

Aus der  
Universitätsklinik für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde  
der Medizinischen Fakultät  
der Otto- von- Guericke-Universität Magdeburg  
Direktor: Prof. Dr. med. Bernd Freigang

# **Der Einfluss des Alters und des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichtsfunktion**

**- eine Untersuchung mittels statischer und dynamischer  
Posturographie**

## **Dissertation**

**zur Erlangung des Doktorgrades**

**Dr. med.**

**(doctor medicinae)**

an der Medizinischen Fakultät  
der Otto- von- Guericke-Universität Magdeburg

vorgelegt von Jan Brödemann

aus Magdeburg

Magdeburg 2003

## **Dokumentationsblatt**

### **Bibliographische Angaben:**

Jan Brödemann, 2003:

Der Einfluss des Alters und des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichtsfunktion -eine Untersuchung mittels statischer und dynamischer Posturographie

Zahl der Seiten: 74, Zahl der Abbildungen: 23, Diagramme: 8, Tabellen: 10

### **Kurzreferat:**

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, mit Hilfe der statischen und dynamischen Posturographie den Einfluss des Alters auf die Gleichgewichtsfunktion bei Gesunden darzustellen sowie zu ermitteln, welche der verwendeten Messsysteme, Gleichgewichtskonditionen und Messgrößen am geeignetsten erscheinen, um den Einfluss des Alters zu demonstrieren. Weiter wurde untersucht, ob bei Patienten mit einseitigem Akustikusneurinom charakteristische Veränderungen in der posturographischen Aufzeichnung zu finden sind, die zur Diagnostik und Verlaufsbeobachtung vestibulärer Störungen beitragen können. Um das Körpergleichgewicht in aufrechten Standpositionen einschätzen zu können, kamen für die statische Posturographie das Messsystem der Firma Kistler® und für die dynamische Posturographie der EquiTest® zum Einsatz. Zur Ermittlung des Alterseinflusses auf die Gleichgewichtsfunktion bei Gesunden wurde eine Population von 60 Personen im Alter von 15 – 85 Jahren untersucht. Bei der Darstellung des Einflusses eines Akustikusneurinoms (AN) auf das Gleichgewicht sind 12 Patienten mit klinisch und röntgenologisch gesichertem Akustikusneurinom posturographisch getestet worden, wobei deren Messergebnisse anschließend mit denen von gleichaltrigen Gesunden verglichen wurden. Die Ergebnisse der Studie zum Alterseinfluss auf die Gleichgewichtsfunktion zeigten, dass sich mit Zunahme des Alters die posturographischen Messparameter im Sinne einer Schwankungszunahme verändern, wodurch eine Beeinträchtigung der Gleichgewichtsfunktion im Alter anzunehmen ist. Für diese Darstellung erwiesen sich bei der statischen Posturographie insbesondere die Messung der Spurlänge und bei der dynamischen Posturographie die Ermittlung des Equilibrium-Scores gerade unter den Gleichgewichtskonditionen mit höherem Schwierigkeitsgrad als besonders geeignet. Mögliche Ursachen für die Veränderungen der Gleichgewichtsfunktion im Alter sowie deren klinische Bedeutung wurden diskutiert. Beim Vergleich der Messdaten der Gesunden mit denen von den AN-Patienten war mit Hilfe der statischen Posturographie kein signifikanter Einfluss auf die Gleichgewichtsfunktion nachzuweisen. Unter den Konditionen Cond.5 und Cond.6 des EquiTest® unterschieden sich die Equilibrium-Scores der AN-Patienten signifikant von denen der Gesunden. Bei einem Drittel der untersuchten AN-Patienten deutete die sensorische Analyse des EquiTest® auf eine vestibuläre Störung hin.

**Schlüsselwörter:** Gleichgewichtsfunktion, Alter, Akustikusneurinom, Posturographie

# INHALT

Verzeichnis der Abkürzungen.....	5
<b>1. EINFÜHRUNG.....</b>	<b>6</b>
1.1 Das Körpergleichgewicht und die Kontrolle der Körperhaltung.....	6
1.2 Anatomische und physiologische Grundlagen des Gleichgewichtssystems.....	7
1.2.1 Anatomie.....	7
1.2.1.1 Das vestibuläre System.....	7
1.2.1.1.1 Der periphere Gleichgewichtsapparat.....	8
1.2.1.1.2 Das zentrale Gleichgewichtssystem.....	12
1.2.1.1.3 Die Gleichgewichtsbahn.....	13
1.2.1.2 Das optische System.....	14
1.2.1.3 Das propriozeptive System.....	14
1.2.2 Physiologie.....	15
1.2.2.1 Der motorische Ausgang des Gleichgewichtssystems.....	16
1.2.2.2 Die Kontrolle der Körperhaltung.....	17
1.2.2.3 Das System der Körperhaltungskontrolle.....	18
1.4 Statische und dynamische Methoden zur Prüfung der Gleichgewichtsfunktion.....	21
1.5.1 Der Romberg-Test.....	21
1.5.2 Die Posturographie.....	22
1.5 Das Akustikusneurinom.....	23
1.6 Herleitung der Aufgabenstellung.....	24
<b>2. MATERIAL und METHODEN.....</b>	<b>25</b>
2.1 Probanden- und Patientengut.....	25
2.2 Untersuchungsmethoden und Ablauf für die Darstellung des Einflusses des Alters auf die Gleichgewichtsfunktion.....	26
2.2.1 Die Untersuchung mit der statischen Posturographie.....	26
2.2.1.1 Das Messsystem.....	26
2.2.1.2 Versuchsablauf und Gleichgewichtskonditionen.....	27
2.2.1.3 Gemessene Größen und errechnete Größen.....	28

2.2.2	Die Untersuchung mit der dynamischen Posturographie.....	29
2.2.2.1	Das Messsystem.....	29
2.2.2.2	Versuchsablauf und Gleichgewichtskonditionen.....	30
2.2.2.3	Gemessene Größen und errechnete Größen.....	32
<b>2.3</b>	<b>Untersuchungsmethoden und Ablauf für die Darstellung des Einflusses des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichts- funktion.....</b>	<b>35</b>
2.3.1	Untersuchung der AN-Patienten mittels statischer Posturographie.....	35
2.3.1.1	Das Messsystem.....	35
2.3.1.2	Versuchsablauf und Gleichgewichtskonditionen.....	35
2.3.1.3	Gemessene Größen und errechnete Größen.....	35
2.3.2	Untersuchung der AN-Patienten mittels dynamischer Posturographie.....	36
2.3.2.1	Das Messsystem.....	36
2.3.2.2	Versuchsablauf und Gleichgewichtskonditionen.....	36
2.3.2.3	Gemessene Größen und errechnete Größen.....	36
<b>2.4</b>	<b>Auswertung der Daten und statistische Verfahren.....</b>	<b>37</b>
<b>3.</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>38</b>
<b>3.1</b>	<b>Der Einfluss des Alters auf die Gleichgewichtsfunktion.....</b>	<b>38</b>
3.1.1	Die statische Posturographie.....	38
3.1.1.1	Die Spurlänge.....	38
3.1.1.2	Der RMS-Wert.....	42
3.1.1.3	Der Romberg-Quotient.....	43
3.1.2	Die dynamische Posturographie (EquiTest).....	44
3.1.2.1	Der Equilibrium-Score.....	44
3.1.2.2	Der Composite-Wert.....	47
<b>3.2</b>	<b>Der Einfluss des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichts- funktion.....</b>	<b>49</b>
3.2.1	Die statische Posturographie.....	49
3.2.1.1	Der Vergleich der Spurlängen.....	49
3.2.2	Die dynamische Posturographie.....	50
3.2.2.1	Der Vergleich der Equilibrium-Scores .....	50
3.2.2.2	Der Vergleich der Composite-Werte.....	51
3.2.2.3	Die sensorische Analyse des EquiTest.....	51
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Der Einfluss des Alters auf die Kontrolle der Körperhaltung untersucht mittels statischer und dynamischer Posturographie.....</b>	<b>54</b>

<b>4.2 Klinische Aspekte sowie physiologische und morphologische Veränderungen am Gleichgewichtssystem im Alter.....</b>	<b>58</b>
4.2.1 Morphologische Veränderungen im Alter.....	58
4.2.2 Physiologische Veränderungen im Alter.....	60
<b>4.3 Der Einfluss des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichtsfunktion.....</b>	<b>64</b>
<b>4.4 Die Posturographie in der Klinik.....</b>	<b>65</b>
<b>5. ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>68</b>
<b>6. ZITIERTE LITERATUR.....</b>	<b>69</b>

## Danksagung

## Erklärung

## Darstellung des Bildungsweges

## Verzeichnis der Abkürzungen

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
AN	Akustikusneurinom
ANOVA	Varianzanalyse = Analysis of variance
bzw.	beziehungsweise
CdG	Gravitationszentrum(centre de gravité) = Körperschwerpunkt
CdP	Druckzentrum(centre de pression) = Kraftschwerpunkt
CI	Konfidenzintervall
COG	Gravitationszentrum(center of gravity) = Körperschwerpunkt
Cond.	Gleichgewichtskondition
Diag.	Diagramm
ES	Equilibrium-Score
LOS	Stabilitätsgrenzen = limits of stability
M.	Musculus
N.	Nervus
NS	nicht signifikant
Px	Punktsignal für Körperschwankungen in x-Richtung (lateral)
Py	Punktsignal für Körperschwankungen in y-Richtung (anterior-posterior)
RMS	root mean square amplitude (mittlere Schwankungsamplitude)
RQ	Romberg-Quotient
SL	Spurlänge der Schwankungsexkursion in mm
S	Standardabweichung
S <sup>2</sup> /n	Standardfehler der Mittelwerte
SOT	sensorischer Organisationstest (EquiTest®)
SPSS	Standardsoftware zur statistischen Auswertung wissenschaftlicher Daten
Tab.	Tabelle
VOR	vestibulo-okulärer Reflex
VSR	vestibulo-spinaler Reflex
z.B.	zum Beispiel
ZNS	Zentralnervensystem

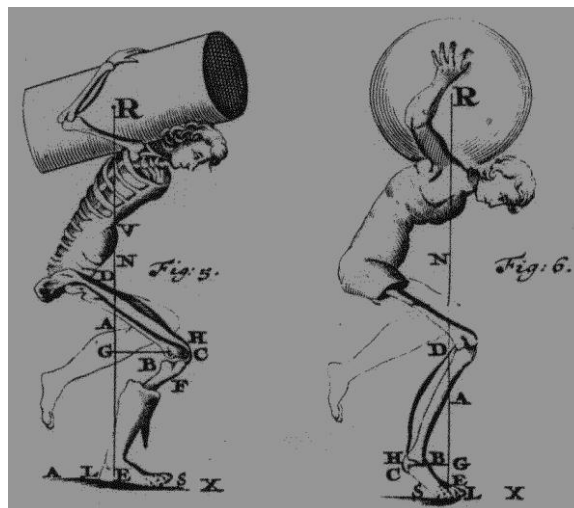


# 1. EINFÜHRUNG

## 1.1 Das Körpergleichgewicht und die Kontrolle der Körperhaltung

Ein Körper befindet sich im Gleichgewicht, wenn er zwischen zwei gleichwertigen, entgegengesetzten und sich damit aufhebenden Kräften positioniert ist.

Diese rein physikalische Definition trifft ebenfalls für den menschlichen Körper zu, der von der Gravitationskraft der Erde an der Erdoberfläche gehalten wird (Gagey et al.1998). Die am menschlichen Körper angreifende Gravitation und die dadurch entstehende Druckkraft an seiner Standfläche wirken hierbei entgegengesetzt. Um eine Gleichgewichtsposition zu erlangen, müssen die Vektoren beider Kräfte auf einer gemeinsamen Vertikalen liegen (Brisson Mathurin 1803). Bereits im 17ten Jahrhundert erkannte man die vertikale Ausrichtung der Gravitationskräfte beim aufrechten Stand, und so zeichnete Borelli 1680 erstmalig eine theoretische, senkrechte Verbindungsgerade vom Gravitationszentrum eines belasteten menschlichen Körpers zum Zentrum der Druckkräfte an seiner Standfläche (Abb.1).



**Abb.1** Die vertikale Wirkungslinie der Schwerkraft am stehenden Menschen  
- erste gefundene Zeichnung in „De motu animalium“(Borelli 1680)

Die für den Alltag des Menschen benötigte aufrechte Standposition ist, selbst ohne zusätzliche Belastung, aus physikalisch-statischer Sicht ungünstig, da das Gravitationszentrum des menschlichen Körpers oberhalb seines Druckzentrums positioniert ist. Durch die Distanz dieser beiden Zentren und die Flexibilität des Körpers weichen Gravitationszentrum und Druckzentrum immer wieder von der gemeinsamen Vertikalen ab. Daraus wird ersichtlich, dass sich der menschliche Körper in aufrechter Standposition eigentlich nie im Gleichgewicht befindet.

Er ist vielmehr in ständiger Bewegung, um sich der Gleichgewichtsposition zu nähern. Für diese in der Regel unwillkürlichen Abläufe verfügt der Mensch über ein System, das die Positionsänderungen im Bezug zur räumlichen Umgebung, zur Gravitationsvertikalen und der eigenen Körperpartien erkennt und die entsprechenden Ausgleichbewegungen veranlasst. Bei diesem System handelt es sich um das Gleichgewichtssystem in enger funktioneller Verbindung mit dem ihm untergeordneten Kontrollsystem der Körperhaltung.

## 1.2 Anatomische und physiologische Grundlagen des Gleichgewichtssystems

Zum Verständnis der Beurteilung der Funktionsweise des Gleichgewichtssystems mit Hilfe posturographischer Messmethoden erscheint es notwendig, die anatomischen und physiologischen Komponenten des Gleichgewichtssystems in Zusammenhang mit dem ihm untergeordneten System der Körperhaltungskontrolle kurz zu beschreiben. Letzteres ist von besonderer Bedeutung, da mit diesem System die Körperhaltung reguliert wird, die als ein motorischer Ausgang des Gleichgewichtssystems gilt, und dessen direkte Beurteilung durch posturographische Messungen möglich ist.

### 1.2.1 Anatomie

Das Gleichgewichtssystem des Menschen dient der Aufrechterhaltung des statischen und dynamischen Gleichgewichts bei sich im Alltag ständig verändernden Gleichgewichtsbedingungen und ist daher durch eine große Komplexität gekennzeichnet.

Am Gleichgewichtssystem beteiligen sich drei afferente Systeme, über welche äußere und innere Informationen Zugang finden sowie das System des motorischen Ausgangs, welches über die motorischen Neurone die Ausgleichsbewegungen zur Haltung des Körpers und der Augen generiert.

Als Haupteingänge für das Gleichgewichtssystem dienen:

- das vestibuläre System
- das visuelle System
- das propriozeptive und somatosensible System.

#### 1.2.1.1 Das vestibuläre System

Das vestibuläre System ist ein phylogenetisch sehr altes und hochentwickeltes menschliches Kontrollsystem.

Als ein sehr wichtiger Teil des Gleichgewichtssystems liefert es Informationen zum Zentralnervensystem über lineare oder anguläre Beschleunigungs- oder Verzögerungsvorgänge.

Das vestibuläre System besteht aus einem peripheren Gleichgewichtsapparat, der als afferent wirkender Teil des Systems die Informationen aufnimmt und weiterleitet sowie einem zentralen Gleichgewichtssystem, das der zentralen Verarbeitung dient (vestibulärer Kernkomplex, Kleinhirn, vestibuläres Projektionsfeld an der Hirnrinde).

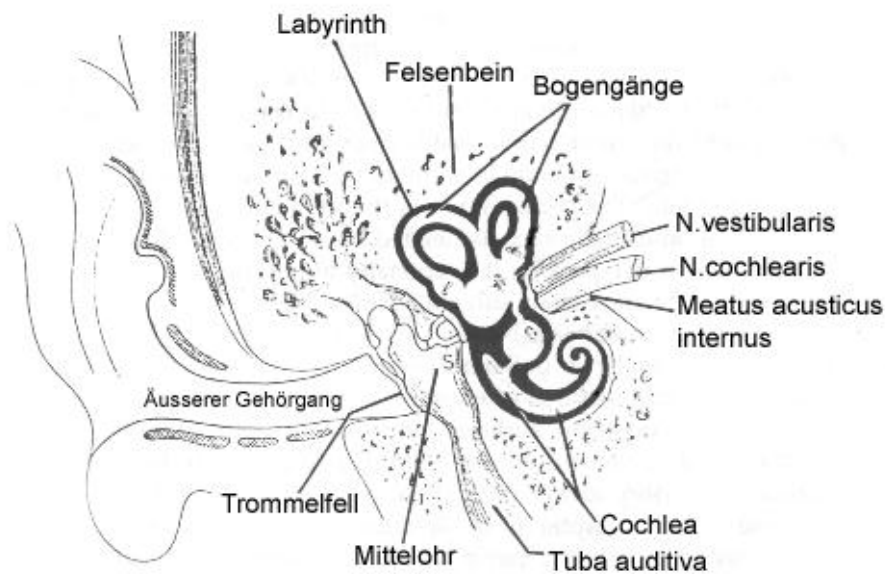
Die Gleichgewichtsbahn ist der Teil des vestibulären Systems, der ausgehend vom peripheren Gleichgewichtsapparat die Verbindung einerseits zum zentralen Gleichgewichtssystem und andererseits zu den Systemkomponenten der motorischen Rückkopplung herstellt.



