenorgane genannt), die *Maculae staticae*, sind auf die Registrierung von Linearbeschleunigungen ausgerichtet. Ihre Stereozilien sind in eine gallertartige Membran eingebettet, welche Kristalle (so genannte Otolithen oder Statokonien) enthält. Die horizontal stehende *Macula utriculi* reagiert vor allem auf Kippbewegungen des Kopfes; dies bewirkt ein Abgleiten der Statokonienmembran unter dem Einfluss der Schwerkraft. Die Zilien der Sinneszellen reagieren je nach Grad der Abscherung mit einer entsprechenden Entladefrequenz. Die *Macula sacculi* ist senkrecht angeordnet und reagiert vor allem auf vertikale Beschleunigungen, aber auch auf seitliche Neigung des Kopfes.

Mit dem Utriculus sind die drei Bogengänge, die *Canales semicirculares*, verbunden. Man unterscheidet den vorderen vertikalen, hinteren vertikalen und seitlichen horizontalen Bogengang. Sie stehen jeweils senkrecht zueinander. Jeder Bogengang ist utriculuswärts zum Ende hin zur so genannten Ampulle erweitert. Die Rezeptorenfelder, die *Cristae ampullares*, sind auf die Registrierung von Winkelbeschleunigungen ausgerichtet. Sie ragen kuppelförmig in das Lumen des Endolymphschlauchs. Ihre Sinneshaare sind in die gallertartige *Cupula* eingebettet, die jedoch im Gegensatz zur Membran der Macula-Organen keine Kristalle enthält. Bei einer entsprechenden Beschleunigung in der Ebene des jeweiligen Bogengangs kommt es, durch die Trägheit der Endolymphe bedingt, zu einer Verschiebung der Gallertmembran, und damit zu einer Auslenkung des Zilienbündels. Dies bewirkt eine Änderung der Entladefrequenz der Sinneszellen je nach Richtung der Auslenkung, man spricht von einer bidirektionalen Frequenzmodulation. Die im Rahmen der neurootologischen Untersuchung vestibulo-okulärer Bahnen verwendeten Reize zielen auf eine Reizung der Sinneszellen des horizontalen Bogengangs ab. Wird hier die *Cupula utriculopetal* ausgelenkt, so resultiert eine Erhöhung der Impulsaktivität des afferenten Neurons. Eine utriculofugale Auslenkung vermindert die Impulsaktivität (WERSÄLL, ENGSTRÖM),

[19, 62]. Beim vestibulo-okulären Reflex handelt es sich um einen Steuerreflex der Augenmuskeln, welcher dafür sorgt, dass das jeweilige Blickfeld trotz der Drehbewegung relativ lange auf die gleiche Fläche der Retina fällt und somit möglichst scharfes Sehen ermöglicht. Die Augenbewegung wird dabei mit gleicher Geschwindigkeit in die der Drehbewegung entgegengesetzte Richtung gesteuert. Überschreitet die Drehbewegung des Körpers einen gewissen Winkel den die Augen nicht mehr kompensieren können, so kommt es zu einer raschen Rückstellbewegung in Drehrichtung und der Fixierung eines neuen Sehziels, bevor eine erneute Kompensationsbewegung beginnt. Diese Abfolge einer langsamen und einer schnellen Augenbewegung wird als Nystagmus bezeichnet. Einen adäquaten Reiz der Bogengänge stellt neben der Drehbewegung auch die thermische Reizung dar.

BARANY [3, 4] entwickelte für den Hergang der thermischen Bogengangreizung die Konvektionstheorie. Demnach führt eine Warmspülung des äußeren Gehörgangs zu einer Erwärmung der Endolymphe im horizontalen Bogengang. Diese wird spezifisch leichter und steigt auf. Zwischen den beiden Seiten der Cupula entsteht so ein Druckunterschied; hieraus resultiert eine Cupulaauslenkung in Richtung Utriculus und damit ein Horizontalnystagmus zur gespülten Seite. Eine Kaltspülung hat einen Nystagmus zur Gegenseite zur Folge.

Bei der ersten Spacelab Mission 1983 wurde jedoch nachgewiesen, dass die Auslösung eines kalorischen Nystagmus auch in Schwerelosigkeit möglich ist, obwohl hier keine Thermokonvektion existiert. Allerdings kommt es durch die Wärmeenergie auch zu intrafluidalen Strömungen und eventuell zu Ausdehnungen. Es müssen also noch weitere Auslösungsmechanismen existieren. V. BAUMGARTEN, BOEHMER, BRENSKE und REISER [6] zeigten in Versuchen an Tauben, dass alleine durch Veränderung des hydrostatischen Drucks im horizontalen Bogengang ein mit dem kalorischen Nystagmus identischer Augenausschlag erzeugt werden kann.

Auch HAVADA, ARIKI und SUZUKI [28] bestätigten, dass durch Dichteänderung und eine damit verbundene Änderung des hydrostatischen Drucks die Entladungsraten der Sinneszellen der Ampullen beeinflusst werden können.

Unter Erdbedingungen ist wohl ein kombinierter Mechanismus aus Thermokonvektion und Änderung des hydrostatischen Drucks anzunehmen.

Eine dritte, kontrovers diskutierte, Theorie ist der direkte Einfluss der Temperatur auf das vestibuläre afferente Nervensystem.

Bei den Rezeptoren des Vestibularorgans handelt es sich um sekundäre Sinneszellen. Die Reizweiterleitung nach zentral erfolgt über die bipolaren Vestibularisneurone der Pars vestibularis des VIII. Hirnnervs, deren Somata im Ganglion vestibulare liegen. Ihre peripheren Fortsätze setzen synaptisch an den Rezeptoren von Maculae und Ampullen an. Nach dem Austritt aus dem inneren Gehörgang durchquert der Pars vestibularis den Kleinhirnbrückenwinkel und endet zum größten Teil an den Nuclei vestibulares im dorsolateralen Teil von Pons und Medulla oblongata, zum Teil ziehen Fasern aber auch zu den vestibulären Kleinhirnabschnitten.

