

Die Funktion des Gleichgewichtsorganes im Ohr

Zusammenfassung Unter Hinweis auf die verschiedenartigen Gleichgewichtsstörungen wird die Bedeutung des Gleichgewichtsorganes des Ohres erläutert. Im Überblick werden die anatomischen und physiologischen Grundlagen des Gleichgewichtsorganes des Ohres dargestellt und einige Funktionsprüfungen beschrieben. Abschließend wird auf die Möglichkeit von Erkrankungen des Gleichgewichtsorganes hingewiesen, wie sie sich bei Schwerhörigkeiten und überhaupt bei Ohrerkrankungen entwickeln können, da sehr enge räumliche Beziehungen zwischen dem Hör- und Gleichgewichtsorgan bestehen.

Summary The significance of the organ of balance in the ear is discussed with reference to the various types of imbalance. A survey of the anatomical and physiological principle of the organ of balance is presented and several functional studies are described. Lastly, mention is made of possible diseases of the organ of balance as a result of hearing impairment and diseases of the ear in general, since the auditory organ and the organ of balance are situated very close to one another.

Résumé En énumérant différents troubles d'équilibration, l'auteur explique l'importance de l'organe d'équilibration dans l'oreille. Il donne un aperçu des bases anatomiques et physiologiques et décrit ensuite quelques essais de fonctionnement de cet organe. Finalement, il mentionne les maladies possibles de l'organe d'équilibration, maladies qui peuvent résulter d'infirmités d'oreille ou, d'une façon générale, des affections de l'oreille, par suite des rapports locaux étroits entre les organes de l'ouïe et de l'équilibration.

Die wesentlichen Funktionen des Gleichgewichtsorganes innerhalb des Ohres sind die eines Sinnesorganes und Reflexempfängers. Gewöhnlich nehmen wir von der Sinnesfunktion dieses Organes keine bewußte Notiz. Erst bei Funktionsstörungen oder inadäquaten Reizen treten Empfindungen auf, die sich als Schwindel äußern. Nicht jeder Schwindel ist jedoch auf eine primäre Erkrankung des peripheren Gleichgewichtsorganes des Ohres zurückzuführen, erkrankt sein können auch die Gleichgewichtsnerven und deren Kerngebiete innerhalb des Zentralnervensystems. Diese zentralen Anteile bilden mit dem peripheren Gleichgewichtsapparat eine funktionelle Einheit. Als Beispiel einer



Abb. 1 Beispiel des typischen Drehschwindels



Abb. 2 Beispiel des vertikalen Schwankschwindels



Abb. 3 Beispiel des ohnmachtartigen Schwindels

Erkrankung nicht peripheren Ursprungs, bei der auch Schwindelzustände auftreten können, seien Geschwülste des Gehör- und Gleichgewichtsorganen genannt. Andererseits kann Schwindel als Nebenbefund bei verschiedenartigen Organerkrankungen auftreten, wobei sekundär das Gleichgewichtsorgan des Ohres innerhalb seines peripheren oder zentralnervösen Anteiles funktionell gestört wird. Arteriosklerotisch bedingte Durchblutungsstörungen können die Ursache sein, allgemein bekannt ist der Schwindel nach alkoholischer Vergiftung. Die Übersicht wird durch weitere Erkrankungen erschwert, bei denen ohne Beteiligung des Gleichgewichtsorganes schwindelartige Zustände beobachtet werden. Hierzu wäre der kreislaufbedingte ohnmachtsartige Hirnschwindel zu rechnen.