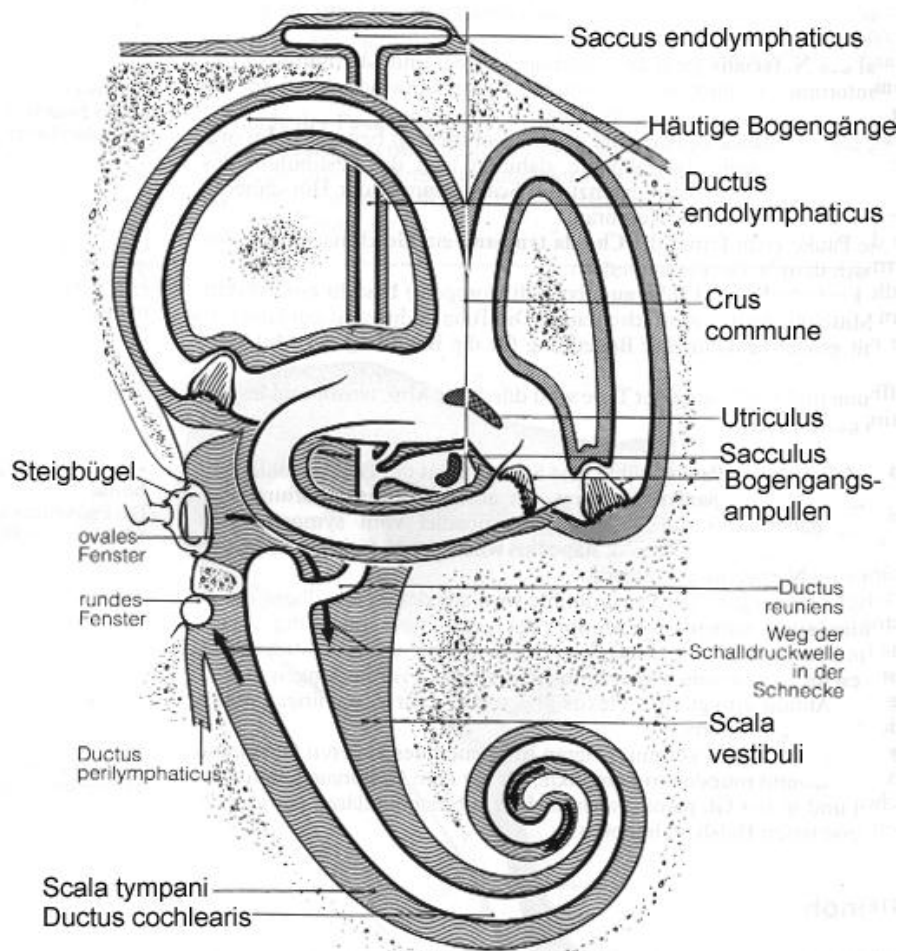
### 1.2.1.1.1 Der periphere Gleichgewichtsapparat

Der periphere Gleichgewichtsapparat liegt paarig zusammen mit dem Hörorgan als sogenanntes Labyrinth eingebettet im Felsenbein. (Abb.2)

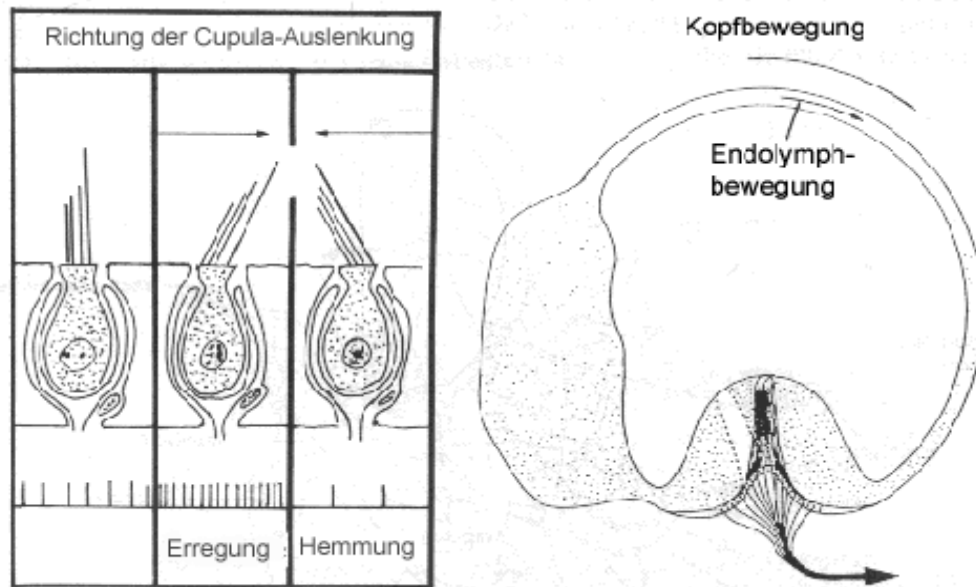
**Abb.2** Das Labyrinth des Innenohres (Herdman 1994)



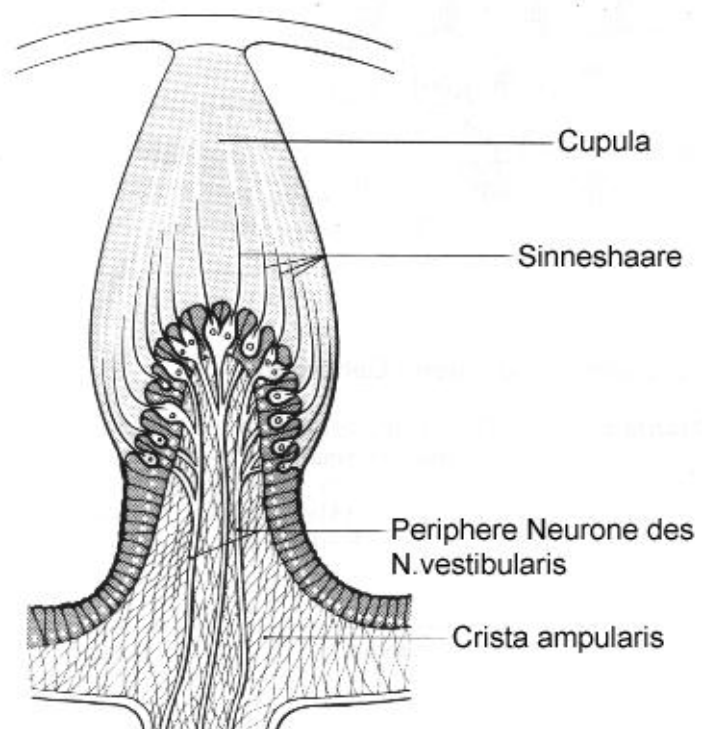
**Abb.3** Schema der Innenohrräume (Berghaus et al.1996a)



Der häutige Anteil des Labyrinths wird von einem knöchernen Hohlraumssystem umschlossen. In ihm liegen die Rezeptoren für den peripheren Gleichgewichts - apparat. Das häutige Labyrinth besteht aus dem Vestibulum mit Sacculus und Utriculus sowie den drei Bogengängen (Abb.3). Die drei halbkreisförmigen Bogengänge stehen im rechten Winkel zueinander und werden nach ihrer Lage im Felsenbein als vorderer, hinterer und seitlicher Bogengang bezeichnet. Der seitliche Bogengang ist um  $30^\circ$  in seiner Ebene angehoben. Jeder Bogengang ist an einem Ende kolbenförmig zur Ampulle erweitert. (Abb.4a) und b))



**Abb.4a)** Endolympfbewegungen im Bogengang bei der Kopfbrotation (Herdman 1994)



**Abb.4b)** Das Innere der Ampulle (Berghaus et al.1996a)

In der Ampulle befindet sich eine gegen das Lumen vorragende Leiste - die Crista ampullaris. Die Crista trägt an der Oberfläche ein Epithel, das die Sinneszellen mit Sinneshärchen enthält. Diese ragen in eine gallertartige Masse - die Cupula. Von jeder Ampulle führt ein Nervenbündel zum N. vestibulocochlearis (VIII. Hirnnerv).

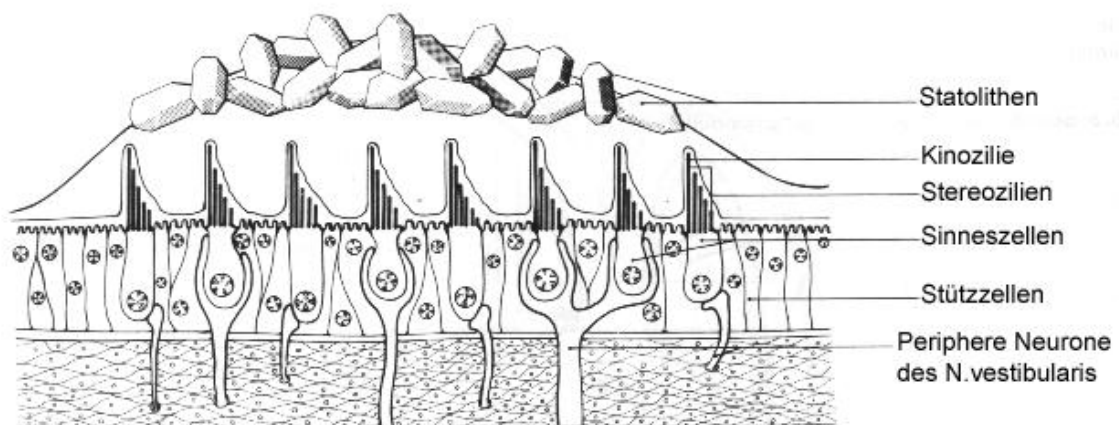
Durch die Strömungsbewegungen der Endolymphe wird die Cupula bewegt (Abb.4a der vorherigen Seite). Die Abwinkelung der Sinneshaare durch Auslenkung der Cupula ist der adäquate Reiz für diese Sinneszellen und führt zu einer Drehempfindung.

Der Vorhof (Vestibulum) ist der „Vorraum“ zu den Bogengängen.

Er ist für das Gleichgewicht beim aufrechten Stand von besonderer Bedeutung, da er für Sinneswahrnehmung der Gravitationskraft sowie aller linearen Beschleunigungsvorgänge verantwortlich ist. Er grenzt an das ovale Fenster, in welchem der Steigbügel mit seiner Fußplatte sitzt.

Das Vestibulum enthält Utriculus und Sacculus.

Utriculus und Sacculus haben je ein ovales Sinnesfeld, die Macula (Abb.5).



**Abb.5** Die Macula (Berghaus et al.1996a)

Die Macula utriculi liegt horizontal, die Macula sacculi steht senkrecht zur Körperachse.

Die Härchen der Sinneszellen reichen in eine gallertartige Membran, der feine Kalkkristalle (Statolithen, Otolithen) aufgelagert sind.

Die Sinneszellen haben weiter Anschluss an afferente Nervenfasern, die sich im Ganglion scarpae als erstes Neuron versammeln und als N. vestibularis zum Vestibulariskerngebiet weiterlaufen.

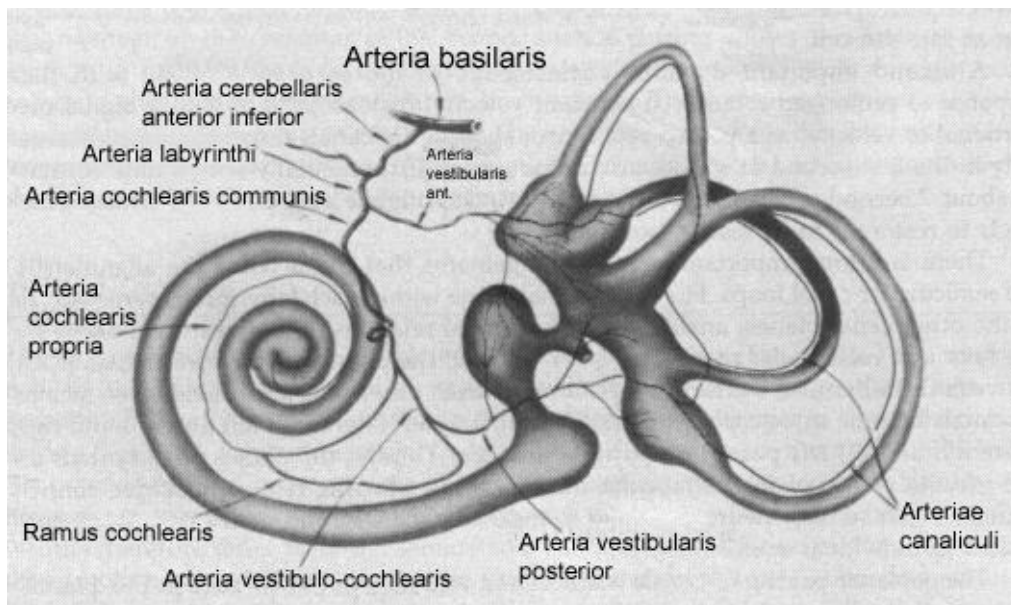
Die Maculae sprechen auf geringste Änderungen der Schwerkraft und auf lineare Beschleunigungen an. Die Funktionsweise des Vestibulums in Anbindung an das vestibuläre System ist entscheidend für die Erhaltung des Körpergleichgewichtes beim aufrechten Stand in Ruhe.

Das periphere Gleichgewichtsorgan besteht aus dem labyrinthären Anteil des vestibulären Systems und dem N. vestibularis bis zu seinem Eintritt in den Hirnstamm (Kleinhirnbrückenwinkel).

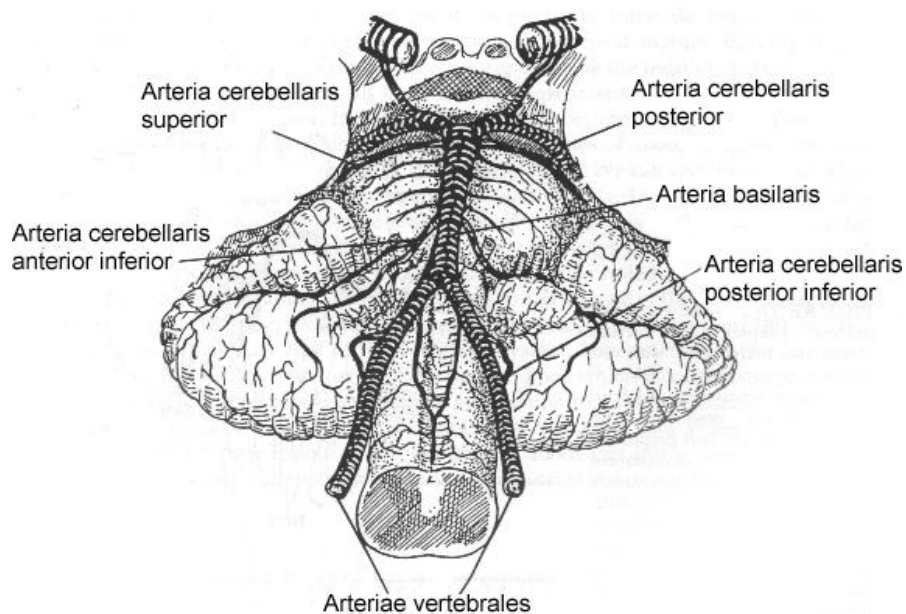
Die Blutversorgung des häutigen Labyrinths erfolgt hauptsächlich durch die A.labyrinthe, die aus der A.basilaris entspringt (Abb.6b).

Im Bereich des Fundus des inneren Gehörganges teilt sich die A.labyrinthe in die A.vestibularis anterior und A.cochlearis communis (Abb.6a). Der erste Ast versorgt im Wesentlichen den oberen und horizontalen Bogengang, sowie den Utriculus und der zweite in Form von radiär verlaufenden Arteriolen das Cortische Organ.

Ein Ast der A.cochlearis communis (A.vestibularis posterior) versorgt den hinteren Bogengang und den Sacculus. Eine Durchblutungsstörung in der A.labyrinthe oder einer ihrer Äste kann gravierende Funktionseinbußen im Labyrinth bewirken, da keine Anastomosen zu anderen wichtigen Arterien existieren (Haid 1990a) (Abb.6a).