Auf jeder Seite befinden sich vier Vestibulariskerne, die Nuclei superior (Bechterew), medialis (Schwalbe), lateralis (Deiters) und inferior (Roller).

Signale von Utriculus und Sacculus ziehen vor allem zu den Nuclei medialis, lateralis und inferior, während Afferenzen der Bogengänge hauptsächlich im Nucleus superior, lateralis, medialis und zum Teil im Kleinhirn enden. Weitere Informationen erhalten die Vestibulariskerne aus dem Rückenmark, Kleinhirn, der Formatio reticularis sowie aus höheren Zentren.

Von den Vestibulariskernen ziehen nun wiederum Bahnen zum Rückenmark, zum Kleinhirn, zu den Augenmuskelkernen, zur Formatio reticularis, zum Thalamus, zum Colliculus superior und zu anderen höheren Zentren.

Zur Auslösung des vestibulo-okulären Nystagmus kommt es durch eine reizbedingte Tonusdifferenz der Vestibularisneurone beider Seiten. Die vestibulären Neurone, welche für die langsame Phase der Augenbewegung verantwortlich sind, stehen mit den okulomotorischen Neuronen der Augenmuskeln in Verbindung.

Die für die antagonistische, schnelle Augenbewegung verantwortlichen Neurone haben eine wesentlich höhere Erregbarkeitsschwelle. Dies führt zu einer verzögerten Erregung. Es folgt die Aktivierung okulärer Motoneurone, welche die Antagonisten der ablaufenden Augenbewegung versorgen und damit die schnelle Augenrückstellbewegung induzieren. Gleichzeitig bewirken diese eine zurückführende Inhibition auf die Zellen der Vestibulariskerne. Der afferente Informationsstrom von den vestibulären Neuronen über die Paraabduzenskerne zu den okulomotorischen Neuronen bricht ab. Dies führt wiederum zur Aktivitätshemmung der interkalaren

retikulären Neurone. Die Blockade vestibulärer Neurone wird durchbrochen und ein neuer Zyklus beginnt. Es entsteht der Nystagmusrhythmus. Dieser Zyklus wird auch als Nystagmusgenerator bezeichnet. Er wird von regulierenden und dämpfenden Bahnensystemen überlagert. In der Nachbarschaft des IV. Ventrikels zieht ein Bahnensystem vom Nucleus fastigii über den Tractus juxtarestiforme jeweils zu den Vestibulariskernen der Gegenseite und wirkt dämpfend auf Amplitude und Frequenz des vestibulären Nystagmus. Eine obere Dämpfung erfährt der Nystagmusgenerator über das rubro-nigro-striatale und thalamische System, welche sich auf Nystagmusfrequenz, Koordination und zeitliche Nystagmusreaktionsabläufe auswirken [5, 14, 26].

4.3 Dignität der automatischen Nystagmusauswertung:

Um die Genauigkeit des an unserer Klinik verwendeten Computernystagmographen der Firma Hortmann zu überprüfen, wurde ein Leistungsvergleich mit der optisch-manuellen Auswertung durch einen Zähler bezüglich der Zuverlässigkeit bei der Frequenzanalyse durchgeführt. Anhand der erstellten Korrelationsstatistik kann man einen guten Zusammenhang der automatisch und manuell ermittelten Frequenzen erkennen. Die Korrelationskoeffizienten lagen zwischen 0,926 (44° C rechts) und 0,839 (30° C rechts). Alle Ergebnisse konnten mit einem p-Wert < 0,0001 abgesichert werden, sie sind also signifikant. Es sei hier nochmals erwähnt, dass die manuell- und computerermittelten Kulminationsintervalle nicht auf Übereinstimmung überprüft werden konnten. Bei der manuellen Analyse wurde die Nystagmuskurve in Zehn-Sekunden-Intervalle unterteilt; anschließend wurden drei im Kulminationsbereich nebeneinander liegende Intervalle zusammengefasst. Der Computer wählte das 30-Sekunden-Intervall frei. Geringe Differenzen der Kulminationsintervalle führen hier zwangsläufig auch zu geringen Differenzen bezüglich der ermittelten Schlagzahl. Dennoch lieferte der Vergleich Ergebnisse auf hohem Korrelationsniveau.

Ähnliche Ergebnisse lieferten auch Untersuchungen anderer Autoren wie KECK [36], MC CLURE [42] oder O'NEILL und OWEN [43]. KECK [36] untersuchte die Zuverlässigkeit des Nystagmusanalyseprogramms NYSLYS und verglich ebenfalls die

Daten der manuellen und automatischen Analyse. Für die Frequenzen der thermischen Prüfungen ergab sich eine mittlere Korrelation von 0,95. In einer weiteren Untersuchung ermittelten MC CLURE et al. [42] für den Vergleich der Werte der Geschwindigkeit der langsamen Phase von thermisch provozierten Nystagmen einen Korrelationskoeffizienten von 0,85 für ihre Analysemethode. O'NEILL und OWEN [43] erhielten für den Vergleich der Geschwindigkeit der langsamen Phase mit dem von ihnen verwendeten Programm eine Korrelation von 0,96.

Die Computernystagmographie ist ein sicheres und zuverlässiges Verfahren. Sie wird seit vielen Jahren erfolgreich im klinischen Alltag eingesetzt. Bei der Betrachtung kasuistischer Einzelfälle zeigte sich, dass die Nystagmuserkennung in einigen Fällen unzureichend funktionierte. Dies ist besonders dann gegeben, wenn Artefakte oder unregelmäßige Nystagmusreaktionen die Auswertung erschweren. Auf eine Aufzeichnung der Originalkurven sollte deshalb nicht verzichtet werden, um die Analyseergebnisse jederzeit kontrollieren und gegebenenfalls korrigieren zu können.