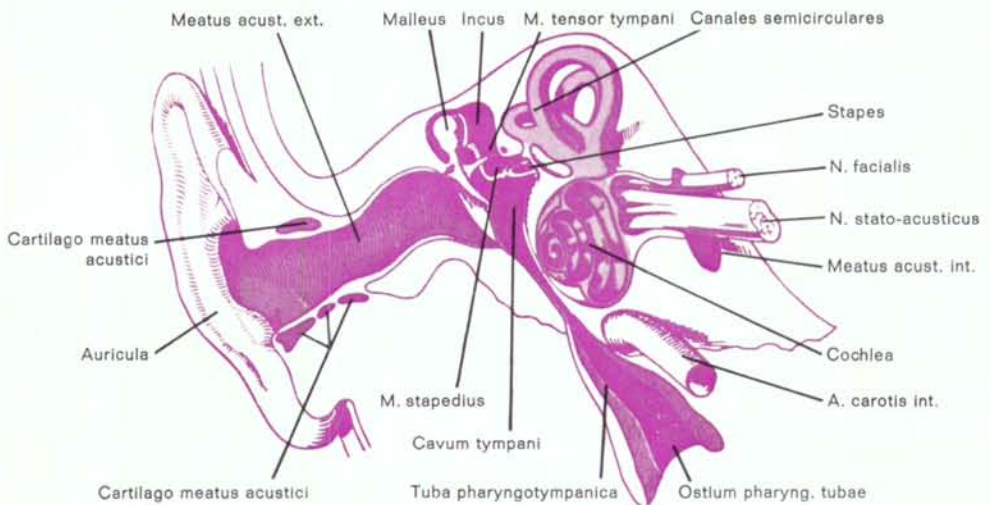
Die Patienten beschreiben entsprechend vielgestaltig die Art ihrer Schwindelbeschwerden. Sehr typisch wird der reine Drehschwindel geschildert, wie ihn die eindrucksvolle Zeichnung von Wilhelm Busch in Abbildung 1 demonstriert. Dieser Drehschwindel stellt das charakteristische Symptom einer Funktionsstörung des Gleichgewichtsorganes des Ohres dar. In Abbildung 2 wird eine vertikale Scheinbewegung der Umgebung gezeigt, der ebenfalls eine Störung des Gleichgewichtsorganes des Ohres zugrunde liegt. Die Abbildung 3 vermittelt uns den diffusen vasomotorischen Hirnschwindel, der als kreislaufbedingt anzusehen ist und nicht auf einer primären Erkrankung des Gleichgewichtsorganes des Ohres beruht. Auch in diesem Fall klagt der Patient über Schwindel der sich in Schwarzwerden vor den Augen äußert, charakteristische Scheinbewegungen der Umgebung fehlen. Diese Abbildungen stellen typische Befunde dar, deren ursächliche Einordnung wenig Schwierigkeiten bereitet. Daneben begegnen uns häufig Schwindelbeschwerden, die nicht sicher klassifiziert werden können, deren Ursache aber doch in einer Erkrankung des Gleichgewichtsorganes des Ohres zu suchen ist. Als ergänzende Kriterien neben der beschriebenen Art des Schwindels beachten wir, ob der Schwindel anfallsartig auftritt, ob er als Dauerschwindel oder nur in bestimmten Kopflagen oder bei Lageänderungen besteht.

Die Konstanthaltung und Regulierung unseres Gleichgewichtes ist ein überaus komplexer Vorgang und wird nicht vom Gleichgewichtsorgan des Ohres allein gesteuert. Noch zwei weitere Faktoren beteiligen sich an dem Regulationsmechanismus, einmal das Sehvermögen und zum anderen die Tiefensensibilität. Mit der Tiefensensibilität fassen wir alle Empfindungs- und Reflexvorgänge zusammen, die durch den Muskel-, Gelenk- und Hautsinn ausgelöst werden. Die Tiefensensibilität ist sogar für die Erhaltung des Gleichgewichtes beim Menschen von übergeordneter Bedeutung. Dagegen wird das Gleichgewicht mancher Tierarten im wesentlichen durch das Gleichgewichtsorgan des Ohres reguliert. Dies gilt zum Beispiel für Fische und Vögel, weil taktile Reize für deren Fortbewegung weniger wichtig sind.

Um die Funktion des Gleichgewichtsorganes des menschlichen Ohres zu erläutern, bedarf es einiger anatomischer Vorbemerkungen. Wir finden im Knochenmassiv des Felsenbeines eingebettet das Labyrinth oder Innenohr, welches aus der Schnecke als Schallempfänger und dem peripheren Gleichgewichtsorgan besteht (Abbildung 4). Man bezeichnet das Gleichgewichtsorgan auch als Vorhofbogengangssystem. Wir unterscheiden den Vorhofs- und Bogengangsteil. Der Vorhofsapparat mit seinen beiden senkrecht zueinander stehenden Vorhofsäckchen, dem Sacculus und Utriculus, registriert gradlinige Beschleunigungen, während der Bogengangssystem mit seinen Sinnesendzellen die entsprechenden Winkelbeschleunigungen aufnimmt. Wir wollen im wesentlichen die Funktion dieser Bogengänge erläutern, da die allgemein gebräuchlichen Untersuchungsmethoden des Gleichgewichtsorganes spezielle Prüfungen des Bogengangsystems darstellen und auch viele Symptome einer Gleichgewichtsstörung durch pathologische Veränderungen an den Bogengängen verursacht sind.