**Abb.6 a)** Die arterielle Versorgung des Labyrinths (Herdman1994)



**Abb.6 b)** Das arterielle, vertebrobasiläre System (Herdman 1994)

### 1.2.1.1.2 Das zentrale Gleichgewichtssystem

Es besteht aus den Gleichgewichtskernen, dem Kleinhirn und dem kortikalen Vestibularisprojektionsfeld.

Die Grenze zwischen dem peripheren und dem zentralen Gleichgewichtssystem liegt in Höhe der Gleichgewichtskerne.

Der Gleichgewichtskernkomplex setzt sich aus vier „Haupt“-kernen; dem Nucleus superior (Bechterew), Nucleus medialis (Schwalbe), Nucleus lateralis (Deiters), Nucleus inferior (Roller) und mindestens sieben „Neben“-kernen zusammen.

Der Kernkomplex liegt in der Rautengrube, ist ca. 10 mm lang und reicht von der Pons bis zur Medulla oblongata.

Die Gleichgewichtskerne sind durch ein System von Kommissuren, die zum größten Teil inhibitorisch wirken, verbunden. Die Kommissuren erlauben den Informationsaustausch zwischen beiden Seiten des Hirnstammes.

Im Gleichgewichtskernkomplex findet die Verarbeitung der vestibulär-sensorischen Information statt, wobei dieser Vorgang dem ständigen Einfluss der extravestibulären Informationen (z.B. propriozeptiven, visuellen und auch auditiven Informationen) unterliegt.

Die Gleichgewichtskerne sind wichtige Relaispunkte für den vestibulookulären (VOR) sowie für den vestibulospinalen Reflex (VSR).

An den vestibulospinalen Reflexen sind insbesondere der laterale und der mediale Gleichgewichtskern beteiligt, die somit Kopf- und Augen-, Hals- und Rumpfbewegungen koordinieren.

Die Funktionsweise des vestibulospinalen Reflexbogens ist für den aufrechten Stand in Ruhebedingungen sehr wichtig. Anatomische Variationen oder degenerative Erscheinungen in diesen Strukturen können daher zu einer Beeinträchtigung der Kontrolle der Körperhaltung und der Gleichgewichtsfunktion führen.

Die Gleichgewichtskerne enthalten Zellen der zweiten Neurone. Sie stellen die Verbindungen zum Rückenmark her (Tractus vestibulospinalis).

Die engen Verbindungen der Kerne zum Kleinhirn, zu den Augenmuskelkernen über den Fasciculus longitudinalis medialis sowie die Verbindung zur Formatio reticularis ermöglichen adäquate efferente Signale für die Ausführungsorgane des VOR und VSR. (Herdman 1994)

Das kortikale Vestibularisprojektionsfeld ist bilateral angelegt, wobei zwischen beiden Labyrinthen und beiden Großhirnhemisphären durch gekreuzte und ungekreuzte Bahnen eine Verbindung besteht.

Dieses kortikale Projektionsfeld wird in der Area 2 vermutet. Dort treffen somatosensible und propriozeptive Afferenzen zusammen.

Sie sind wichtig für die Koordination von bewusster Ziel- und Stützmotorik, sowie für die bewusste räumliche Orientierung.

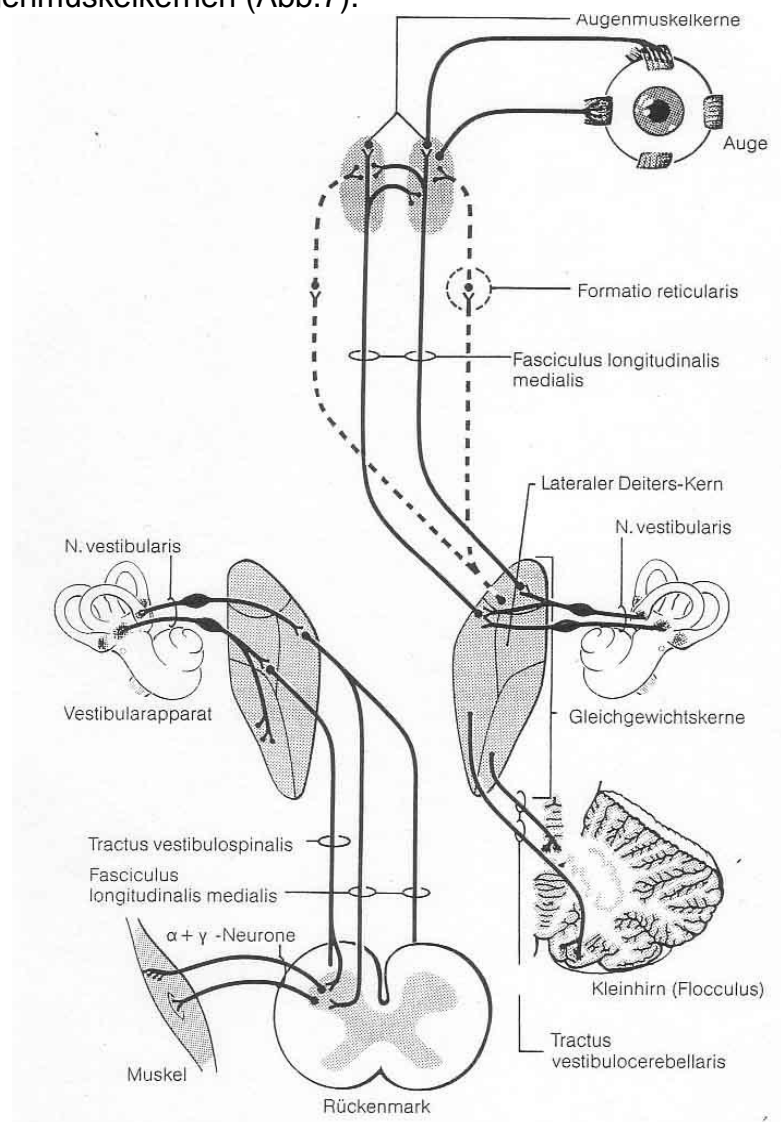
### 1.2.1.1.3 Die Gleichgewichtsbahn

Die Gleichgewichtsbahn verbindet den peripheren Gleichgewichtsapparat mit dem zentralen Gleichgewichtssystem einerseits und den Strukturen der motorischen Rückkopplung andererseits. Die Gleichgewichtsbahn stellt die anatomische Grundlage für die Reflexbögen des VSR und des VOR dar. Sie ermöglicht beim aufrechten Stand die entsprechenden Reflexbewegungen insbesondere des Rumpfes und des Kopfes und spielt damit eine große Rolle bei der Kontrolle der menschlichen Körperhaltung.

Die Zellen der ersten Neurone der Pars vestibularis des N. vestibulocochlearis bilden das Ganglion vestibulare im Fundus des inneren Gehörganges.

Die peripheren Neuriten kommen von den Sinnesendigungen des Gleichgewichtsapparates, also den Maculae staticae und Cristae ampullares.

Die zentralen Neuriten enden zum größten Teil an den Gleichgewichtskernen und zum kleineren Teil als sensorische Kleinhirnbahn im Wurm und Flocculus des Kleinhirns. Die in den Kernen entspringenden zweiten Neurone (sekundäre Vestibularisbahn) stellen die Verbindungen zum Rückenmark her (über den Tractus vestibulospinalis). Über den Fasciculus longitudinalis medialis bestehen weiterhin wichtige Verbindungen zum Kleinhirn, zur Formatio reticularis und zu den Augenmuskelkernen (Abb.7).



**Abb.7** Die Gleichgewichtsbahn (Berghaus et al. 1996a)

### 1.2.1.2 Das visuelle System

Das visuelle System beider Augen bietet über die Retina mit ihren Sinnes -  
rezeptoren, über den N.opticus sowie über zentralnervöse Verschaltungen  
(Corpus geniculatum laterale, retinotektale und prätektale Bahn) und mit Hilfe  
des übergeordneten optischen Zentrums im Kortex des Lobus occipitalis (Area  
17,18,19) eine wichtige visuelle Kontrolle über die statische Lage im  
dreidimensionalen Raum.

Ähnliches gilt für den Lobus frontalis (Area 7,8) (Haid 1990a).

### 1.2.1.3 Das propriozeptive System

Das propriozeptive System ist sehr wichtig für die Kontrolle der physiologischen  
Kopf - und Körperhaltung in alltäglichen Situationen. Dabei sind von besonderer  
Bedeutung die Rezeptoren der Haut des Fußes (Weber und Villeneuve, 2003).  
In der menschlichen Haut und den angrenzenden Schleimhäuten können  
Sinnesempfindungen wie Berührung, Druck, Vibration, Wärme, Kälte, Schmerz  
und Juckreiz durch Mechanorezeptoren wahrgenommen werden.

In der Haut existieren sensible Nervenendigungen (Nervengeflechte der  
Haarscheiden, Vater-Pacinische Lamellenkörperchen, Ruffini-Körperchen,  
Merkelsche Scheiben und freie Nervenendigungen). Die Intensität einer Druck-  
oder Berührungsempfindung (z.B. an der Fußsohle im Stehen) hängt von der  
Größe der Eindellung, von deren Änderungsgeschwindigkeit, vom Ausmaß der  
Reizfläche und somit von der Zahl der zur gleichen Zeit innervierten Rezeptoren  
ab. Besteht einige Zeit ein Hautdruck, so entsteht eine Adaptation (Abnahme  
der anfänglichen Impulsfrequenz).

Die Propriozeptoren für „Tiefensensibilität“ geben eine Auskunft über die  
Gliederstellung und Muskelspannung und ermöglichen dadurch eine  
Information über die Lage- und Bewegungsempfindung. Die propriozeptiven  
Mechanorezeptoren befinden sich in Muskeln, Muskelhüllen, Sehnen, Bändern  
und Gelenken (Golgi-Organ, Vater-Pacinische Körperchen, Ruffini-  
Körperchen, afferente Muskelfaserinnervationen)(Haid 1990a).

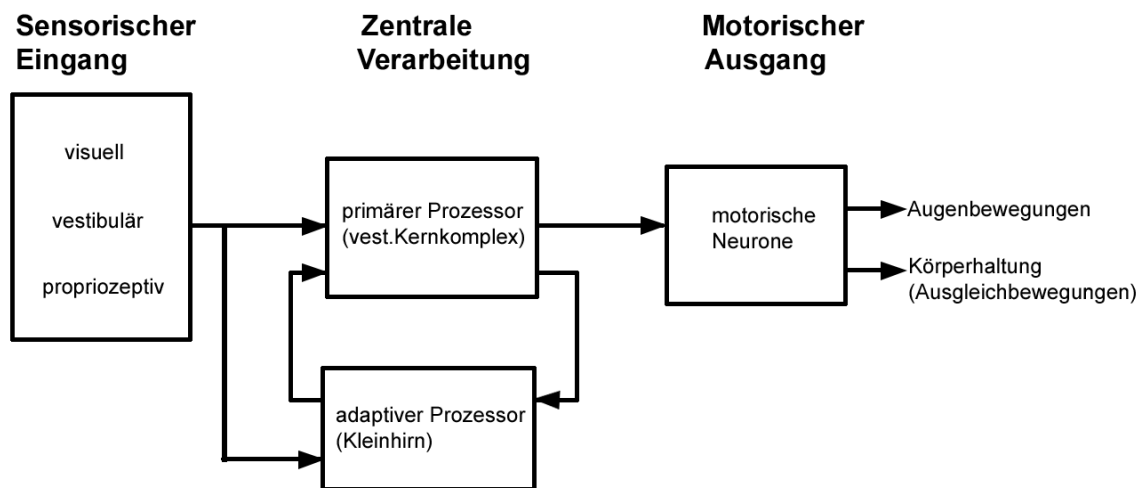
Das propriozeptive System besitzt eine Doppelfunktion als Teil des  
sensorischen Einganges und des motorischen Ausgangs (Roll 1998).

Es generiert damit unter anderem spino-spinalen Reflexe, die für die  
Feinausrichtung der Körperhaltung beim aufrechten Stand wichtig sind.

### 1.2.2 Physiologie

Bei der Organisation des Gleichgewichtssystems lassen sich drei Hauptkomponenten unterscheiden:

ein peripherer sensorischer Eingang, ein zentraler Prozessor und die Systeme für den motorischen Ausgang (Abb.8).



**Abb.8** Die Organisation des Gleichgewichtssystems (Herdman 1994)

Über den sensorischen Eingang gelangen visuelle, vestibuläre und propriozeptive Informationen zum ZNS, insbesondere zu den Gleichgewichtskernen und dem Kleinhirn. Das ZNS wird ununterbrochen vom peripheren Gleichgewichtsapparat über Schwerkraft, lineare Beschleunigungsvorgänge sowie über die Stellung des Kopfes in Bezug zur Gravitationsachse informiert, wobei ein Verarbeitungsprozess dieser Signale unter Einbeziehung aller anderen sensorischen Informationen stattfindet.

Der motorische Ausgang des Gleichgewichtssystems aktiviert einerseits die Augenmuskeln und andererseits das Rückenmark und gewährleistet damit zwei wichtige Reflexe; den vestibulo-okulären Reflex (VOR) und den für die Bewältigung von sich ändernden Gleichgewichtskonditionen beim aufrechten Stand sehr wichtigen vestibulo-spinalen Reflex (VSR).

Der VSR bewirkt dabei entsprechende Ausgleichbewegungen des Körpers, um seine Haltung in Bezug auf die Gravitationsvertikalen zu korrigieren und um damit einen Sturz zu verhindern.

Die Ausführung von VOR und VSR wird vom ZNS überwacht und vom Kleinhirn als adaptiver Prozessor, wenn nötig, korrigiert.

Über die Verbindung zum vestibulären Kernkomplex übt das Kleinhirn vor allem eine inhibitorische Wirkung auf das vestibuläre System aus.



### 1.2.2.1 Der motorische Ausgang des Gleichgewichtsystems

Die Otolithen reagieren auf lineare Akzelerations- oder Dezelerationsvorgänge. Durch eine lineare Beschleunigung werden die gegenüber der Endolymphe träger reagierenden Otolithen bewegt und lösen schließlich in den dazugehörigen afferenten Nerven Impulse aus, die die Information dann zu den Vestibulariskernen weiterleiten. Hier vollzieht sich ein Verarbeitungsprozess aller eintreffenden Meldungen; nicht nur derjenigen, die vom peripheren Gleichgewichtsapparat kommen, sondern auch der visuellen, somatosensiblen und propriozeptiven. Von den Vestibulariskernen aus gelangen die zu Befehlen verarbeiteten Informationen einerseits über Formatio reticularis und Fasciculus longitudinalis medialis zu den Augenmuskelkernen und andererseits über den Tractus vestibulospinalis sowie Fasciculus longitudinalis medialis zum Vorderhorn des Rückenmarks, wobei die alpha- und gamma- Motoneurone aktiviert werden, die mit den entsprechenden Muskelgruppen in Verbindung stehen. Es kommt dabei zu einer Tonisierung der ipsilateralen Skelettmuskulatur. Durch diese vestibulospinale Verbindung können die Ausgleichbewegungen des Körpers generiert werden, die für die Ausrichtung in Bezug zur Gravitationvertikalen notwendig sind.

Der vestibulospinale Reflex (VSR) ist daher sehr wichtig für die Körperhaltungskontrolle und das statische und dynamische Gleichgewicht beim aufrechten Stand.

Erwähnt sei an dieser Stelle, dass es auch bei Drehbewegungen zu vestibulospinalen Reflexbewegungen kommt. Dabei werden über die Cupula - Auslenkung in den Bogengängen die Kopf- und Armmuskulatur einschließlich der Rumpfmuskulatur so tonisiert, dass sich der Körper zur gleichen Seite neigt oder dreht wie die langsame Augenkomponente des Nystagmus, d.h. es kommt zur Tonisierung der Extremitäten auf der gleichen Seite. Nystagmus, Kopf- oder Körperbewegung und Drehempfindung entsprechen dabei der Raumebene des Bogenganges. Deshalb ist es unter anderem wichtig, dass bei posturographischen Untersuchungen die Untersuchungsperson strikt nach vorn schaut und den Kopf ruhig hält, damit es zu keiner Verfälschung der Ergebnisse kommt.

Von den Vestibulariskernen ausgehend bestehen weiter ascendierende Bahnen über die Formatio reticularis und den Thalamus zum kortikal gelegenen vestibulären Projektionsfeld im Großhirn.

So können schließlich vestibuläre Reize, zusammen mit anderen afferenten Impulsen aus den sensorischen Systemen ins Bewusstsein gelangen.

Beim aufrechten Stand unter gewohnten Gleichgewichtskonditionen wird jedoch die Großhirnrinde nicht in den Prozess der Gleichgewichtsregulation einbezogen, so dass der größte Teil der Vorgänge zur Kontrolle der Körperhaltung unbewusst abläuft.