4.4 Bedeutung und Korrelation einzelner Parameter der Nystagmusanalyse

In den Anfangszeiten der äquilibrimetrischen Untersuchung erfolgte die Nystagmusanalyse zunächst ohne weitere Hilfsmittel (BARANY, 1906), [3, 4]. Voraussetzung hierfür war jedoch eine genügend große Nystagmusamplitude und eine ausreichend schnelle Schlagfolge. Um auch feinere Augenbewegungen erfassen zu können, benutzte BARTELS [5] 1910 eine 20 Dioptrien starke Brille. Diese wurde von FRENZEL [22] durch zusätzliches Anbringen einer Lichtquelle modifiziert, so dass nun auch eine Untersuchung im abgedunkelten Raum möglich war. Die Zuverlässigkeit dieser Untersuchungsmethode hängt jedoch stark von der Erfahrung und Geschicklichkeit des Untersuchers ab. Die erfassbaren Parameter beschränken sich hierbei auf einfach bestimmbare Größen wie die Frequenz und die Nystagmusdauer.

Mit dem Aufkommen moderner objektiver Registriermethoden wie der Elektornystagmographie, der Computernystagmographie und der Videonystagmographie ergaben sich neue Möglichkeiten zur Erfassung der Nystagmusreaktion [13, 40, 49]. Man erhält hier typische Nystagmussägezahnkurven. Der einzelne Nystagmusschlag

stellt sich als Phänomen mit einer langsamen und einer schnellen Phase dar. Jede der Phasen ist definiert durch ihre Dauer, die Amplitude und die Winkelgeschwindigkeit.

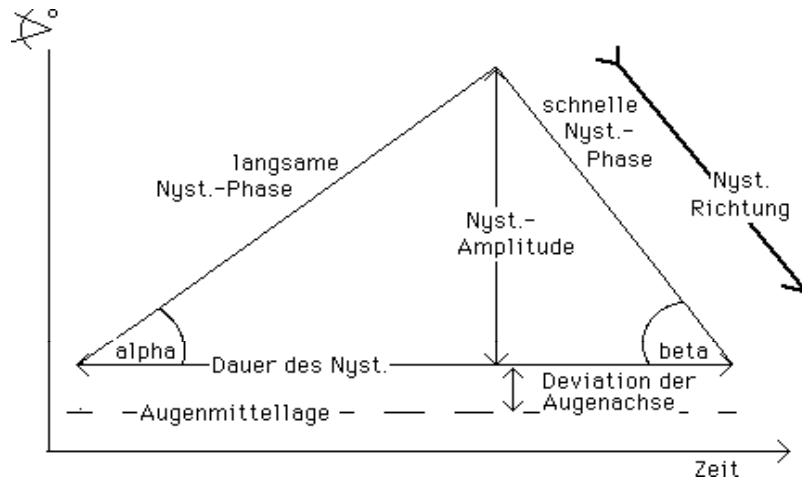


Abb.40: Schematische Darstellung eines Nystagmusschlags

Betrachtet man den einzelnen Nystagmusschlag, so ergeben sich offensichtliche Beziehungen zwischen den Parametern. Die Geschwindigkeit der langsamen Phase errechnet der Computer aus $SPV = \text{abs}(AMP1/T1)$, also der Amplitude der langsamen Phase pro Zeit vom Beginn des Nystagmusschlags bis zum Phasenumschwung. Direkte Abhängigkeiten der Parameter gelten jedoch nur für den einzelnen Nystagmusschlag. Schon bei der Betrachtung einer kurzen Schlagserie sind diese Abhängigkeiten nicht mehr zwingend, die einzelnen Parameter zeigen dann nur noch einen begrenzten Zusammenhang untereinander. Alle Parameter variieren unter verschiedenen Bedingungen unterschiedlich. So zeigten beispielsweise HENRIKSSON [29, 30, 31] oder TIBBLING [53], dass das Rauchen von Tabak die Amplitude vermindert, die Frequenz erhöht, aber die Geschwindigkeit der langsamen Phase nicht beeinflusst. Der geistige Wachheits- und Aktivitätszustand scheint vor allem die Amplitude und die Geschwindigkeit der langsamen Phase, jedoch weit weniger die Frequenz zu beeinflussen.

Ende der 60'er Jahre beschäftigte sich TIETZE [54] mit den Beziehungen zwischen Parametern bei sägezahnähnlichen Nystagmuskurven. Er zeigte graphisch und mathematisch, dass in einem bestimmten Intervall Kurven verschiedener Frequenzen, jedoch mit identischen Geschwindigkeiten beider Phasen, die gleiche

Amplitudensumme aufweisen. TIETZE [54] folgert hieraus, dass die Schlagzahl nicht notwendigerweise mit der Geschwindigkeit der Komponenten, der Amplitude oder der Amplitudensumme verknüpft ist. Sie ist von der theoretischen Betrachtung möglicher Kurven her weitgehend unabhängig von den übrigen Parametern.

Auch rechnerisch leitet TIETZE [54] die Beziehungen von SPV und Gesamtamplitude in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der schnellen Phase her. Es zeigt sich eine sehr enge Beziehung bis zu einer Amplitudensumme von 100 Grad, die bei weiterem Anstieg der Amplitudensumme etwas abnimmt. Daraus folgert TIETZE [54], dass die Parameter Amplitudensumme im Intervall und mittlere Geschwindigkeit der langsamen Komponente von der theoretischen Überlegung her als gleichwertig zur Beurteilung einer Nystagmuskurve herangezogen werden können. Auch auf die mathematische Herleitung der Beziehungen dieser Parameter hat die Schlagzahl keinen Einfluss. Somit ist die SPV allein nicht direkt von der Schlagzahl abhängig, ebenso nicht die Amplitude. Die Frequenz war, bedingt durch ihre einfache Bestimmbarkeit, der klassische Parameter der Nystagmusanalyse. Sie korreliert weitgehend mit dem empfundenen Schwindel des Patienten. Die Nystagmusschläge stellen dabei Folgen der zentralen Rückstellreaktion dar. Mit der Zeit wurde die Auswertung der Geschwindigkeit der langsamen Phase zunehmend populärer. Bereits 1924 erkannte BUYS [8], dass die Geschwindigkeit der langsamen Phase mit der Zunahme des rotatorischen Stimulus ebenfalls zunimmt. 1925 bestätigte DOHLMAN [16, 17] dies auch für kalorische Stimuli. GROEN [24] stellte 1953 eine direkte Proportionalität zwischen dem Stimulus und der Geschwindigkeit der langsamen Phase fest. Auch HENRIKSSON [29, 30, 31] und DOHLMAN [16, 17] bestätigten diesen linearen Zusammenhang. Die langsame Phase stellt die eigentliche Reaktion auf einen vestibulären Reiz dar.