Die drei Bogengänge liegen annähernd in den drei Hauptebenen des rechtwinkligen Raumkoordinatensystems und stehen somit senkrecht aufeinander. Es handelt sich um

Abb. 4 Darstellung der drei Abschnitte des Gehörorganes (aus CORNING, Lehrbuch der topographischen Anatomie, Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer 1946)

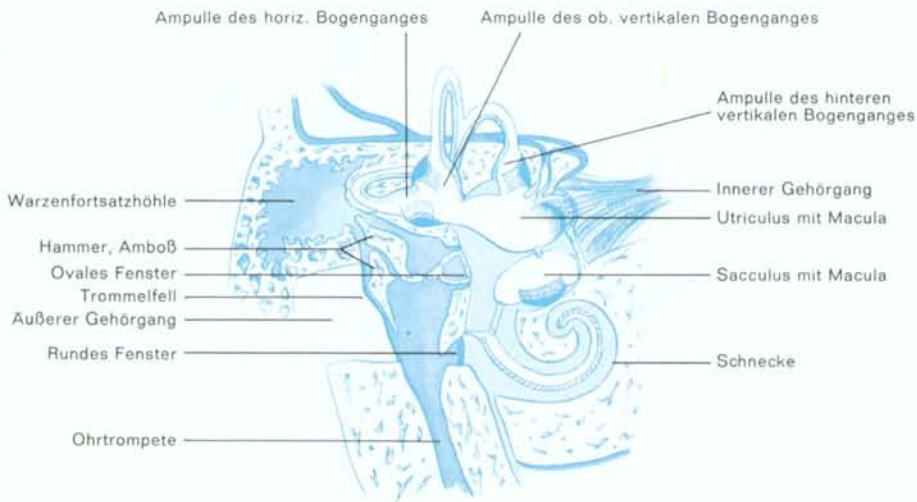


feinste knöcherne Kanäle, die wiederum die wesentlich kleineren häutigen Bogengänge beinhalten. Diese häutigen Bogengänge sind durch zarte Bindegewebsstränge mit dem knöchernen Kanal fixiert und werden von einer Flüssigkeit, der Perilymphe, umspült, die uns aber für das Verständnis der Funktion des Gleichgewichtsapparates nicht so sehr interessiert. Funktionell wichtig ist die Flüssigkeit innerhalb der häutigen Bogengänge, die als Endolymphe bezeichnet wird. Auf der schematischen Abbildung 5 des Innenohres erkennt man, daß sich ein Schenkel jedes Bogenganges vor seiner Einmündung in den Vorhof zu einer birnenförmigen Ampulle erweitert, welche die wichtigen Sinnesorgane enthält. Vom Sinnesepithel ausgehend reichen Sinneshaare, die passiv beweglich sind, bis zum Dach der Ampulle.

Dieses Bogengangssystem mit seinen Sinnesendzellen in den Ampullen wird durch Winkelbeschleunigungen bei Drehbewegungen erregt. Wenn sich der Kopf in der Ebene einer der Bogengänge dreht, wird die Endolymphe, also die Flüssigkeit innerhalb der häutigen Bogengänge, infolge ihrer Trägheit die Drehbewegung nicht sofort mitmachen, so daß eine Relativbewegung zwischen Endolymphe und Bogengangswand stattfindet. Die Strömung lenkt die Sinneshaare ab, und die Ablenkung stellt ihrerseits den Reiz dar, der zu einer Erregung der Sinneszellen führt.

Die Erregung der Sinneszellen wird nun zentralwärts weitergeleitet über den Gleichgewichtsnerve, den Nervus vestibularis. Seine Verbindung mit dem Kleinhirn, dem Rückenmark und den Kernen der Augenmuskelnerven bildet die anatomische Grundlage der Einschaltung des Gleichgewichtsorgans in den Bewegungsapparat. Bei einer Reizung des Bogengangapparates, wie sie im täglichen Leben schon bei kleinsten Drehbewegungen auftritt, empfinden wir subjektiv das Gefühl der Drehung. Objektiv erfolgt mittels nervöser Reflexbahnen eine Reihe unwillkürlicher Körperbewegungen, um das Gleichgewicht konstant zu halten. Es beteiligen sich daran praktisch die gesamten Körpermuskeln.