Zur Ausführung einer willkürlich ausgelösten Muskeltätigkeit werden die vom Kortex über die Pyramidenbahn ausgehenden Efferenzen beansprucht, wobei hauptsächlich die alpha-Motoneuronen des Rückenmarks angesprochen werden.

### 1.2.2.2 Die Kontrolle der Körperhaltung

Eine adäquate Körperhaltung (englisch: posture) ist Resultat des motorischen Ausgangs des Gleichgewichtssystems. Dabei vollzieht sich die Stellungskorrektur des Körpers oder seiner Glieder bei Gleichgewichtsreizen analog zum vestibulookulären Reflex über den vestibulospinalen Reflex. Die Körperhaltung wird aber zudem durch eine Reihe von Kontrollmechanismen beeinflusst, die im Begriff des "Systems der Körperhaltungskontrolle" zusammengefasst werden.

Die Grundlagen dieses Systems wurden bereits von den Physiologen Borelli (1680), Bell (1837) und Vierordt (1860) erkannt. Mit der Aufklärung biomechanischer und physiologischer Zusammenhänge bei der menschlichen Körperhaltungskontrolle befasst sich heute eine eigene Forschungsdisziplin - die Posturologie.

Um beim aufrechten Stand eine physiologische Körperhaltung zu erlangen, muss der Mensch seinen Körper in eine Gleichgewichtsposition bringen.

Da sich der Mensch durch seine mechanische Instabilität auf Dauer nicht in einer Position absoluten Gleichgewichts halten kann, muss er ständig von neuem seine Körperhaltung so ausrichten, dass eine solche Position wenigstens annähernd erreicht wird.

Die mechanische Labilität des menschlichen Körpers rührt daher, dass er kein starrer, sondern ein flexibler Körper ist, dessen Druckzentrum an seiner Standfläche, also unterhalb des Körperschwerpunktes liegt. Aus der Physik ist bekannt, dass ein Körper im Gravitationsfeld erst dann im Gleichgewicht ist, wenn sein Schwerpunkt im Schnittpunkt von Lotgeraden liegen, die durch Unterstützungspunkte an der Stand- oder Auflagefläche laufen. In der Posturologie wird der Körperschwerpunkt als Gravitationszentrum (CdG = centre de gravité) bezeichnet, einem Sammelpunkt aller am menschlichen Körper angreifenden Gravitationskräfte.

Der Unterstützungspunkt entspricht dem Zentrum des auf den Boden ausgeübten Druckes an der Fußsohle (CdP= centre de pression).

Beim Menschen ist das CdG in der unteren Bauchregion platziert und liegt damit oberhalb des CdP. Sobald der Summenvektor der Gravitationskräfte mit dem Summenvektor der Reaktionskräfte des Druckes auf den Boden nicht mehr auf einer Wirkungslinie – auf einer Vertikalen liegen, gelangt der Körper aus seiner Gleichgewichtsposition, und es kommt zum Sturz.

Für die ausreichende Stabilisierung des aufrecht stehenden Menschen im Gravitationsfeld ist daher ein Kontrollsystem notwendig.

Dieses Kontrollsystem ist in ständiger Arbeit und in der Lage, über die sensorischen Eingänge kleinste Abweichungen von der Gleichgewichtsposition zu erkennen, wobei innerhalb kürzester Zeit entsprechende Ausgleichreaktionen veranlasst werden, um sich dieser Position wieder zu nähern.

Ziel ist stets eine adäquate Körperhaltungskontrolle (englisch: postural control) unter den verschiedenen Gleichgewichtskonditionen des Alltags.

### 1.2.2.3 Das System der Körperhaltungskontrolle

Das System zur Kontrolle der Körperhaltung (postural control) hat die Aufgabe, den menschlichen Körper in einer ungefähren Gleichgewichtsposition zu halten, die von der Gravitationsvertikalen nicht mehr als 1-4 Grad abweicht. Als Teil des Gleichgewichtssystems hat es dieselben äußeren Haupteingänge, über die dem System visuelle, vestibuläre und propriozeptive Informationen zukommen. Weiter verfügt es über innere Eingänge, welche über die Position von bestimmten Körperpartien zueinander informieren, z.B. über die Lage des Auges in der Orbita, die Position der Wirbelkörper gegenüber der jeweils benachbarten, insbesondere des zervikalen und des lumbalen Teils der Wirbelsäule, sowie über die Position der Beine.

Resultat des Systemausganges ist die Stabilisierung des Körpers durch eine adäquate Körperhaltung mit entsprechenden Ausgleichbewegungen, wobei die motorischen Neurone in Verbindung mit den entsprechenden Muskelgruppen aktiviert werden.

Diese Ausgleichbewegungen haben zum Ziel, das Gravitationszentrum(CdG) und das Zentrum des auf den Boden ausgeübten Druckes(CdP) derartig anzunähern, dass sie wieder auf einer gemeinsamen Vertikalen liegen (Abb.9). Zwei theoretische Strategien können dazu unterschieden werden:

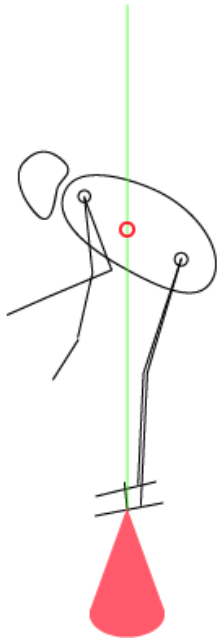
1. die Strategie, bei der das Gravitationszentrums(CdG) verlagert wird,
2. die Strategie, bei der das Druckzentrums (CdP) verlagert wird.



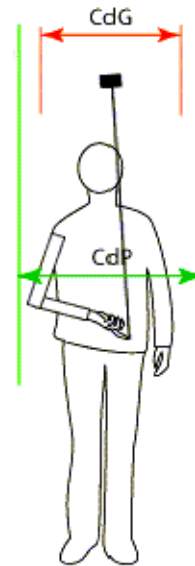
**Abb. 9** Die zwei Strategien der Stabilisierung der Körperhaltung: Um das CdG und das CdP auf die Höhe einer gemeinsamen Vertikalen zu bringen, können entweder das CdG oder das CdP auf der Horizontalen verlagert werden.

Die Verlagerung des CdG wird bei feststehendem CdP durch eine Veränderung der Körpergeometrie erreicht. Dabei werden verschiedene Körperpartien (Kopf, Arme, Knie und Hüfte) so bewegt, dass die Mobilisierung der einzelnen Massezentren der verschiedenen Körperteile insgesamt zu einer Rückverlagerung des Gravitationszentrums auf die gemeinsame Vertikale mit dem CdP führt (Abb.10).

Bei diesen Ausgleichbewegungen wird relativ viel Energie verbraucht.



**Abb.10**  
Die Strategie der Verlagerung  
des Gravitationszentrums :  
Das CdP ist fixiert (roter Kegel)



**Abb. 11**  
Die Strategie der Verlagerung des  
CdP im Modell des auf dem Finger  
balancierten Besens

Bei theoretischer Inaktivität der Strategie zur Verlagerung des CdG ist für die reine Ausführung der Verlagerungsstrategie des CdP keine Änderung der Geometrie des Körpers notwendig, um den Körper zu stabilisieren.

Ein Modell der Strategie zur Verlagerung des CdP ist das des auf dem Finger balancierten Besens (Abb.11, Gagey et al.1997). Um das CdG in ruhiger Position zu halten, muss hier das CdP aktiv bewegt werden.

Es wird dabei ebenfalls deutlich, dass der im Gleichgewicht gehaltene Körper in seiner Form möglichst steif bleiben sollte (wie z.B. ein Besen).

Der menschliche Körper ist aber kein starrer Körper, sondern besteht vielmehr aus mehreren übereinandergelagerten Bausteinen - Wirbelkörper und Gliedmaßen, die über Bänder und Muskeln in ihrer jeweiligen Referenzposition zueinander gehalten werden.

Es ist somit ein weiterer Mechanismus notwendig, der den menschlichen Körper in sich stabilisiert und bei der aufrechten Standposition die Organisation der vielen Bausteine durch Muskelkontraktionen der autochtonen Rückenmuskulatur so verändert, dass der Rumpf wie ein einziges starres, nach oben freies Pendel funktioniert (Winter et al.1997). Dies vollzieht sich über somato- und senso-motorische Reflexe auf der Höhe der jeweiligen Segmente oder unter Zwischenschaltung höhergelegener Zentren wie z.B. der Gleichgewichtskerne. Dabei werden die Amplituden der Pendelbewegungen vom Kontrollsystem der Körperhaltung gezielt klein gehalten, damit die Ausgleichreaktionen zur Verlagerung des CdP schnell und effektiv ausgelöst werden können.

Die Verlagerung des CdP wird beim Menschen vor allem durch entsprechende Kontraktionen an der Fußsohlen- und Zehenmuskulatur gewährleistet.

Im praktischen Moment der Stabilisierung der Körperhaltung zur Annäherung an eine Gleichgewichtsposition verwendet der Mensch nicht nur eine einzige, sondern stets eine Mischung aus beiden Strategien.

Mit den Strategien der Verlagerung von CdG und CdP werden diese beiden Zentren wieder auf eine gemeinsame vertikale Wirkungslinie gebracht und die Körperstabilität wieder hergestellt. Der effektive Einsatz beider Strategien ist stark von individuellen Fähigkeiten abhängig (Gagey et al.1997).

Die Stabilität der Körperhaltung ist mit Hilfe der Posturographie messbar.

Da das Kontrollsystem der Körperhaltung zwar auch über völlig autonome Reflexmechanismen verfügt, im Ganzen aber dem Gleichgewichtssystem funktionell untergeordnet ist, können über die Messungen der Körperstabilität indirekt Rückschlüsse auf die Funktionsweise des Gleichgewichtssystems und seines vestibulären Anteils gezogen werden.

## 1.4 Statische und dynamische Methoden zur Prüfung der Gleichgewichtsfunktion

Zur Funktionsdiagnostik des menschlichen Gleichgewichtssystems kann eine Prüfung der Körperhaltungskontrolle durchgeführt werden.

Viele Methoden der Vestibularisprüfung befassen sich mit der Untersuchung des vestibulookulären Reflexbogens. Die Untersuchung der Körperhaltungskontrolle hingegen ermöglicht vor allem Aussagen über die Funktion des vestibulospinalen Reflexbogens.

Die Kontrolle der Körperhaltung kann mittels einfacher Tests geprüft werden. Eine dieser Methoden ist der Romberg-Test.

### 1.4.1 Der Romberg-Test

Der Romberg-Test bzw. Romberg'sche Stehversuch prüft die Standfestigkeit und damit die Körperhaltungskontrolle einer Testperson.

Die Testperson steht aufrecht mit geschlossenen, nicht aneinander gepressten Beinen. Für die Armhaltung gibt es mehrere Möglichkeiten: Arme locker herunterhängen lassen, Arme vor der Brust verschränken, Arme um 90 Grad anheben, Handrücken nach oben (Abb.12a)). Zunächst steht die Testperson ca. 60 Sekunden mit geöffneten Augen und soll dabei einen Punkt fixieren.

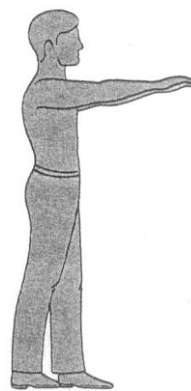
Nach kurzer Pause zur Erholung der Schulter- und Armmuskulatur steht sie 60 Sekunden mit geschlossenen Augen (Scherer 1997). Dabei sollten weder ein Geräusch noch eine Lichtquelle dem Patienten eine Orientierung ermöglichen.

Beim verschärften Romberg-Versuch (auch „Tandem-Romberg“ genannt) wird unter den gleichen Bedingungen der eine Fuß unmittelbar vor den anderen gestellt. (Abb.12b)) Beobachtet wird, ob ein Schwanken oder gar eine Falltendenz zu erkennen ist. (Haid 1990b)

**Abb.12** Der Romberg-Test (Stoll et al.1992)



a) einfacher Romberg-Test



b) verschärfter Romberg-Test

### 1.4.2 Die Posturographie

Mit Hilfe der Posturographie kann der Romberg-Test elektronisch erfasst und damit objektiviert werden.

Dabei steht die Testperson auf einer Messplattform.

Die Körperschwankungen werden durch Druckmesssensoren (Piezokristalle oder Dehnungsmessstreifen), die an der Unterseite der Messplattform angebracht sind, registriert. Gegenüberliegende Sensoren haben entgegengesetzte Polarität.

Die Sensoren liefern zwei Signale, Y für die Schwankungen nach vorn und hinten und X für die Schwankungen zur Seite. Diese beiden Signale werden verstärkt und auf einem Oszilloskop oder XY-Schreiber als Punkt aufgezeichnet.

Dieser Messpunkt entspricht in der Physik dem mechanischen Unterstützungspunkt eines Körpers im Gravitationsfeld und wird in der Posturologie Druckzentrum (CdP), oder auch Kraftschwerpunkt genannt.

Das Druckzentrum (CdP) ist nicht identisch mit dem Projektionspunkt des Körperschwerpunktes, also des Gravitationszentrums (CdG) an der Messplattform ist. Er ist vielmehr ein Applikationspunkt aller Reaktionsdruckkräfte an der Standfläche unter Einwirkung der Körpermasse sowie der Drücke durch Muskelkontraktionen an der Fußsohle.

Nur die Position des Druckzentrums (CdP) ist an der Plattform messbar, wobei sich das CdP kontinuierlich im Projektionsfeld des CdG hin und herbewegt, um es zu stabilisieren.

Die Aufzeichnung der Verlagerungsspur des CdP wird als ein Statokinesigramm bezeichnet.

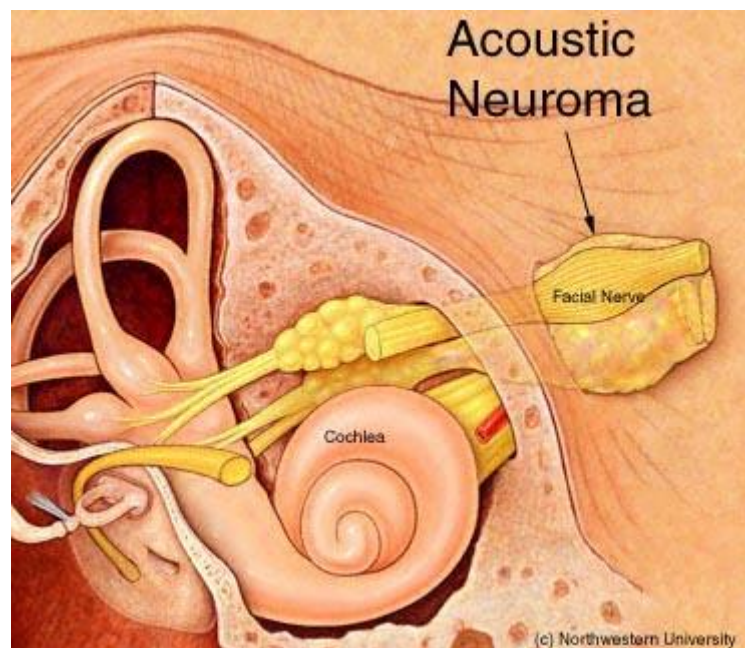
Es gibt bei solchen posturographischen Untersuchungen statische und dynamische Verfahren. In der vorliegenden Arbeit wird zur Untersuchung mittels statischer Posturographie das System der Firma Kistler® verwendet.

Als dynamisches Meßsystem der Posturographie kommt der EquiTest (NeuroCom®) zum Einsatz.

Beide Verfahren werden im Kapitel "Material und Methoden" ausführlich beschrieben.

## 1.5 Das Akustikusneurinom

Das Akustikusneurinom (AN) oder Vestibularisneurinom ist ein gutartiger Tumor im inneren Gehörgang oder Kleinhirnbrückenwinkel, der vom VIII. Hirnnerven ausgeht (Berghaus et al.1996 b, Abb.13). Er entsteht aus den Schwann'schen Zellen des Neurilemms. Bevorzugt tritt er im mittleren Alter (30 bis 60 Jahre) auf. Man unterscheidet nach der Lokalisation intrameatale (laterale) AN mit Sitz im inneren Gehörgang, intra-/extrameatale (mediolaterale) AN mit Sitz im Porus acusticus internus, teils aber auch im inneren Gehörgang und Kleinhirnbrückenwinkel sowie mediale AN, die überwiegend im Kleinhirnbrückenwinkel entstehen.