Die Frage, welcher Parameter nun als der günstigste zur Auswertung von Nystagmuskurven herangezogen werden sollte, wurde in den letzten Jahrzehnten vielfach diskutiert. Der Nachweis der engen Korrelation der Geschwindigkeit der langsamen Phase mit der Reizintensität und die Tatsache, dass die langsame Nystagmuskomponente, und damit auch ihre Geschwindigkeit, als der wesentliche Teil der Reizantwort anzusehen ist, führten zu zunehmender Popularität dieses Parameters. In einer Veröffentlichung der „Gesellschaft Deutschsprachiger Audiologen und Neurootologen“ ADANO [63] schreibt MEYER, dass heute kein Zweifel mehr

bestünde, dass der günstigste Parameter die Geschwindigkeit der langsamen Phase sei. Auch der Großteil der amerikanischen Autoren wie STOCKWELL [52], BALOH [2] oder JACOBSEN [33] favorisieren die Geschwindigkeit der langsamen Phase. Nach HENRIKSSON [29, 30, 31] sind weder die Amplitude noch ihre Frequenz alleine befähigt, den funktionalen Status oder die Sensitivität des vestibulären Systems im selben Maße wiederzugeben wie die Geschwindigkeit der langsamen Phase. Wenn entweder die Amplitude oder die Frequenz konstant bleiben, so variiert der andere Parameter mit der Geschwindigkeit der langsamen Phase [31].

Auf der anderen Seite ist die Frequenz auch heute noch ein weit verbreiteter Parameter bei der Nystagmusanalyse. TOROK [55, 56, 57, 58, 59] untersuchte das Verhalten von Frequenz und Geschwindigkeit der langsamen Phase auf eine zunehmende Reizintensität an gesunden Patienten bei der kalorischen Prüfung. Er folgerte, dass Frequenz und Geschwindigkeit der langsamen Phase ähnlich nützliche Ausdrücke für die Antwortintensität des Vestibularisorgans seien, allerdings unterscheiden sie sich in Bezug auf ihre Natur und ihren Ursprung. In seinem Patientenkollektiv war die durchschnittliche Antwort auf eine ansteigende Reizintensität annähernd linear für beide Parameter. Jedoch traten in individuellen Einzelfällen Abweichungen von diesem linearen Verhältnis auf, wobei aber die beiden Parameter hier selten ein identisches Abweichungsverhalten zeigten. Im Vergleich zeigten die individuellen Messergebnisse bei der Geschwindigkeit der langsamen Phase weiter gestreute Kurvenverläufe als die Ergebnisse der Frequenzanalyse. Die Geschwindigkeit der langsamen Phase wies hier weit höhere Standardabweichungen und interindividuelle Schwankungen für die einzelnen Reizstimuli auf. Die Untersuchung des Zusammenhangs der beiden Parameter ergab eine durchschnittliche Korrelation von 0,685. Die Frequenz erwies sich in dieser Untersuchung als der Parameter größerer Beständigkeit und der Parameter mit einem linearerem Verhalten in Bezug auf die Reizintensität [56, 59].

Auch KUMAR [37] weist in einer weiteren Untersuchung auf die höhere Stabilität der Frequenz hin. Wenn die Frequenz stabil bleibt, so kann die Geschwindigkeit der langsamen Phase nur mit der Amplitude variieren. KUMAR [37] schließt daraus also, wie bereits von TIETZE [54] theoretisch hergeleitet, auf eine hohe Korrelation von Geschwindigkeit der langsamen Phase und Amplitude und errechnete für sein untersuchtes Patientenkollektiv eine Korrelation von 0,87. Der Autor sieht die größeren

Schwankungen der SPV in dieser Abhängigkeit, da die Amplitude vielen Einflüssen unterliegt. Neben anderen Autoren wie HOOD [32] oder LEDOUX und DEMANEZ [39] untersuchte PFALTZ [44, 45, 46] die verschiedenen Einflüsse auf die Amplitude. Er nennt einerseits pathologische Veränderungen, so ist beim Vorliegen einer peripheren Störung die Amplitude vermindert und bei corticalen oder subcorticalen Läsionen vergrößert, wohingegen cerebellare Läsionen die Amplitude nicht zu beeinflussen scheinen, andererseits nennt er auch zahlreiche nicht-spezifische nicht-vestibuläre Faktoren. Die Einflüsse von optischer Fixation, willentlicher Augenbewegung, Alter des Patienten, Nikotinkonsum und geistigem Wachheits- und Aktivitätszustand werden hier angeführt. Gewöhnungseffekte spielen ebenfalls eine Rolle.

Auch SOKOLOVSKI [51] und PROCTOR und GLACKIN [47] haben den Einfluss des geistigen Aktivitäts- und Wachheitszustandes auf den Nystagmus dokumentiert. Dieser scheint die SPV weit stärker zu beeinflussen als die Frequenz.