Abb. 5 Übersicht über das innere Ohr und seine Beziehung zum Mittelohr und Schädelinneren (nach ZANGE)



Interessant und recht anschaulich ist die anatomische und funktionelle Verbindung des Gleichgewichtsnerven mit den Kernen der äußeren Augenmuskelnerven. Hierdurch wird das optische Raumbild bei Drehbewegungen konstant gehalten. Ein kurzes Beispiel soll dies erläutern: das Bild der verwackelten photographischen Aufnahme ist allgemein geläufig. Wären die Augenäpfel in fixierter Lage in der Augenhöhle, ähnlich wie die Photolinse, dann würden wir bei Drehbewegungen unseres Kopfes das optische Bild verzeichnet wahrnehmen. Wir können dagegen den Kopf in gewissen Grenzen beliebig bewegen und behalten ein feststehendes Umgebungsbild. Die beschriebene Bogengangsstimulation führt über zentralnervöse Bahnen zu Umschaltvorgängen in den Kernen der Augenmuskelnerven und bedingt hierdurch bei Drehbewegungen des Kopfes ruckartige Bewegungen der Augäpfel, die wir als Nystagmus bezeichnen. Man kann diesen Drehnystagmus sehr eindrucksvoll an sich prüfen, indem man die geschlossenen Augen mit den Fingerkuppen zart berührt und langsam den Kopf dreht. Es entstehen im gleichen Prinzip wie bei der kinematographischen Aufnahme Momentbilder, die uns den Eindruck eines unverzerrten Raumbildes ermöglichen. Dieser Nystagmus der Augäpfel besteht aus einer langsamen und einer schnellen Phase, wobei die langsame Phase in entgegengesetzter Richtung zur Kopfbewegung verläuft. Die langsame Phase wird durch Impulse des Bogengangssystems ausgelöst, während die schnelle Komponente zentralnervös bedingt ist. Hiermit haben wir bereits eine wichtige Funktionsprüfung des Bogengangssystems kennengelernt, die wir eleganter mit qualitativen und quantitativen Meßergebnissen ausführen, indem wir den Patienten auf einem Drehstuhl langsam rotieren, wobei der Nystagmus nach ähnlichen Methoden wie bei der Herzstromschreibung, dem EKG, durch Elektroden abgeleitet wird.

Wir haben somit die Prinzipien des Bogengangssystems kennengelernt, wie sie für einfache kurze Winkelbeschleunigungen maßgebend sind, welche im täglichen Leben die fast ausschließliche Drehbewegungsart darstellen. Was geschieht aber nun, wenn wir einen Patienten auf dem eben erwähnten Drehstuhl zur Untersuchung des Bogengangssystems längere Zeit mit gleichförmiger Geschwindigkeit weiterdrehen? Um diese Vorgänge anschaulicher zu gestalten, darf auf das Beispiel des Walzertanzes hingewiesen werden, wo ähnliche gleichförmige Drehbewegungen vorkommen. In einem solchen Fall konstanter Drehbewegung wird allmählich die Endolymphe innerhalb der häutigen Bogengänge durch innere Reibung mitgedreht, so daß relativ zu den Wänden keine Strömung mehr auftritt. Wenn man das Beispiel des Walzertanzes im Stadium der konstanten Drehung verfolgt, wird es verständlich, daß die Sinneshaare nicht abgelenkt werden und die beschriebene Erregungsweiterleitung über den Gleichgewichtsnerven ausbleibt. Ein Nystagmus ist nicht zu beobachten. Das Umgebungsbild beim Tanzen ist verwischt, wie bei der verwackelten photographischen Aufnahme. Unser Gleichgewicht wird während dieser kontinuierlichen Drehung im wesentlichen über Reflexvorgänge reguliert, die von der Tiefensensibilität ausgehen, also dem Muskel- und Gelenksinn. Es wird unterstützt durch den optischen Eindruck der Horizontalen, die noch wahrgenommen werden kann. Setzt nun eine negative Beschleunigung ein, also beim Abbremsen der gleichförmigen Drehung oder beim plötzlichen Anhalten, so fließt die Endolymphe noch weiter, wodurch die Sinneshaare wieder abgelenkt werden, jetzt aber in entgegengesetzter Richtung wie beim Drehen. Obwohl wir uns nicht mehr bewegen, treten Bogengangreflexe auf und ein Drehnystagmus ist an den Augen zu beobachten. Wir empfinden bei diesem unphysiologischen Reiz das Scheingefühl der entgegengesetzten Drehung. Hier begegnet uns der typische Drehschwindel. Parallel mit dem Gefühl des Dreh-