**Abb. 13** Das Akustikus- oder Vestibularisneurinom

Akustikusneurinome machen etwa acht Prozent aller Hirntumore und etwa 80% aller Kleinhirnbrückenwinkeltumoren aus. Ein AN führt je nach Sitz zu retrocochleären bzw. retrolabyrinthären Störungen im Verlaufe des VIII. Hirnnervs oder auch zu zentralen Schädigungen. Je weiter lateral der Tumor lokalisiert ist, umso mehr Symptome von Seiten peripherer Strukturen hat er zur Folge. Man spricht von sogenannten „Herdsymptomen“. Etwa 50% aller AN-Patienten stellen als erstes Symptom eine Hörminderung fest, die zu etwa 5 bis 10% plötzlich auftritt. Schwindel oder Gleichgewichtsstörungen sind anfangs meist nur diskret vorhanden oder fehlen ganz. Bei der Diagnostik des Akustikusneurinoms werden entsprechend der Reihenfolge der auftretenden Symptome meist zunächst die audiologischen, dann auch vestibuläre, radiologische und neurologische Untersuchungen durchgeführt. Obwohl der Schwindel nur selten als erstes Symptom auftritt, ist nach Berghaus et al. (1996) zum Zeitpunkt der Diagnose eines Akustikusneurinoms meist schon eine vestibuläre Störung nachweisbar (Berghaus et al. 1996 b). Dabei soll die Beurteilung der vestibulospinalen Ausgleichreaktionen im Romberg- und Unterberger-Test bei über 70% der Patienten einen auffälligen Befund mit deutlicher Beeinträchtigung der Körperhaltungsstabilität zeigen (Berghaus et al.1996 b). Es müsste daher eine Darstellung der beeinträchtigten Gleichgewichtsfunktion auch mit den Mitteln der Posturographie möglich sein.



## 1.5 Herleitung der Aufgabenstellung

Durch ein effektives Zusammenspiel des Gleichgewichtssystems mit dem System der Körperhaltungskontrolle ist der Mensch in der Lage, annähernd eine Gleichgewichtsposition zu erreichen und seine Stabilität nicht nur im Stehen oder in Ruhepositionen beizubehalten, sondern auch bei der Ausführung von komplexen Bewegungen. Dies wird bereits nach der Geburt zunächst recht mühselig erlernt und erlangt besondere Bedeutung, wenn der Mensch sich von der Kriechhaltung des Kleinkindes in die instabilere und physikalisch ungünstigere aufrechte Standposition begibt. Später gelingt es, das Gleichgewicht selbst bei extremen Belastungen unter Kontrolle zu halten (z.B. beim Ausüben von Sportarten wie dem Turnen, Eiskunstlaufen, Snowboarden oder Surfen). Dazu ist ein sportliches Training nötig, wobei jede der Bewegungen bzw. Bewegungskombinationen im menschlichen Gehirn gespeichert und mit früher gespeicherten Mustern verglichen werden (Henrikson et al.1984). Aber schon unter weniger anspruchsvollen Gleichgewichtskonditionen des Alltages kommt es in bestimmten Altersschichten zu Gleichgewichtsproblemen. Dabei fällt bei sehr jungen Kindern unter 15 Jahren eine weniger exakte Ausführung der Ausgleichbewegungen und damit eine beeinträchtigte Körperstabilität auf, was wohl von einer gewissen Unreife des Gleichgewichtssystems herrührt. Nach Hirabayashi et al.(1994) nimmt die Körperhaltungsstabilität zwar stetig zu, ist aber selbst mit Vollendung des 15. Lebensjahres noch nicht ganz auf dem Niveau von Erwachsenen. Auf der anderen Seite ist besonders der ältere Mensch von Gleichgewichtsstörungen betroffen, da sie häufig mit Stürzen und Knochenbrüchen verbunden sind und somit fatale klinische und soziale Folgen haben können. Bei Patienten der Altersschicht von 65 Jahren und älter sind Gleichgewichtsstörungen häufigster Konsultationsgrund beim Hausarzt (Villeneuve Parpay 2001). Es ist somit anzunehmen, dass das Alter einen Einfluss auf die Gleichgewichtsfunktion und die Stabilität der Körperhaltung hat, und es erscheint sinnvoll, die Entwicklung der Gleichgewichtsfunktion in verschiedenen Altersschichten jenseits des 15. Lebensjahres zu untersuchen.

Ziel dieser Arbeit ist es daher, zu ermitteln, ob der Faktor Alter bei einer Population von 60 gesunden Personen im Alter zwischen 15 und 85 Jahren einen Einfluss auf die Gleichgewichtsfunktion hat, und ob sich dieser Einfluss mit den Mitteln der statischen und die dynamischen Posturographie signifikant verifizieren lässt. Dabei soll die Verlagerung des Kraftschwerpunktes (CdP) gemessen werden, wodurch eine Einschätzung der Körperhaltungskontrolle, und damit auch der Gleichgewichtsfunktion, möglich wird. Gleichzeitig soll ermittelt werden, welche der verwendeten Untersuchungstests und Messgrößen zur Darstellung des Alterseinflusses auf die Gleichgewichtsfunktion als besonders aussagekräftig zu bewerten sind.

Ein weiteres klinisches Problem ergibt sich bei Patienten, die unter einem einseitigen Akustikusneurinom leiden. Es sind bei AN-Patienten Störungen in der Ausführung vestibulospinaler Ausgleichreaktionen im Romberg- und Unterberger-Test beschrieben worden (Berghaus et al.1996 b). Daher stellt sich die Frage, ob sich das Akustikusneurinom auch durch die Ergebnisse der durchgeführten statischen und dynamischen Posturographie im Sinne einer unspezifischen vestibulären Störung nachweisen lässt. Dabei sollen die erreichten Messwerte von 40 gesunden Probanden mit denen von 12 AN - Patienten verglichen werden.



## 2. MATERIAL und METHODEN

### 2.1 Probanden- und Patientengut

An der Untersuchung des Alterseinflusses auf die Kontrolle der Körperhaltung nahmen 60 freiwillige gesunde Personen aus der Region Magdeburg im Zeitraum von September 1997 bis Januar 1999 teil.

Das Lebensalter der Probanden lag dabei zwischen 15 und 85 Jahren.

Ausschlusskriterien waren ein insulinpflichtiger Diabetes mellitus, Alkoholabusus, medikamentöse Therapie gegen Schwindelsymptome, vestibuläre Vorerkrankungen sowie orthopädische Haltungsschäden.

Dokumentiert wurden bei jedem Probanden: Körpergröße, Gewicht, Blutdruck, Nikotin- und Kaffeegenuss, Medikamente, Brillenträger.

Von den untersuchten Probanden waren 27 weiblich und 33 männlich.

Dabei ist anzumerken, dass das Geschlecht bei der vorliegenden Untersuchung keine weitere Berücksichtigung fand, da zahlreiche Studien gezeigt haben, dass es keine Geschlechtsabhängigkeit der Körperhaltungskontrolle gibt (Colledge et al.1994, Hageman et al.1995).

Bei der Untersuchung des Alterseinflusses auf die Gleichgewichtsfunktion wurden 3 Altersgruppen erstellt. So ergaben sich Gruppe I (15-39Jahre), Gruppe II (40-60Jahre)und Gruppe III (>60Jahre) mit einem Gruppenumfang von jeweils 20 Probanden (n=20). Jede der Versuchspersonen wurde einer Altersgruppe zugeteilt.

An der Untersuchung des Einflusses eines Akustikusneurinoms auf die Kontrolle der Körperhaltung nahmen 52 Personen aus den neuen Bundesländern teil.

Davon waren 40 Personen gesund. Sie entstammten aus den Gruppen II(Alter:40 –60 Jahre) und III(Alter:> 60 Jahre) zu je n=20.

12 Patienten mit einseitigem Akustikusneurinom wurden zum Vergleich untersucht, davon 7 im Alter von 40-60 Jahren und 5 im Alter von >60 Jahren.

Alle Patienten hielten sich stationär zur elektiv - chirurgischen Entfernung des Tumors in der Universitäts- HNO-Klinik Magdeburg auf und nahmen ebenfalls im Zeitraum von September 1997 bis Januar 1999 an der vorliegenden Studie teil.

Bezüglich der Lokalisation der Tumore waren unter den Akustikusneurinomen 7 linksseitige und 5 rechtsseitige, davon 8 intrameatal und 4 intra- / extrameatal . 6 der Patienten waren männlich und 6 weiblich.

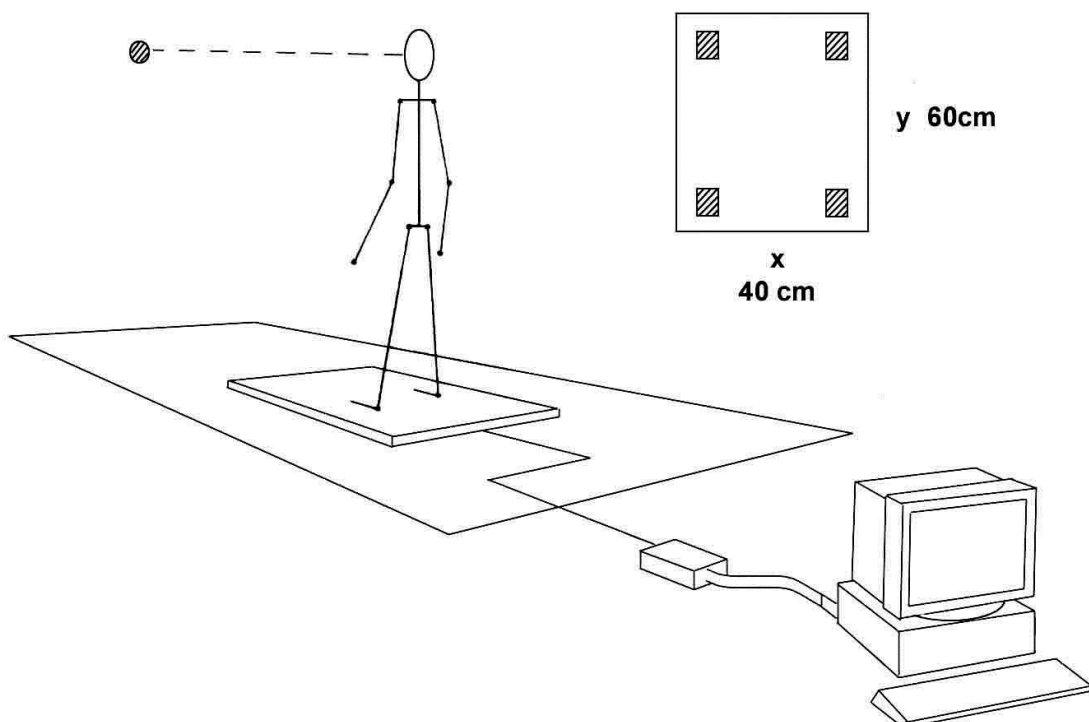
5 der 12 der AN- Patienten gaben subjektiven Schwindel an, ohne dass eine nähere Charakterisierung der Schwindelsymptomatik vorgenommen wurde.

## 2.2 Untersuchungsmethoden und Ablauf für die Darstellung des Einflusses des Alters auf die Gleichgewichtsfunktion

Zur Darstellung des Einflusses des Alters auf die Gleichgewichtsfunktion wurde jeder Proband zuerst mit der statischen Posturographie und anschließend mit der dynamischen Posturographie untersucht.

### 2.2.1 Die Untersuchung mit der statischen Posturographie

#### 2.2.1.1 Das Messsystem



**Abb.14** Das verwendete System der statischen Posturographie

Zur Untersuchung mit der statischen Posturographie wurde das Messsystem der Firma KISTLER® verwendet, wobei der Proband auf einer fixen ebenen Kraftmessplattform stand (Abb.14).

Die in der Studie verwendete Kraftmessplattform besteht aus Aluminium und ist 60 cm lang und 40 cm breit. Unter dieser Plattform sind vier piezoelektrische Kraftmesssensoren (3-component force sensors) angebracht.

Die von den Quarzsensoren aufgenommenen Messsignale werden zu einem Ladungsverstärker weitergeleitet. Der Verstärker konvertiert die Signale in entsprechende Spannungssignale, die mit Hilfe einer A/D - Card des Computers lesbar werden.

Die in der vorliegenden Studie gewählte Abtastrate lag bei 20 Hz.

Die Messsignale wurden mit Hilfe eines Computerprogrammes vektoriell verarbeitet.

Die Messdaten jeder Untersuchung wurden dann in einem Datenfile gespeichert.

Nach Scherer sind die Plattformen mit Piezokristallen nur für Kurzzeitmessungen geeignet. Bei längeren Belastungen kann es zu einem sehr unangenehmen Drift kommen, der die Messungen verfälscht (Scherer et al.1994).

Das hier verwendete System der statischen Posturographie enthält Piezokristalle.

Aus diesem Grunde wurde die Plattform der statischen Posturographie auf einen solchen Drift hin geprüft. Dabei gelang es, diesen Drift darzustellen.

Er erwies sich jedoch bei der verwendeten Messzeit von einer Minute als vernachlässigbar klein.

### 2.2.1.2 Versuchsablauf und Gleichgewichtskonditionen

Zur Untersuchung des Alterseinflusses wie auch des Einflusses eines Akustikusneurinoms auf die Stabilität der Körperhaltung wurde der Romberg-Stehversuch durchgeführt.

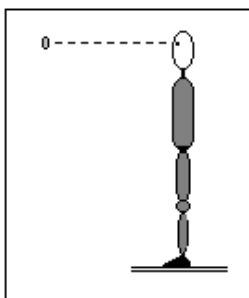
Bei der Untersuchung stand der Proband barfuss auf der ebenen Kraftmessplattform.

Die Füße wurden parallel zur Längslinie der Plattform ausgerichtet, so dass die Anterior-posterior-Schwankungen in y-Richtung und die Lateral-Schwankungen in x-Richtung der Plattform führten. Die Arme sollten hierbei locker herunterhängen.

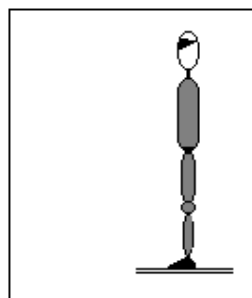
Bei der Untersuchung des Alterseinflusses wurden vier verschiedene Messungen vorgenommen.

Die Gleichgewichtskonditionen waren dabei wie folgt in Abb.15 dargestellt:

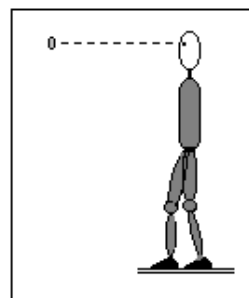
**Kondition 1 (Cond.1)**  
normaler Romberg  
mit offenen Augen  
Fixierung eines Punktes



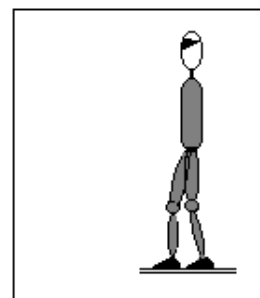
**Kondition 2 (Cond.2)**  
normaler Romberg  
mit  
geschlossenen Augen



**Kondition 3 (Cond.3)**  
verschärfter Romberg  
mit offenen Augen,  
Fixierung eines Punktes



**Kondition 4 (Cond.4)**  
verschärfter Romberg  
mit  
geschlossenen Augen



**Abb.15** Gleichgewichtskonditionen für die gesunden Probanden bei der statischen Posturographie

Die Untersuchungen wurden stets der Reihenfolge nach von Kondition1 bis 4 durchgeführt. Beim verschärften Romberg-Test sollten die Füße hintereinander gestellt werden, wobei der Proband selbst entscheiden konnte, welchen Fuß er nach vorn nimmt. Die Messzeit pro Gleichgewichtskondition betrug 1 Minute.

Es herrschte dabei absolute Ruhe, um der Untersuchungsperson keine akustischen Informationen zu vermitteln, die das Messresultat verfälschen könnten.

### 2.2.1.3 Gemessene Größen und errechnete Größen

Über die vier piezoelektrischen Kraftmesssensoren der Messplattform wurde die Verlagerung des Kraftschwerpunktes (CdP= centre de pression) erfasst. Der Kraftschwerpunkt ist der Applikationspunkt der Reaktionsdruckkräfte an der Standfläche unter Einwirkung der Körpermasse einerseits und der Drücke durch Muskelkontraktionen der Fußsohle andererseits. Der Kraftschwerpunkt beschreibt das Zentrum aller entstehenden Drücke an der Messplattform beim aufrechten Stand.