KUMAR [37] führt die starken individuellen Unterschiede der Werte der Geschwindigkeit der langsamen Phase in seinem Kollektiv hauptsächlich auf die unterschiedlichen geistigen Aktivitäts- und Wachheitszustände der Patienten zurück.

Auch in unserem Kollektiv wurden die einzelnen Parameter der Ergebnisse der kalorischen Prüfung miteinander verglichen. Für den Vergleich von Frequenz und Geschwindigkeit der langsamen Phase ergab sich für die vier kalorischen Prüfungen ein durchschnittlicher Korrelationskoeffizient von 0,57 mit einem Maximalwert von 0,603 für die Spülung 30° C rechts. Der Zusammenhang ist signifikant, jedoch zeigen die eher mittleren Korrelationskoeffizienten, dass der Wert des einen Parameters nicht ausschließlich durch den Wert des anderen bestimmt wird. Dies entspricht den Erwartungen in Bezug auf die vorausgegangenen Betrachtungen. Die durchschnittliche Korrelation im Kollektiv von TOROK [55, 56, 57, 58, 59], allerdings für fünf Stimuli aufsteigender Reizintensität, lag hier bei 0,685, [56]. Der durchschnittliche Korrelationskoeffizient für den Vergleich von Frequenz und Gesamtamplitude lag in unserem Kollektiv bei 0,521. Die stärkste Korrelation bestand bei 30° C links mit einem Koeffizienten von 0,580. Auch hier war in Anbetracht der vorausgegangenen Studien keine wesentlich stärkere Korrelation zu erwarten. Am stärksten korrelieren in unserem Kollektiv mit einem durchschnittlichen Korrelationskoeffizienten von 0,662 und einem

Maximalwert von 0,722 bei 30° C rechts die Geschwindigkeit der langsamen Phase und die Gesamtamplitude. Dies entspricht den Erwartungen gemäß der vorangegangenen Überlegungen und Vergleichsstudien. Allerdings liegt die Korrelation in unserem Kollektiv deutlich unterhalb der von KUMAR [37] in seinem Kollektiv ermittelten Korrelation von 0,87. Des Weiteren wurden für jeden der drei Parameter Berechnungen für das Nystagmusrichtungsüberwiegen und die Seitendifferenz mit Hilfe der klassischen JONGKEES-Formeln durchgeführt. Auch hierfür wurde eine Korrelationsstatistik erstellt. Für die Nystagmusseitendifferenz zeigte sich die stärkste Korrelation ebenfalls zwischen der Geschwindigkeit der langsamen Phase und der Gesamtamplitude mit einem Koeffizienten von 0,759, gefolgt von der Frequenz und Gesamtamplitude mit einem Koeffizienten von 0,723 und der Frequenz und der Geschwindigkeit der langsamen Phase mit einem Koeffizienten von 0,694. Auch MAIRE, DAOUI und VAN MELLE [41] berechneten in einer Studie die Korrelationen von Frequenz und SPV für die Nystagmusseitendifferenz und ermittelten einen vergleichbaren Koeffizienten von 0,77. Die Berechnung des Nystagmusrichtungsüberwiegens mit Hilfe von Frequenz und SPV ergab für ihr Kollektiv lediglich eine Korrelation von 0,27.

In unserem Kollektiv zeigten sich allerdings ähnliche Korrelationen wie für die Nystagmusseitendifferenz. Am stärksten korrelierten auch hier die Geschwindigkeit der langsamen Phase und die Gesamtamplitude mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,779, gefolgt von der Frequenz und der Gesamtamplitude mit einem Koeffizienten von 0,621 und der Geschwindigkeit der langsamen Phase und der Frequenz mit einem Koeffizienten von 0,599.

Bei der Betrachtung kasuistischer Einzelfälle zeigte sich, dass die Kalorigramme von Frequenz, SPV und Gesamtamplitude die Reiz-Antwort-Verhältnisse für die vier kalorischen Prüfungen in den meisten Fällen ähnlich gut widerspiegeln. Als Beispiel ist hier Fallbeispiel 5 aufgeführt. Die Patientin zeigt ein stark enthemmtes Reaktionsverhalten für die Spülung 44° C rechts, bei der Kaltspülung rechts liegt die Reaktion im Normbereich und die Reaktionen des linken Ohres sind leicht enthemmt. Dies spiegelt sich in allen drei Kalorigrammen wider.

Als Beispiel für Differenzen bezüglich der drei Kalorigramme ist Fallbeispiel 6 aufgeführt. Der Patient reagiert bei Betrachtung der Frequenzanalyse verstärkt auf die

Reize rechts kalt und besonders stark auf rechts warm, wohingegen die anderen Reaktionen im Normbereich liegen. In den Kurven für die Reaktionen der Spülungen rechts warm und links kalt zeigt sich allerdings eine deutlich größere Amplitude für die einzelnen Nystagmusschläge. Dies nivelliert in den anderen beiden Kalorigrammen den Effekt der höheren Schlagzahl bei den anderen beiden Reaktionen und führt zu einem annähernd ausgeglichenen Reaktionsverhältnis für die vier Spülungen.

Im Rahmen der Untersuchung hat sich gezeigt, dass zwischen den einzelnen Parametern nur bedingte Zusammenhänge bestehen, und dass sich Frequenz und Geschwindigkeit der langsamen Phase in ihrer Natur und in ihrem Ursprung unterscheiden.

Welchem der beiden Parameter im klinischen Alltag der Vorzug zu geben ist, kann hier nicht abschließend geklärt werden.

DÜWEL, ILGNER, ENGELKE und WESTHOFEN [18] folgerten, dass für die tägliche klinische Routine die Nystagmusfrequenzbewertung zur gleichen diagnostischen Genauigkeit führt wie die Analyse der Geschwindigkeit der langsamen Phase. Eine Verbesserung der diagnostischen Möglichkeiten sehen sie daher nur in einer aufwendigeren statistischen Analyse unter Einbezug weiterer Parameter wie der Geschwindigkeit der schnellen Phase sowie der Amplituden beider Phasen. Dies bedeutet jedoch auch einen erhöhten Aufwand für den klinischen Alltag. Inwieweit die diagnostischen Möglichkeiten hierdurch noch gesteigert werden können, gibt Spielraum für weitere Untersuchungen.