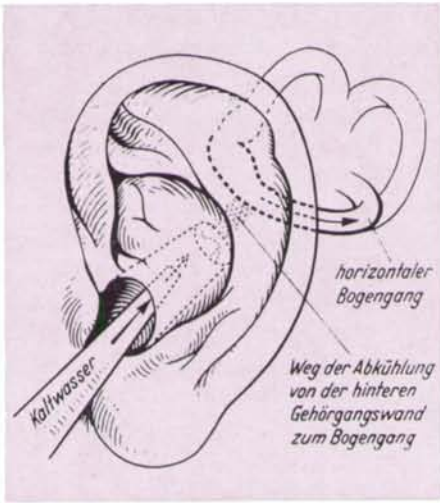


Abb. 6 Die kalorische Prüfung des Gleichgewichtsorganes (aus FRENZEL, Spontan- und Provokations-Nystagmus als Krankheitssymptom, Berlin, Göttingen, Heidelberg, Springer 1955)

schwindels entstehen durch Reflexe, die auf die Körpermuskulatur einwirken, unwillkürliche Bewegungen, die unser Gleichgewicht stören. Aus dem Ausmaß des Nystagmus beim Andrehen und beim Abbremsen, wie er nach Rechts- und nach Linksdrehung auf dem Drehstuhl auftritt, lassen sich wichtige Rückschlüsse auf die Bogengangsfunktion ziehen.

Um die physiologischen Vorgänge der Bogengangsreizung klarer herauszustellen, soll auf eine weitere Funktionsprüfung eingegangen werden. Es ist allgemein bekannt, daß ein Patient mit einer Trommelfellperforation kein Wasser in die Tiefe des äußeren Gehörgangs bekommen darf. Es besteht dabei die Gefahr, daß einmal eine Entzündung der Mittelohrschleimhaut aufflackern könnte und weiter durch den Kältereiz Schwindel hervorgerufen wird. Oft klagen auch Patienten über Schwindel nach Anwendung von Ohrentropfen, wenn diese zu kalt eingebracht werden. Diese Schwindelbeschwerden verbunden mit Nystagmus lassen sich ebenfalls auf eine Bogengangsreizung zurückführen, wie wir sie bei der sogenannten kalorischen Prüfung als Untersuchungsmethode anwenden. In Abbildung 6 ist zu erkennen, wie man den äußeren Gehörgang mit Wasser spült, das kälter oder wärmer als die Körpertemperatur sein muß. Der thermische Reiz pflanzt sich über die hintere knöcherne Gehörgangswand und über das Trommelfell zur äußeren Wand des horizontalen Bogenganges fort. Hierdurch verändert die unmittelbar an der Einwirkungsstelle liegende Endolymphe ihre Temperatur und ihr spezifisches Gewicht. In geeigneter Position des Kopfes wird die spezifisch leichtere oder schwerere Endolymphflüssigkeit bestrebt sein, nach oben oder unten zu fließen. Durch diese Endolymphströmung werden wieder die bekannten vestibulären Reflexe ausgelöst: Nystagmus, den wir in seiner Zahl und Dauer registrieren, das Gefühl der Drehbewegung, das sich bei stärkerem Reiz zum Drehschwindel steigert. Weiter erfolgen durch Einwirkung auf die Körpermuskulatur charakteristische Körperbewegungen zu einer bestimmten Seite. Mittels dieser Methode, die den großen Vorteil bietet, beide Labyrinth gesondert zu untersuchen, kann man aussagen, ob das Bogengangssystem einer Seite überhaupt noch erregbar ist und weiter lassen sich aus Seitendifferenzen wichtige Rückschlüsse ziehen.