Aus der Messung der Verlagerung des CdP wurden folgende Größen berechnet:

#### 1. die Spurlänge SL in mm

Sie entspricht der Totallänge der Verlagerungsspur des CdP während der Messung. Die Spurlänge entsteht aus der Summe der Einzeldistanzen  $\Delta L_j$  bei einer Abtastrate von 20Hz,

$$\Delta L_j = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}, \quad SL = L = \sum_{i=1}^n \Delta L_i$$

$\Delta L_j$  = Länge einer Einzeldistanz, n = Anzahl der Einzeldistanzen

#### 2. der RMS-Wert (root mean square amplitude)

Er ist ein relativer Wert für die mittlere Schwankungsamplitude in lateraler (RMS-x) und in anterior-posteriorer (RMS-y) Richtung,

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum p^2}{N}}$$

p = momentan gemessene Amplitude der Schwankung

N = Anzahl der Schwankungsamplitudenwerte in der Messzeit

#### 3. der Romberg-Quotient aus der Gesamtpurlänge SL

Er beschreibt das Verhältnis eines Schwankungswertes, im vorliegenden Fall der Spurlänge, beim Romberg-Test mit geschlossenen Augen zum Wert unter der Kondition mit offenen Augen.

## 2.2.2 Die Untersuchung mit der dynamischen Posturographie

### 2.2.2.1 Das Messsystem

Für die Untersuchung wurde das EquiTest® - System (Abb.16) eingesetzt, welches eine klinische Anwendung der sogenannten computergesteuerten dynamischen Posturographie darstellt.

Mit diesem System kann man analysieren, wie der Patient bzw. Proband in der Lage ist, das Gleichgewicht zu halten, wobei die zum Gleichgewichtserhalt notwendigen sensorischen Systeme (somatosensorisches, visuelles und vestibuläres System) verschieden und getrennt voneinander beeinflusst werden können.

Bei dem EquiTest® steht der Proband auf einer dualen Kraftmessplattform (Abb.17). Diese Plattform kann sich horizontal vor- und zurückbewegen oder kippen.

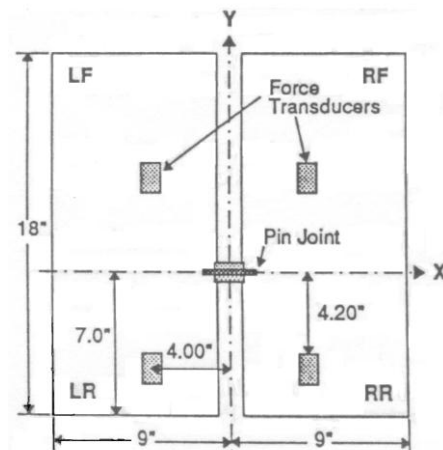
Das Blickfeld des Probanden wird durch eine künstliche Umgebung mit eingezeichnetem Horizont abgeschirmt. Diese künstliche Umgebung kann ebenfalls kippen, so dass sich dabei der Horizont auf- und abwärts bewegt.

Zur Sicherheit ist der Proband stets in ein Geschirr gespannt, so dass er nicht fällt, falls er das Gleichgewicht verlieren sollte.

**Abb.16** Das EquiTest® - System



**Abb.17** Die duale Kraftmessplattform



Die duale Plattform enthält 4 Kraftmesssensoren (Force Transducers), die gegenüber vertikalen Druckänderungen sensibel sind. Ein 5-ter Sensor, sensibel gegenüber anterior-posterioren Scherkräften, ist unter dem Bolzengelenk (Pin Joint) angebracht. Die Position des Druckzentrum oder Kraftschwerpunktes (CdP) wird von den Ausgangsmessdaten der Sensoren hergeleitet.

An der Plattform gibt es einen Mechanismus der automatischen Schwankungsverstärkung (Sway-referenced-Mechanismus), wobei das Ausmaß der Kippbewegung der Plattform oder der visuellen Umgebung entsprechend der Größe der gemessenen Anterior-posterior-Schwankung des Probanden verstärkt wird. Die Kippbewegungen der Plattform bzw. des Horizontes entsprechen somit den Schwankungsamplituden des Probanden in anterior-posteriorer Richtung.

### 2.2.2.2 Versuchsablauf und Gleichgewichtskonditionen

Der EquiTest® beinhaltet 2 verschiedene Tests. Es handelt sich dabei um den somatischen Organisationstest (SOT) und den Test der motorischen Kontrolle (MCT).

In der vorliegenden Studie wurden beide Tests durchgeführt. Ausgewertet wurde jedoch nur der SOT, da nur mit ihm ein annähernder Vergleich mit den Ergebnissen der statischen Posturographie möglich ist.

In der Regel wird beim SOT des EquiTest®s die Gleichgewichtsfunktion unter 6 verschiedenen Gleichgewichtskonditionen beurteilt (Abb.18). Durch die dabei variierenden Kombinationen der Inputinformationen werden das somatosensorische, das visuelle und das vestibuläre System unterschiedlich beansprucht, wobei die zu untersuchende Person versucht, den aufrechten Stand beizubehalten. Es werden jedoch keine direkten Reize am vestibulären Endorgan verabreicht. Die vestibuläre Beanspruchung kommt durch künstlich kreierte Konfliktsituationen zustande, bei denen sich die Eingangsinformationen widersprechen.

Bei jeder Gleichgewichtskondition werden automatisch jeweils 3 Zwischenbilanzierungen vorgenommen, wobei jede Zwischenbilanzierung 20 Sekunden Messzeit erfordert. Die Gesamtmesszeit jeder Gleichgewichtskondition beträgt 1 Minute.







Die Abbildung 18 (siehe Seite 31) zeigt die 6 Gleichgewichtskonditionen des SOT.

Vestibuläre, somatosensorische und visuelle Information können dabei systematisch beeinflusst werden. Dies erlaubt die getrennte Beurteilung der Funktion der drei Systeme. Die Gleichgewichtskonditionen beinhalten Kombinationen von geschlossenen und offenen Augen mit bewegter Kraftmessplattform und bewegter visueller Umgebung (Horizont). Bei den ersten 3 Testkonditionen kann der somatosensorische Eingang ungestört vom Gleichgewichtssystem genutzt werden. Hier wird dieser Eingang noch nicht manipuliert. Dabei wird unter Kondition 1 und 2 der einfache Romberg-Stand mit offenen und geschlossenen Augen gefordert. Unter Kondition 3 hingegen wird die visuelle Information manipuliert, wobei ein visueller Konflikt kreierte wird. Hier bewegt sich die künstliche Umgebung des Blickfeldes mit eingezeichnetem Horizont im gleichen Ausmaße wie die Anterior-posterior-Schwankungen des Probanden auf- und abwärts (mit Hilfe des Sway-referenced-Mechanismus). Bei Konditionen 4, 5 und 6 werden die somatosensorischen Inputinformationen gestört, indem die Plattform nach vorn und hinten kippen kann. Diese Kippbewegungen werden durch die Anterior-posterior-Schwankungen des Probanden induziert, die gleichermaßen das Ausmaß der Kippung der Plattform bestimmen. Für jede der Gleichgewichtskonditionen mit bewegter Plattform werden dieselben visuellen Variationen vorgenommen wie für Kondition 1 bis 3. Daher lässt unter den Konditionen 5 und 6 einzig der vestibuläre Eingang eine ungestörte Inputinformation zu. Beim Verlauf des SOT kommt es zu einer Steigerung des Schwierigkeitsgrades der Aufgabenstellung, wobei die Kondition 1 als einfach, Kondition 6 jedoch als relativ schwierig angesehen werden kann.



**Abb. 18** Original- Protokoll des sensorischen Organisationstestes  
(Data Interpretation Manual, NeuroCom®)

EquiTest Operator's Manual

Condition		Vision	Support	Patient Instructions
[1]		Normal	Fixed	Stand quietly with your eyes OPEN
[2]		Absent	Fixed	Stand quietly with your eyes CLOSED
[3]		SwayRef	Fixed	Stand quietly with your eyes OPEN
[4]		Normal	SwayRef	Stand quietly with your eyes OPEN
[5]		Absent	SwayRef	Stand quietly with your eyes CLOSED
[6]		SwayRef	SwayRef	Stand quietly with your eyes OPEN

### 2.2.2.3 Gemessene Größen und errechnete Größen

Bei der Untersuchung mit dem EquiTest® - System wurden zwei Werte beurteilt und zur weiteren statistischen Verarbeitung verwendet. Es handelt sich dabei um den Equilibrium-Score(ES) und den Composite-Wert. Ihre Berechnung vollzieht sich durch das Messsystem selbst.

Zur Ermittlung von ES und Composite-Wert liefern die Sensoren der dualen Messplattform zunächst die Daten für die Bestimmung der Position des Druckzentrums (CdP). Dabei werden über die 4 vertikalen Kraftmesssensoren die Ausgangssignale RF, RR, LF und LR erfasst. PX beschreibt die Position des CdP's in medial-lateraler Ebene. PY, PYL, und PYR beschreiben die Position des CdP in der anterior-posterioren Ebene.

$$PX = \frac{(RF + RR) - (LF + LR)}{(RF + RR + LF + LR)} \times 4,00 \text{ Zoll} \quad PY = \frac{(LF + RF) - (LR + RR)}{(LF + RF + LR + RR)} \times 4,20 \text{ Zoll}$$

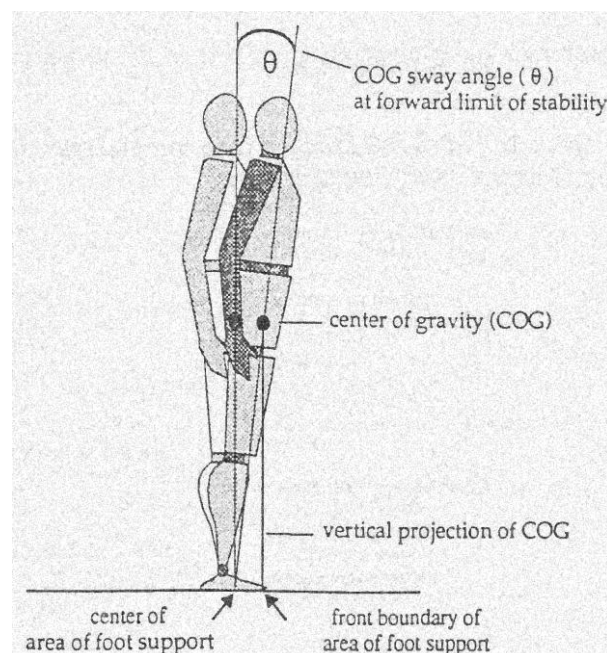
$$PYL = \frac{(LF - LR)}{(LF + LR)} \times 4,20 \text{ Zoll}$$

$$PYR = \frac{(RF - RR)}{(RF + RR)} \times 4,20 \text{ Zoll}$$

Zur weiteren Ermittlung von Equilibrium-Score und Composite-Wert wird vom System, ausgehend von der Position des Gravitationszentrums (COG, CdG), der Schwanekungswinkel in sagittaler Ebene (anterior-posterior), berechnet.

Wie eingangs erwähnt, ist das Gravitationszentrum (COG=center of gravity = CdG) ein Punkt, in dem die Masse eines Objektes alle Gravitationskräfte vereinigt und liegt beim normalen aufrecht stehenden Menschen in der unteren Bauchregion. Durch eine Senkrechte nach unten projiziert er sich in das sogenannte Zentrum der Tragefläche des Fußes (center of area of foot support)(Abb.19).

**Abb.19** Das Gravitationszentrum (center of gravity = COG = centre de gravité = CdG) (Data Interpretation Manual, NeuroCom®)

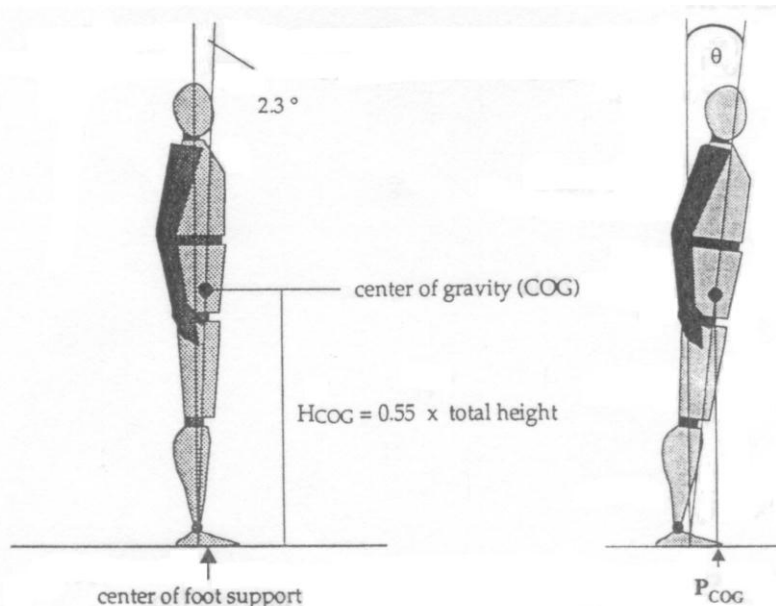


Das Zentrum der Tragefläche des Fußes liegt etwas vor dem Sprunggelenk. Beim EquiTest® - Systems wird davon ausgegangen, dass der menschliche Körper um das Sprunggelenk wie ein nach oben freies Pendel rotiert. Der Winkel zwischen einer Vertikalen und einer gedachten Linie, die vom bewegten COG zum Zentrum der Tragefläche des Fußes zieht, wird hierbei als Schwankeungswinkel  $\theta$  angesehen. Dieser Winkel wird vom Messsystem für die Berechnungen der auszuwertenden Größen genutzt.

$$\theta = [ \arcsin \frac{PCOG}{HCOG} ] - 2,3^\circ$$

PCOG ist die Position des Punktes der vertikalen Projektion des COG an der Messplattform in der anterior-posterioren Ebene. Sie wird durch die Berechnung von PY determiniert. HCOG ist die Positionshöhe des COG, die durch die Multiplikation der Körpergröße der Untersuchungsperson mit 0,55 abgeschätzt wird (Abb.20).

**Abb.20** Schematische Illustration der angenommenen Lokalisation des Gravitationszentrums beim aufrechten Stand auf der EquiTest - Plattform. Die linke Figur zeigt, dass das COG beim aufrechten Stand in Ruhe etwas vor der Vertikalen durch das Sprunggelenk liegt. Der geschätzte Winkel zu dieser Vertikalen beträgt 2,3°. Die Höhe des COG wird durch HCOG angegeben. Die rechte Figur zeigt die Projektion der Lage des nach vorn verlagerten COG's auf die Messplattform (PCOG) und den daraus entstehenden Schwankeungswinkel  $\theta$  des COG in der sagittalen Ebene.



Mit Hilfe des Schwankungswinkels  $\theta$  wird per Computerprogramm des EquiTest- Systems der **Equilibrium-Score(ES)** für jede der Messungen errechnet.

$$ES = \frac{12,5^\circ - (\theta_{ant} - \theta_{pos})}{12,5^\circ}$$

$\theta_{ant}$  ist der Winkel der maximalen Schwankung nach vorn während einer 20 Sekunden-Messung.  $\theta_{pos}$  ist der Winkel der maximalen Schwankung nach hinten bei derselben Messung über 20 Sekunden. Beim normalen aufrechten Stand liegen die theoretischen Stabilitätsgrenzen (LOS = limits of stability) in sagittaler Ebene bei  $12,5^\circ$  Schwankungsumfang. Man geht davon aus, dass ein normales Individuum eine anterior-posterior - Schwankung von im ganzen  $12,5^\circ$  ( $6,25^\circ$  nach vorn und  $6,25^\circ$  nach hinten) vollziehen kann, ohne dabei die Balance zu verlieren.

Dieser theoretische Winkel definiert die maximalen Stabilitätsgrenzen.

Sobald die Testperson durch Verlagerung des COG die Stabilitätsgrenzen überschreitet, gerät sie aus dem Gleichgewicht. Dieser Wert geht mit in die Berechnung des ES ein.

Schwankungen in laterale Richtung haben keine Bedeutung für die Berechnung des ES.

Nach Ablauf jeder Messung von 20 Sekunden erfolgt eine Zwischenberechnung des ES. Drei solcher Zwischenbilanzierungen sind für die Berechnung des ES jeder Gleichgewichtskondition nötig.

Der ES wird zwischen 0 und 100 angegeben.

0 entspricht einer maximalen Annäherung oder gar Überschreitung der Stabilitätsgrenzen; 100 bedeutet perfekte Stabilität.

Aus den Equilibrium-Scores der Gleichgewichtskonditionen des SOT wird dann vom Programm ein weiterer Wert, der Composite-Wert, errechnet.

Der **Composite-Wert** setzt sich aus den erreichten ES der einzelnen Gleichgewichtskonditionen zusammen.

Für seine Berechnung werden computergestützt die Mittelwerte der ES von Condition 1 und 2 zu den ES jeder Zwischenbilanzierung der Standbedingungen 3, 4, 5 und 6 addiert. Die Summe wird dann durch 14 dividiert.