5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit sind 150 Patienten der neurootologischen Abteilung der Universitäts-HNO Klinik Würzburg untersucht worden. Auswahlkriterium für das Patientenkollektiv war eine gute Nystagmusantwort auf alle vier Reize der kalorischen Prüfung im Rahmen der neurootologischen Untersuchung. Für die kalorische Prüfung wurde sowohl eine manuelle als auch eine automatische Auswertung der Nystagmusreaktion durch einen Hortmann-Computernystagmographen durchgeführt. Die mit Hilfe des Anamnesebogens NODEC III erfassten Untersuchungsdaten wurden in das Tabellenkalkulationsprogramm EXCEL übertragen. Zur genaueren Differenzierung wurden für das Gesamtkollektiv Durchschnittswerte gebildet und die Geschlechter- und Altersverteilung, sowie die Verteilung einzelner Grunderkrankungen, Symptome und Reaktionsmuster untersucht. Es wurden Teilkollektive gebildet und auch diese auf Zusammenhänge untersucht.

Um die Zuverlässigkeit der Nystagmusschlagerkennung und Nystagmusfrequenzanalyse durch den Hortmann-Computernystagmographen zu überprüfen, wurde ein Leistungsvergleich mit der optisch-manuellen Auswertung durch einen Zähler bezüglich der Zuverlässigkeit bei der Frequenzanalyse durchgeführt. Für die ermittelten Daten wurde mit Hilfe des Statistikprogramms Stat-View 5.0 eine Korrelationsstatistik erstellt. Wir kamen zu dem Ergebnis, dass die computergestützte Nystagmusfrequenzanalyse auf hohem Korrelationsniveau funktioniert. Die Anwendung der computergestützten Nystagmusanalyse durch den Computernystagmographen der Firma Hortmann kann daher als sicher und zuverlässig betrachtet werden. Der Ausdruck der Originalkurven für den Kulminationsbereich wird allerdings weiterhin zur Kontrolle empfohlen, da die Nystagmusschlagerkennung in Einzelfällen nicht ausreichend genau war. Dies war insbesondere dann der Fall, wenn Artefakte oder unregelmäßige Nystagmusreaktionen die Auswertung erschwerten.

In einem weiteren Teil der Arbeit wurde der Bedeutung und Korrelation der Nystagmusparameter Frequenz, Amplitude und Geschwindigkeit der langsamen Phase nachgegangen. Es wurde ebenfalls eine Korrelationsstatistik durchgeführt und der Grad des Zusammenhangs zwischen den einzelnen Parametern ermittelt. Zusätzlich wurden für jeden der Parameter Berechnungen des Nystagmustrichtungsüberwiegens und der

Seitendifferenz nach den klassischen Jongkees-Formeln angestellt. Auch diese Ergebnisse wurden auf ihre Korrelation untersucht. Es zeigte sich die stärkste Korrelation für die Parameter Geschwindigkeit der langsamen Phase und Gesamtamplitude. Den gewonnenen Ergebnissen wurden theoretische Überlegungen sowie die Ergebnisse weiterer Studien gegenübergestellt. Weiterhin wurden in kasuistischen Einzelfällen die jeweiligen Frequenz-, SPV- und Amplituden-Kalorigramme auf ihre Übereinstimmung untersucht. Es zeigte sich, dass die am häufigsten verwendeten Parameter Frequenz und Geschwindigkeit der langsamen Phase beide ähnlich gut für die Auswertung von Nystagmusreaktionen geeignet sind, sich jedoch in ihrer Natur und ihrem Ursprung unterscheiden. Eine eindeutige Entscheidung zu Gunsten eines Parameters konnte hier nicht getroffen werden. Um die klinische Aussagekraft der Nystagmusanalyse noch zu steigern, wäre eine umfangreichere statistische Auswertung unter Einbezug mehrerer Parameter in Erwägung zu ziehen. Inwieweit dies jedoch in Nutzen-Aufwand-Relation für den klinischen Alltag umsetzbar ist, gibt Spielraum für weitere Untersuchungen.

6 Literaturverzeichnis

1) Aust G.

Über den klinischen Wert der Nystagmusdauer.
HNO (Berlin) 20, 86 - 88; (1972)

2) Baloh R. W., Honrubia V.

Clinical neurophysiology of the vestibular system.
F. A. Davis Company, Philadelphia; (1979)

3) Barany R.

Untersuchungen über den vom Vestibularisapparat des Ohres reflektorisch ausgelösten rhythmischen Nystagmus und seine Begleiterscheinungen.
Mschr. Ohrenheilk. 40, 193 – 297; (1906)

4) Barany R., Wittmaak K.

Funktionelle Prüfung des Vestibularisapparats.
Verlag Fischer, Jena (1911)

5) Bartels M.

Über die Regulierung der Augenstellung durch den Ohrapparat.
Graefe Archiv Ophthalmol. 76, 1 – 97; (1910)

6) Baumgarten R. Von, Boehmer G., Brenske A., Reiser M.

A nonthermoconvective mechanism generating caloric nystagmus: similarities between pressure-induced and caloric nystagmus.
In: Graham M. D., Kemink J. L.: The vestibular system. Neurophysiologic and clinical research. Raven Press, New York.

7) Brookler K. H.

Directional preponderance in clinical electronystagmography.
The Laryngoscope, LXXX, 747 – 54; (1970)

8) Buys E.

Rapport sur les épreuves intéressant l'appareil semi-circulaire.
Rev. Oto.-Neuro-Ocul. 2, 641; (1924)

9) Claussen C. F.