Die normale Lage- und Bewegungsempfindung wird von den Gleichgewichtsorganen des rechten und linken Ohres gleichzeitig vermittelt. Normalerweise gehen ständig von jedem der beiden Bogengangssysteme elektrische Impulse über den Gleichgewichtsnerven zum gleichseitigen Vestibulariskern, die sich in der Ruhe die Waage halten. Es besteht ein sogenannter symmetrischer Vestibularruhe-tonus. Erfolgt durch einseitige Felsenbeinverletzung ein plötzlicher Labyrinthausfall, dann fehlt die tonisierende Funktion des ausgefallenen Labyrinths, so daß der Tonus des anderen Labyrinthes überwiegt. Es treten charakteristische Dekompensationserscheinungen auf, die sich gesetzmäßig in subjektiven und objektiven Ausfallsymptomen äußern. Der Patient klagt subjektiv über Drehschwindel, entsprechend findet man objektiv bei plötzlichem einseitigen Labyrinthausfall Spontannystagmus. Weiter ergeben sich zahlreiche Reflexstörungen, die sich als motorische Erregungseffekte äußern. Das Gleichgewicht ist durch unbewußte Körperbewegungen gestört. Versucht der Patient geradeauszugehen, wird der Gang zur Seite des erkrankten Ohres abweichen, oder er droht sogar zur erkrankten Seite umzufallen. Zu erwähnen wäre noch, daß auch sogenannte Vagussymp-tome auftreten können, die sich in Form von Blässe, Schweißausbruch und Übelkeit bemerkbar machen. Diese Symptome werden hervorgerufen, weil Erregungen des Gleichgewichtsnerven in seinem Kerngebiet auf die benachbarten Kerne des Nervus vagus übergreifen.

Alle diese Symptome können also bei plötzlichem Ausfall eines Labyrinthes auftreten. Nach einigen Wochen bilden sich die Ausfallssymptome zurück, indem die Funktion des ausgefallenen Gleichgewichtsorganes durch langsam ablaufende Kompensationsvorgänge innerhalb des Zentralnervensystems ausgeglichen wird. Subjektive Klagen werden dann kaum noch geäußert, auch ein spontaner Nystagmus läßt sich oft nicht mehr beobachten. Entsprechend kann ein langsamer schleichender Labyrinthausfall mehr oder weniger unbemerkt bleiben, da sich die Gegenregulation kontinuierlich den sich allmählich verändernden Verhältnissen anpaßt. Auch bei Funktionsausfällen beider Labyrinth, wie man es bei gewissen hochgradigen Innenohrschwerhörigkeiten oder bei angeborener Taubheit findet, ist die Regulierung des Gleichgewichtes noch recht gut erhalten. Die Steuerung wird von den anderen Gleichgewichtsorganen also von der Tiefensensibilität und dem Auge allein übernommen. Selbst bei Ausschaltung von Labyrinth und Auge besteht noch ein labiles Gleichgewicht, vorausgesetzt natürlich, daß die Tiefensensibilität gut intakt ist. Sind jedoch die Tiefensensibilität und das Labyrinth gestört, wie zum Beispiel bei einem ertaubten Tabiker, ist kein Gleichgewicht oder Gang ohne Hilfe mehr möglich.

Wichtig sind die engen räumlichen Beziehungen zwischen Hör- und Gleichgewichtsorgan. Durch akute und chronische Mittelohrentzündungen, sei es durch chronische Schleimhauteiterungen, oder Cholesteatomeiterungen, können jederzeit entzündliche Labyrinthkomplika-tionen auftreten. Hierbei ist die Überleitungsmöglichkeit der Entzündung über das ovale oder runde Fenster gegeben oder aber ein Cholesteatom arrodirt den horizontalen Bogengang unter Bildung einer sogenannten Labyrinthfistel. Solche Patienten klagen oft über spontane Schwindelbeschwerden, Nystagmus ist objektiv nachweisbar. Jede Beteiligung des Labyrinths bei entzündlichen Mittelohrerkrankungen gilt als bedrohliche Verwicklung, die rasch zu Hirnhautentzündungen oder zu Hirnabszessen führen kann. Deshalb ist die Kenntnis dieser Symptome so wichtig und es ist unerläßlich, bei jedem schwerhörigen Patienten eine eventuelle Labyrinthbeteiligung auszuschließen. Schwindelbeschwerden deuten bei Ohrerkrankungen immer auf Komplikationen hin.