Der Composite-Wert fasst somit die Ergebnisse des SOT unter allen 6 Gleichgewichtskonditionen zusammen. Der höchstmögliche Composite-Wert beträgt 100.

Insgesamt sind bei der Untersuchung mit der dynamischen Posturographie somit zwei Werte erfasst und zur weiteren Auswertung genutzt worden:

1. der **Equilibrium-Score(ES)**

2. der **Composite-Wert**

## 2.3 Untersuchungsmethoden und Ablauf für die Darstellung des Einflusses des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichtsfunktion

Bei der posturographischen Untersuchung des Einflusses eines Akustikus - neurinoms auf die Kontrolle der Körperhaltung wurde jeder Patient zuerst statisch und dann dynamisch untersucht. Die Untersuchung wurde jeweils ein Tag vor der geplanten operativen Entfernung des Neurinoms durchgeführt.

### 2.3.1 Untersuchung der AN-Patienten mittels statischer Posturographie

#### 2.3.1.1 Das Messsystem

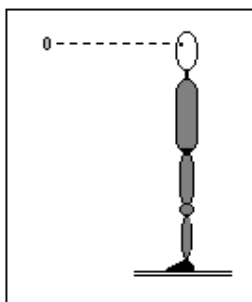
Zur statischen Messung der Körperhaltungskontrolle der AN-Patienten wurde das Messsystem der Firma Kistler® eingesetzt. Dieses System wurde im Kapitel 2.2.1.1 bereits ausführlich beschrieben.

#### 2.3.1.2 Versuchsablauf und Gleichgewichtskonditionen

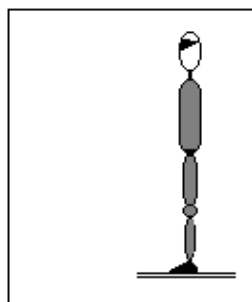
Die Gleichgewichtsfunktion der AN-Patienten wurde bei der Untersuchung mit der statischen Posturographie nur unter den Gleichgewichtskonditionen 1 und 2 beurteilt, also bei normalem Romberg-Stand zuerst mit offen, dann mit geschlossenen Augen (Abb.21).

**Abb.21** Die Konditionen für die AN-Patienten bei der statischen Posturographie

Kondition 1 (Cond.1)



Kondition 2 (Cond.2)



#### 2.3.1.3 Gemessene Größen und errechnete Größen

Gemessen wurde die **Gesamtspurlänge SL (in mm)**.

Diese Größe wurde später mit den erreichten Durchschnittswerten der Altersgruppen II und III der gesunden Probanden unter den gleichen Gleichgewichtskonditionen verglichen.

## 2.3.2 Untersuchung der AN-Patienten mittels dynamischer Posturographie

### 2.3.2.1 Das Messsystem

Bei dieser Untersuchung kam das EquiTest® - System zum Einsatz. Seine Funktionsweise wurde bereits in Kapitel 2.2.2.1 beschrieben.

### 2.3.2.2 Versuchsablauf und Gleichgewichtskonditionen

Es wurden bei der Untersuchung der Körperhaltungskontrolle der AN- Patienten die 6 Gleichgewichtskonditionen des SOT verwendet.

### 2.3.2.3 Gemessene Größen und errechnete Größen

Bei der Untersuchung der AN- Patienten mittels EquiTest® - System wurden die Equilibrium-Scores unter Gleichgewichtskondition Cond.1 und Cond.2 sowie Cond.5 und Cond.6 des SOT und der Composite-Wert ermittelt und mit den entsprechenden Durchschnittsmessdaten von den gesunden Probanden Altersgruppe II und III verglichen.

Es wurde weiter beobachtet, ob die vestibuläre Störung bei den untersuchten AN -Patienten durch die automatisch vom EquiTest® - System durchgeführte sensorische Analyse nachzuweisen ist.

Grundlage für die Untersuchung waren die vom System vorgegebenen Normdaten für das Verhältnis der ES unter Gleichgewichtskondition Cond.5 zu Cond.1 des SOT (Data Interpretation Manual, EquiTest® - System, Version 4.0, 1994). Diese Normwerte für den VEST-Quotienten haben einen unteren Grenzwert, der für verschiedene Altersgruppen definiert wurde und der als Grenzlinie der Quotienten-Normwerte die Bezugslinie für die Untersuchung darstellte.

Das EquiTest-System errechnete diesen VEST-Quotienten der AN-Patienten nach folgender Formel :

$$\text{VEST} = \frac{\text{ES unter Kondition 5}}{\text{ES unter Kondition 1}}$$

Die erhaltenen Werte erschienen beim Ausdruck im Säulendiagramm der sensorischen Analyse, wobei der pathologische Bereich unterhalb der Grenzlinie schraffiert gekennzeichnet ist. Ein in diesen schraffierten Bereich fallender Wert des Quotienten (als Säule dargestellt) wurde als anormal gewertet.

## 2.4 Auswertung der Daten und statistische Verfahren

Für die statistische Auswertung der Messdaten der statischen Posturographie wurden die angelegten Datenfiles in ASCII Files konvertiert.

Aus der Messung der Verlagerung des Kraftschwerpunktes CdP erhielt man die Werte für die Spurlänge SL sowie den RMS-Wert (root mean square) in x - Richtung (lateral) und y-Richtung (anterior-posterior).

Jeder Datenfile wurde der entsprechenden Altersgruppe zugeordnet und seine Messdaten in Tabellenform im Excel-Programm gespeichert. Es wurden für jede Gruppe unter jeder Standbedingung die Mittelwerte und Standardabweichungen der Spurlängen (SL in mm) und RMS-Werte (Rms-x, Rms-y) errechnet.

Die Prüfung auf signifikante Gruppenunterschiede erfolgte bei den Spurlängen und RMS-Werten mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) sowie mittels Mehrfachvergleichen (Multiple Comparisons, 95% CI).

Zur statistischen Auswertung der Daten der dynamischen Posturographie wurden die Equilibrium-Scores und Composite-Werte jedes Probanden ebenfalls in Exceltabellen eingetragen, nach Gruppen geordnet und jeweils die Mittelwerte für die Gruppen in der entsprechenden Standbedingung berechnet.

Weiter wurden alle Daten in das SPSS- Programm überführt und mit den entsprechenden Tests auf Signifikanz (ANOVA, Multiple Comparisons) geprüft.

Bei der statistischen Bearbeitung der Daten für die Untersuchung des Einflusses des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichtsregulation wurden Mittelwertvergleiche zwischen Gesunden und AN-Patienten durchgeführt.

Hierbei fanden der Levene-Test der Varianzgleichheit sowie der T-Test für die Mittelwertgleichheit Verwendung.

Ferner wurde zur Darstellung der Korrelation der Composite-Werte mit dem Alter eine Regressionsgleichung ermittelt.

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1 Der Einfluss des Alters auf die Gleichgewichtsfunktion

Sowohl mit der statischen als auch mit der dynamischen Posturographie ließ sich der Einfluss des Alters auf die Körperhaltung und die Gleichgewichtsfunktion im Sinne einer Schwankungszunahme demonstrieren.

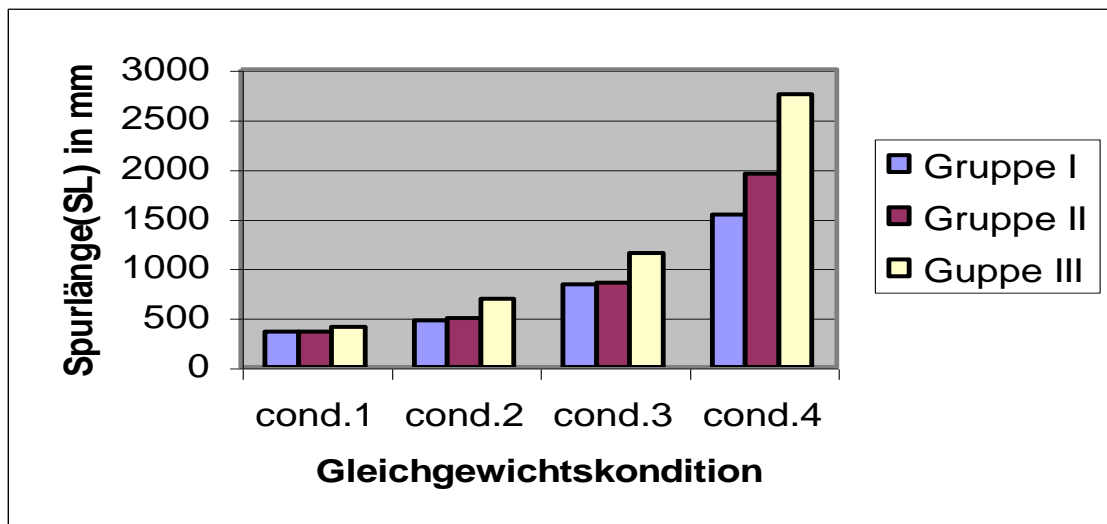
##### 3.1.1 Die statische Posturographie

###### 3.1.1.1 Die Spurlänge

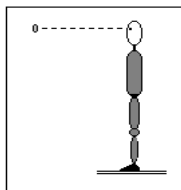
Sie entspricht der Summe der Einzeldistanzen der aufeinanderfolgenden Messpunkte des Kraftschwerpunktes (CdP) in der Messzeit von einer Minute bei einer Abtastrate von 20Hz. Die Spurlänge ist damit ein Maß der Verlagerung des Kraftschwerpunktes (CdP) und wurde bei dieser Untersuchung in den Gleichgewichtskonditionen Cond.1 bis Cond.4 der statischen Posturographie realisiert.

Generell konnte dabei festgestellt werden, dass mit der Steigerung des Schwierigkeitsgrades über die Gleichgewichtskonditionen Cond.1 bis Cond.4 die Probanden der Gruppen I, II und III mit einer deutlichen Zunahme der Spurlängen reagierten.(Diag.1)

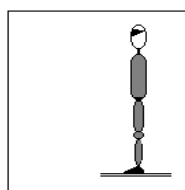
**Diag.1** Spurlänge (SL) in mm



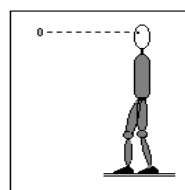
**Cond.1**



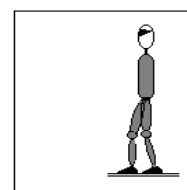
**Cond.2**



**Cond.3**



**Cond.4**



(Gruppe I (15-39J.), Gruppe II (40-60J.) und Gruppe III (>60J.)

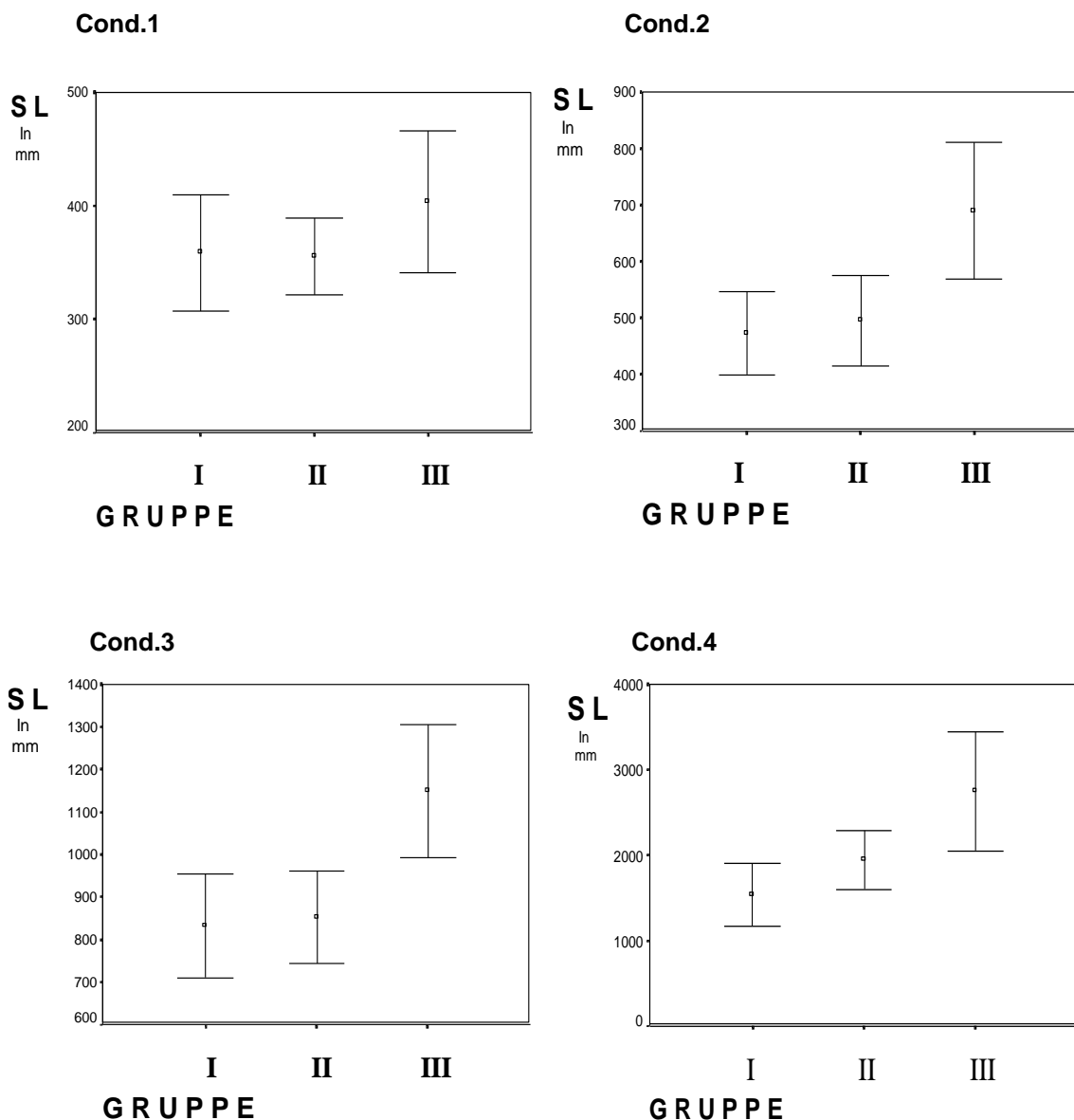


Zur Beobachtung des Einflusses des Faktors Alter auf die Gleichgewichts - funktion wurden die mittleren Spurlängen der einzelnen Altersgruppen miteinander verglichen.

Dabei wurde deutlich, dass die Spurlängen der Verlagerung des CdP mit der Zunahme des Alters größer werden.

Signifikante Unterschiede wurden jedoch erst unter den Konditionen Cond.2 ( $p < 0,01$ ), Cond.3 ( $p < 0,001$ ) und Cond.4 ( $p = 0,001$ ) verifizierbar. (Diag.2 u.Tab.1) Beim einfachen Romberg-Test mit geschlossenen Augen (Cond.2) und dem verschärften Romberg-Test mit offenen Augen (Cond.3) zeigte die älteste Gruppe signifikant größere Spurlängenwerte als die beiden jüngeren Gruppen (Cond.2 ( $p < 0,01$ ), Cond.3 ( $p < 0,001$ ) mit ANOVA). Die Spurlängen der Gruppen I und II unterschieden sich dabei nicht signifikant.

**Diag.2** Spurlängenunterschiede der Altersgruppen I.II und III\*



\*(Gruppe I (15-39J.), Gruppe II (40-60J.) und Gruppe III (>60J.))

Beim verschärften Romberg-Test mit geschlossenen Augen (Cond.4) zeigten die Spurlängenmittelwerte aller drei Gruppen die größte Differenz im Vergleich zueinander.

Signifikant war unter Kondition Cond.4 aber nur der Spurlängenunterschied zwischen Gruppe I und Gruppe III ( $p=0,001$ , Tab.2).

Um den Einfluss des Alters auf die Körperstabilität zu zeigen, erwiesen sich somit in dieser Studie die Konditionen Cond. 2, Cond. 3 und Cond. 4 als besonders geeignet.