Das Frequenzmaximum des kalorisch ausgelösten Nystagmus als Kennlinienfunktion des geprüften Vestibularisorgans.
Acta Otolaryng. (Stockholm) 67, 639; (1969)

10) Claussen C. F.

Die quantitative Vestibularisprüfung – Auswertung von Nystagmusbefunden.
Zeitschr. laryng. rhinol. 48, 938; (1969)

- 11) Claussen C. F.**
Über das kalorisch ausgelöste Nystagmussignal.
Arch. Klin. Exp. Ohr- Nas- und Kehlkopfheilkunde 203, 255; (1973)
- 12) Claussen C. F.**
Die systematische Auswertung von Elektronystagmogrammen.
Verhlg. GNA 1, 459; (1975)
- 13) Claussen C. F., Aust G., Schäfer W. D.**
Atlas der Elektronystagmographie.
Edition medicin & pharmacie (Hamburg); (1986)
- 14) Claussen C. F.**
Der Schwindelkranke Patient.
Edition medicin & pharmacie, (Hamburg); (1992)
- 15) Coats A. C.**
Directional preponderance and unilateral weakness as observed in the
electronystagmographic examination.
Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. 74 (3), 655 – 68; (1965 Sep.)
- 16) Dohlman G.**
Physikalische und physiologische Studien zur Theorie des kalorischen Nystagmus.
Acta Otolaryng. Suppl. 5 (Stockh.); (1925)
- 17) Dohlman G., Henriksson N. G., Andren G.**
A method of direct registration of the speed of the eye movements in nystagmic
reactions.
Acta Otolaryng. (Stockh.) 46, 323 – 333; (1956)
- 18) Düwel P., Ilgner J., Engelke J. C., Westhofen M.**
Subclassification of vestibular disorders by means of statistical analysis in caloric
labyrinth testing.
Acta Otolaryngol. 124, 595 – 602; (2004)
- 19) Engström H.**
The innervation of the vestibular sensory cells.
Acta Otolaryng. (Stockholm) Suppl. 193, 30; (1961)
- 20) Enke M., Hortmann G.**
Kompendium der Gleichgewichtsdiagnostik in Klinik und Praxis.
GN Otometrics GmbH & Co. KG
- 21) Fitzgerald G., Hallpike C. S.**
Studies in human vestibular function – an observation on the directional preponderance
of caloric nystagmus resulting from cerebral lesions.
Brain 65, 115 – 137; (1942)

- 22) Frenzel H.**
Zur Systematik, Klinik und Untersuchungsmethodik der Vestibularisstörung.
Arch. Ohr-, Nas- und Kehlkopfheilkunde 177, 353 – 395; (1961)
- 23) Freyss G., De Saint-Macary M., Henin J. M.**
L'expression graphique des épreuves vestibulaires caloriques.
Ann. Otolaryngol. Chir. Cervicofac. 90 (Paris), 745 – 61; (1973)
- 24) Groen J. J.**
The mechanics of the labyrinth.
Int. Course in Vest. Exam. (Utrecht); (1953)
- 25) Gulick R., Pfaltz C.R.**
The diagnostic value of caloric tests in otoneurology.
Ann. Otol. Rhinol. Laryng. (St. Louis) 73, 893 – 913; (1964)
- 26) Haid C.-T. (Hrsg.)**
Schwindel aus interdisziplinärer Sicht.
Thieme, 2003
- 27) Hallpike C. S.**
Die kalorische Prüfung.
Pract. oto-rhino-laryng. (Basel) 17, 301; (1955)
- 28) Havada Y., Ariki T., Suzuki M.**
A new theory on thermal endolymphatic flow.
In: Graham M. D., Kemink J. L.: The vestibular system. Neurophysiologic and clinical research. Raven Press, New York.
- 29) Henriksson N. G.**
Speed of slow component and duration in caloric nystagmus.
Acta Otolaryng. (Stockholm) Suppl. 125; (1956)
- 30) Henriksson N. G.**
The correlation between the speed of the eye in the slow phase of nystagmus and vestibular stimulus.
Acta Otolaryng. (Stockholm) 45, 120 – 136; (1955b)
- 31) Henriksson N. G., Pfaltz C. R., Torok N., Rubin W.**
A synopsis of the vestibular system.
Sandoz Monogr.; (1972)
- 32) Hood J. D.**
The clinical significance of vestibular habituation.
Adv. Oto-Rhino-Laryng. 17, 149 – 157; (1970)

- 33) Jacobsen G. P., Newman C. W., Peterson E. L.**
Interpretation and usefulness of caloric testing.
In: Jacobsen G. P., Newman C.W., Kartush J. M. (eds.),
Handbook of balance function testing.
Mosby Year Book (St. Louis), 193 – 233; (1993)
- 34) Jongkees L. B. W.**
Physiologie und Pathophysiologie des Vestibularorgans.
Arch. Ohren-, Nas- und Kehlkopfheilkunde 194, 149; (1969)
- 35) Jongkees L. B. W., Philipszoon A. J.**
Elektronystagmographie.
Acta Otolaryng. (Stockholm) 189, 1 – 111; (1963)
- 36) Keck W.**
Untersuchung der Übereinstimmung automatisch und manuell ermittelter Parameter des
Elektronystagmogramms.
Laryng. Rhinol. Otol. 62, 476 – 480; (1983)
- 37) Kumar A.**
Post caloric nystagmus: analysis of culmination frequency and maximum slow phase
velocity.
Acta Otolaryngol. (Stockholm) Suppl. 520, 220 – 224; (1995)
- 38) Lachman J., Aarons L., Erikson J.**
Nystagmus: a parameter of mental function.
Percept Mot Skills 26, 943 – 50; (1968)
- 39) Ledoux A., Demanez J. P.**
Automatic fixation mechanisms and vestibular stimulation.
Adv. Oto-Rhino-Laryng. 17, 90 – 98; (1970)
- 40) Levo H., Aalto H., Hirvonen T. P.**
Nystagmus measured with videoculography: methodological aspects and normative
data.
ORL 66, 101 – 104; (2004)
- 41) Maire R., Daoui B., Melle G. V.**
Evaluation of the caloric test by combining 3 response parameters.
Otolaryngol. Head Neck Surg. 122 (6), 814 – 20; (2000, Jun.)
- 42) Mc Clure J. A., Fingrat P.**
Lycett: An analog technique for nystagmus display.
Adv. Oto-Rhino-Laryng. 19, 266 – 275; (1973)
- 43) O`Neill G., Owen W. A.**
Computerized analysis of the caloric response.
Acta Otolaryng. (Stockholm) 104, 400 – 405; (1987)

- 44) Pfaltz C. R.**
Die normale kalorische Labyrinthreaktion.
Arch. Ohr.-Nas.-Kehlk.-Heilk. 172, 131 – 174; (1957)
- 45) Pfaltz C. R., Piffko P.**
Studies on habituation of the human vestibular system.
Adv. Oto-Rhino.-Laryng. 17, 169 – 179; (1970)
- 46) Pfaltz C. R.**
Quantitative parameters in nystagmography II: nystagmus amplitude.
ORL 36, 46 – 52; (1974)
- 47) Proctor L., Glackin R.**
Factors contributing to variability of caloric test scores.
Acta Otolaryngol. (Stockholm) 100, 161 – 171; (1985)
- 48) Romberg M. H.**
Lehrbuch der Nervenkrankheiten des Menschen
A. Dunker Verlag, Berlin 1846
- 49) Schmid-Priscoveanu A., Allum J. H. J.**
Die Infrarot- und die Videookulographie- Alternativen zur Elektrookulographie?
HNO 47, 472 – 478; (1999)
- 50) Schott E.**
Über die Registrierung des Nystagmus und anderer Augenbewegungen mittels des Saitengalvanometers.
Dtsch. Arch. Klin. Med. 140, 79 – 90; (1922)
- 51) Sokolovski A.**
The influence of mental activity and visual fixation upon caloric-induced nystagmus in normal subjects.
Acta Otolaryngol. (Stockh.) 61, 209 – 20; (1965)
- 52) Stockwell C. W.**
Vestibular testing: past, present, future.
Br. J. Audiol. 31, 387 – 98; (1997)
- 53) Tibbling L.**
The influence of tobacco smoking, nicotine, CO and CO₂ on vestibular nystagmus.
Acta Otolaryng. (Stockholm) 68, 118 – 126; (1969)
- 54) Tietze G.**
Beziehungen zwischen Parametern bei sägezahnähnlichen Nystagmuskurven.
Arch. Ohr-, Nas- und Kehlkopfheilkunde 195, 121 – 137; (1967)

55) Torok N., Nykiel F.

Frequency meter of nystagmus analysis.
Acta Otolaryng. 54, 363; (1963)

56) Torok N.

Nystagmus frequency versus slow phase velocity in rotatory and caloric nystagmus.
Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. 78, 625 – 39; (1969)

57) Torok N., Derbyshire A. J.

Computation of the nystagmogram.
Acta Otolaryng. (Stockholm) 65, 70 – 78; (1968)

58) Torok N.

The effects of arousal upon vestibular nystagmus.
Adv. Oto.-Rhino.-Laryng. 17, 76 – 89; (1970)

59) Torok N.

Quantitative parameters in nystagmography I.: the velocity of the slow phase.
ORL 36, 37 – 45; (1973)

60) Unterberger S.

Neue objektiv registrierbare Vestibularis-Körperdrehreaktion, erhalten durch Treten auf der Stelle: der Tretversuch.
Arch. Ohren-, Nasen- und Kehlkopfheilkunde 145, 478 – 492; (1938)

61) Waldeyer A.

Anatomie des Menschen.
De Gruyter, Berlin-New York, Band 2; (1974)

62) Wersäll J.

Vestibular receptor cells in fish and mammals.
Acta Otolaryng. (Stockholm) Suppl. 163, 25; (1961)

63) Westhofen M. (Hrsg.), ADANO

Vestibuläre Untersuchungsmethoden.
PVV Science-Publications Ratingen; (2002)

Danksagungen

Für die Unterstützung bei der Fertigstellung dieser Dissertation möchte ich folgenden Personen meinen Dank aussprechen:

Herrn Priv.-Doz. Dr. med. D. Schneider danke ich für die Überlassung dieses interessanten Themas, für die freundliche Hilfestellung sowie für die wertvollen Ratschläge bei der Erstellung dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr. U. Schlagenhauf danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Besonderer Dank gilt auch meinen Eltern für ihre Unterstützung.

Lebenslauf

Angaben zur Person

Name: Florian Kupper
Geburtsdatum: 09.11.1978
Geburtsort: Coburg
Familienstand: ledig
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung

09/1985 – 07/1989 Grundschole St. Johannis, Bayreuth
09/1989 – 06/1998 Gymnasium Christian Ernestinum, Bayreuth
06 / 1998 Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Abgeleistete Dienste

09/1998 – 10/1999 Zivildienst im Nervenkrankenhaus Bayreuth

Studium

10 / 1999 – 12/2004 Bayerische Julius-Maximilians-Universität Würzburg
11 / 2000 Naturwissenschaftliche Prüfung
03 / 2002 Zahnärztliche Vorprüfung
11 / 2004 Zahnärztliche Prüfung
12 / 2004 Approbation als Zahnarzt
Seit 11 / 2005 Assistenz Zahnarzt in Augsburg

Promotion

Priv.-Doz. Dr. med. D. Schneider
Klinikum für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
Abteilung Neurootologie
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Studienbegleitende Tätigkeiten

08 / 2003 – 10 / 2003 Famulatur Hue-Central-Hospital, Vietnam
12 / 2004 – 04 / 2005 Zahnärztliches Hilfsprojekt, Recife / Brasilien

Würzburg, 20.05.2006

F. Kupper