**Tab.1** Spurlängenunterschiede der Altersgruppen I,II und III

	Gruppe I (15-39J.) n=20		Gruppe II (40-60J.) n=20		Gruppe III (>60J.) n=20		Signifikanz der Varianz zwischen den Gruppen (ANOVA*)
	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	
<b>Cond. 1</b>	<b>358.7</b>	(115.5)	<b>355.4</b>	(72.5)	<b>403.5</b>	(133.3)	nicht signifikant
<b>Cond. 2</b>	<b>472.8</b>	(165.9)	<b>495.7</b>	(172.1)	<b>688.9</b>	(258.3)	<b>p&lt;0.01</b>
<b>Cond. 3</b>	<b>832.1</b>	(276.2)	<b>852.6</b>	(231.3)	<b>1149</b>	(335.6)	<b>p&lt;0.001</b>
<b>Cond. 4</b>	<b>1535.8</b>	(820.9)	<b>1945.8</b>	(735.8)	<b>2748.2</b>	(1491.2)	<b>p&lt;0.01</b>

\* einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA)

**Tab.2** Mehrfachvergleich (multiple comparisons)

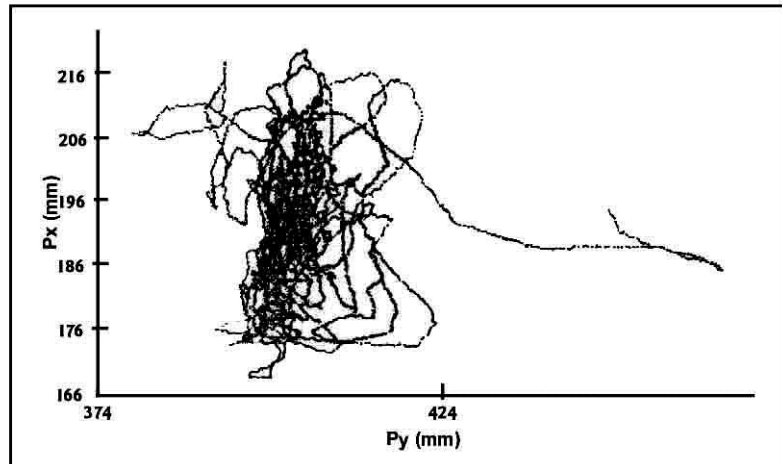
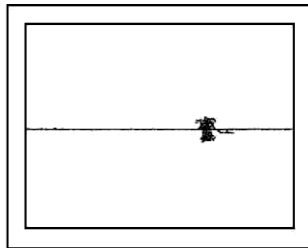
Altersgruppen		Signifikanz p (95%-Konfidenzintervall)	
<b>Cond.1</b>		nicht signifikant	
<b>Cond.2</b>	Gr.I < Gr.III	0,003	(p<0,05)
	Gr.II < Gr.III	0,010	(p<0,05)
<b>Cond.3</b>	Gr.I < Gr.III	0,002	(p<0,05)
	Gr.II < Gr.III	0,005	(p<0,05)
<b>Cond.4</b>	Gr.I < Gr.III	0,001	(p<0,05)

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass sich zur aussagekräftigen Darstellung der Auswirkungen des Alters auf die Kontrolle der Körperhaltung die Gleichgewichtskonditionen Cond.2, Cond.3 und Cond.4 der statischen Posturographie besonders eignen.

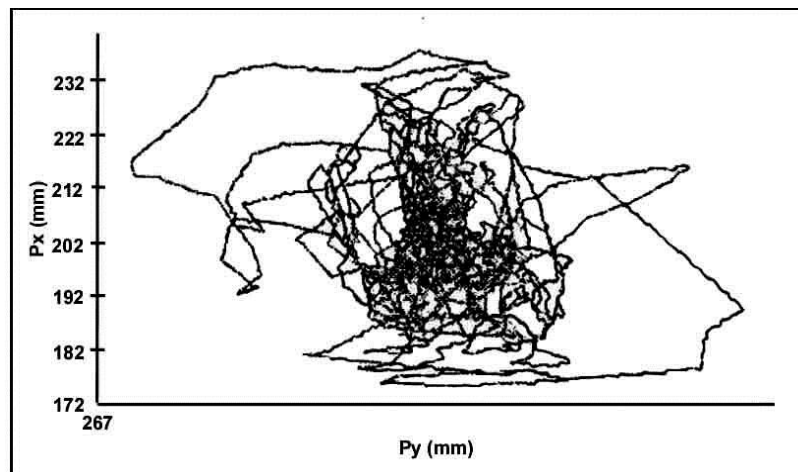
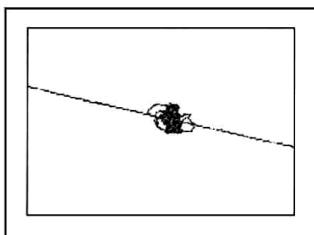
Die Abbildung 22 zeigt eine graphische Darstellung der Spurlängen im Statokinesigramm jeweils eines repräsentativen Probanden aus jeder Altersgruppe unter der Gleichgewichtskondition Cond.4.

**Abb.22** Spurlängen von repräsentativen Probanden jeder Altersgruppe unter Cond.4

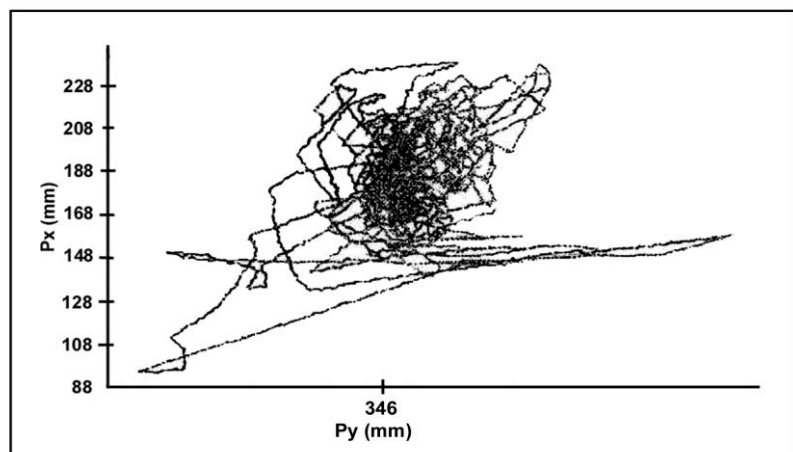
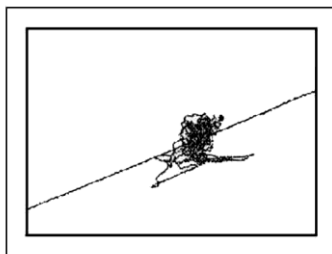
**GRUPPE I** (15-39J.)



**GRUPPE II** (40-60J.)



**GRUPPE III** (>60J.)



### 3.1.1.2 Der RMS-Wert

Der RMS-Wert (root mean square amplitude) kennzeichnet die mittlere Schwankungsamplitude eines Probanden in die jeweilige Richtung.

Die x-Richtung entsprach der Schwankungsrichtung nach lateral, die y-Richtung derer nach vorn und hinten.

Die Auswertung der mittleren Schwankungsamplituden (RMS) der Probanden zeigte, dass in y-Richtung bei allen 3 Gruppen signifikant größere Schwankungswerte erreicht wurden als in x-Richtung ( $p < 0,01$ ) (Diag.3).

Außerdem wurden bei der y-Richtung signifikante Unterschiede der gemessenen Amplituden unter der Gleichgewichtskondition Cond.1 gegenüber den Konditionen Cond.3 und Cond.4 deutlich:

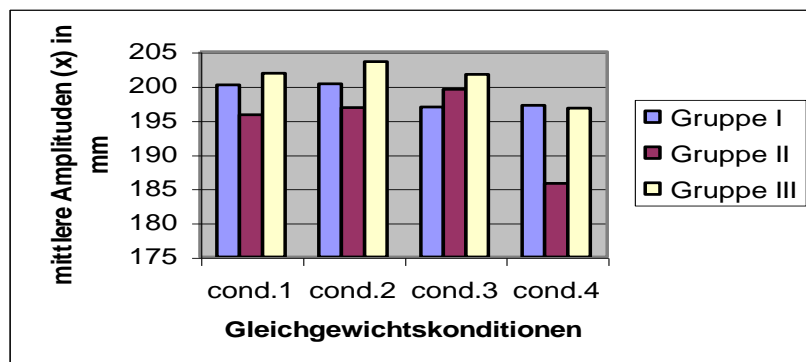
$$\text{Cond.1} < \text{Cond. 3} (p < 0,01) \quad \text{bzw.} \quad \text{Cond.1} < \text{Cond. 4} (p < 0,01).$$

In x-Richtung war dies nicht nachweisbar.

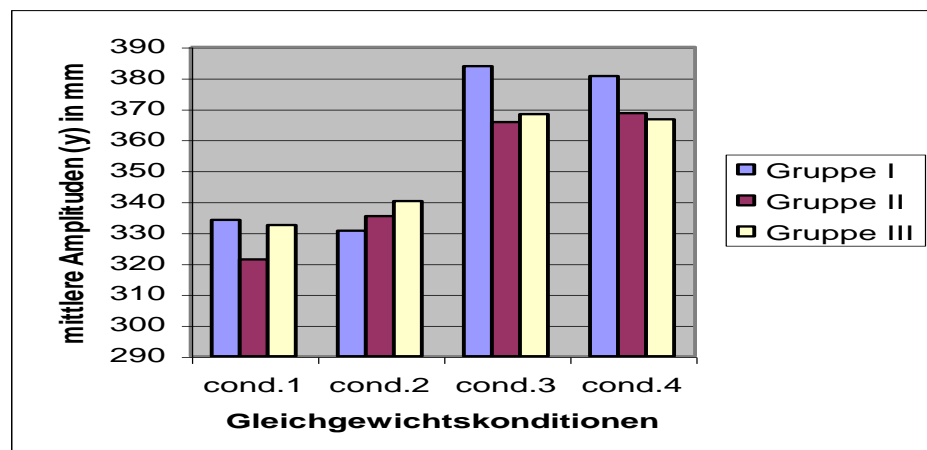
Es ließen sich jedoch weder für die y-Richtung noch die x-Richtung signifikante Unterschiede zwischen den RMS - Mittelwerten der drei Altersgruppen aufzeigen. (F-Test mit 95% CI)

#### Diag.3 RMS-Wert in y- und x-Richtung

RMS-x



RMS-y



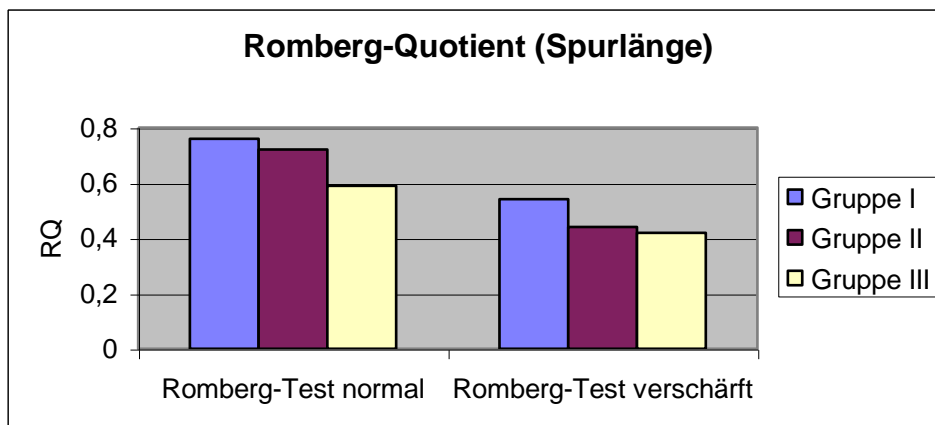
(Gruppe I (15-39J.), Gruppe II (40-60J.) und Gruppe III (>60J.))

### 3.1.1.3 Der Romberg-Quotient

Der Romberg-Quotient ist der Schwankungswert bei geschlossenen Augen als prozentualer Anteil des Wertes bei offenen Augen (Njioktiktjien und van Parys 1976). Er verdeutlicht den Effekt des Augenschließens. Je kleiner der Wert ist, umso mehr besteht eine visuelle Abhängigkeit (Hytönen et al.1993).

Als Schwankungswert wurde die Gesamtpurlänge (SL in mm) verwendet.

**Diag.4** Der Romberg-Quotient (RQ) aus den Spurlängenwerten



(Gruppe I (15-39J.), Gruppe II (40-60J.) und Gruppe III (>60J.))

$$RQ = \frac{\text{Spurlängenwert bei offenen Augen}}{\text{Spurlängenwert bei geschlossenen Augen}}$$

Der Romberg-Quotient zeigte mit zunehmendem Alter eine Verringerung seines Wertes (Diag.4 und Tab.3).

Bei erschwerter Gleichgewichtskondition, dem verschärften Romberg (Cond.3 und Cond.4), war der Unterschied der Spurlängen mit geschlossenen zu offenen Augen noch offensichtlicher, wobei der Romberg-Quotient bei allen Altersgruppen deutlich niedriger ausfiel.

**Tab. 3** Der Romberg-Quotient der drei Altersgruppen unter den Konditionen 1-4

Alters - gruppe	Romberg -Quotient bei Kondition (Cond.1 u.2)	Romberg -Quotient bei Kondition (Cond.3 u. 4)
Gruppe I (15-39Jahre)	0,76	0,54
Gruppe II (40-60Jahre)	0,72	0,44
Gruppe III(>60 Jahre)	0,59	0,42

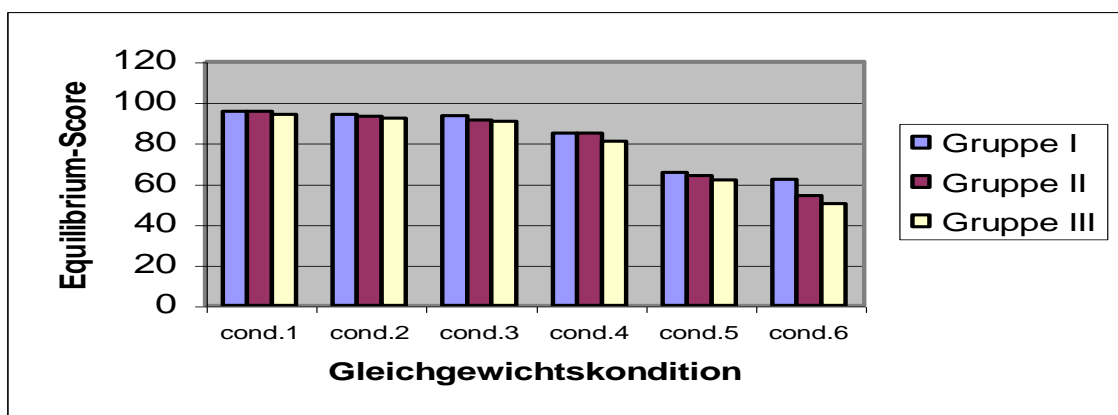
### 3.1.2 Die Dynamische Posturographie (EquiTest®)

#### 3.1.2.1 Der Equilibrium-Score

Bei der Betrachtung der Evolution der mittleren Equilibrium-Scores (ES) der drei Altersgruppen beim Verlauf des sensorischen Organisationstest (SOT) konnte im Allgemeinen eine Verringerung der Werte mit Zunahme des Schwierigkeitsgrades der Gleichgewichtskonditionen (Cond.1-6) festgestellt werden (Diag.5).

**Diag.5** Die mittleren Equilibrium-Scores (ES) beim sensorischen Organisationstest (SOT) des EquiTest der drei Altersgruppen

(Gruppe I (15-39J.), Gruppe II (40-60J.) und Gruppe III (>60J.))



Cond. 1

Romberg  
Augen offen  
fixierter Horizont  
fixierte Plattform



Cond. 2

Romberg  
Augen zu  
fixierte Plattform



Cond. 3

Romberg  
Augen offen  
bewegl. Horizont  
fixierte Plattform



Cond. 4

Romberg  
Augen offen  
fixierter Horizont  
bewegl. Plattform



Cond. 5

Romberg  
Augen zu  
bewegl. Plattform



Cond. 6

Romberg  
Augen offen  
bewegl. Horizont  
bewegl. Plattform

Bei der Beobachtung des Alterseinflusses auf die Gleichgewichtsfunktion wurden die ES-Mittelwerte der drei Altersgruppen für jede der 6 Gleichgewichtskonditionen miteinander verglichen.

Dabei wurde deutlich, dass unter allen Gleichgewichtskonditionen die älteren Probanden im Durchschnitt kleinere ES erreichten als jüngere Probanden.

Somit verhielten sich die mittleren ES beim SOT unter jeder Kondition wie folgt :

**ES der Gruppe I > ES der Gruppe II > ES der Gruppe III**

Signifikante Unterschiede wurden vorwiegend zwischen den Gruppen I und III festgestellt.

Diese Signifikanz der Wertunterschiede zwischen jüngster und der ältester Gruppe konnte hierbei unter den Konditionen Cond.1 ( $p < 0,01$ ), Cond.2 ( $p < 0,05$ ), Cond.3 ( $p < 0,01$ ) und Cond.6 ( $p < 0,005$ ) des SOT notiert werden. Unter Cond.4 und Cond.5 gab es keine Signifikanz.

Weiter war festzustellen, dass unter Kondition Cond.1 zudem noch die Gruppen II und III ( $p < 0,05$ ) und unter Kondition Cond.3 die Gruppen I und II ( $p < 0,05$ ) signifikante Wertunterschiede aufwiesen (Tab.4 und Diag.6 der nächsten Seite).

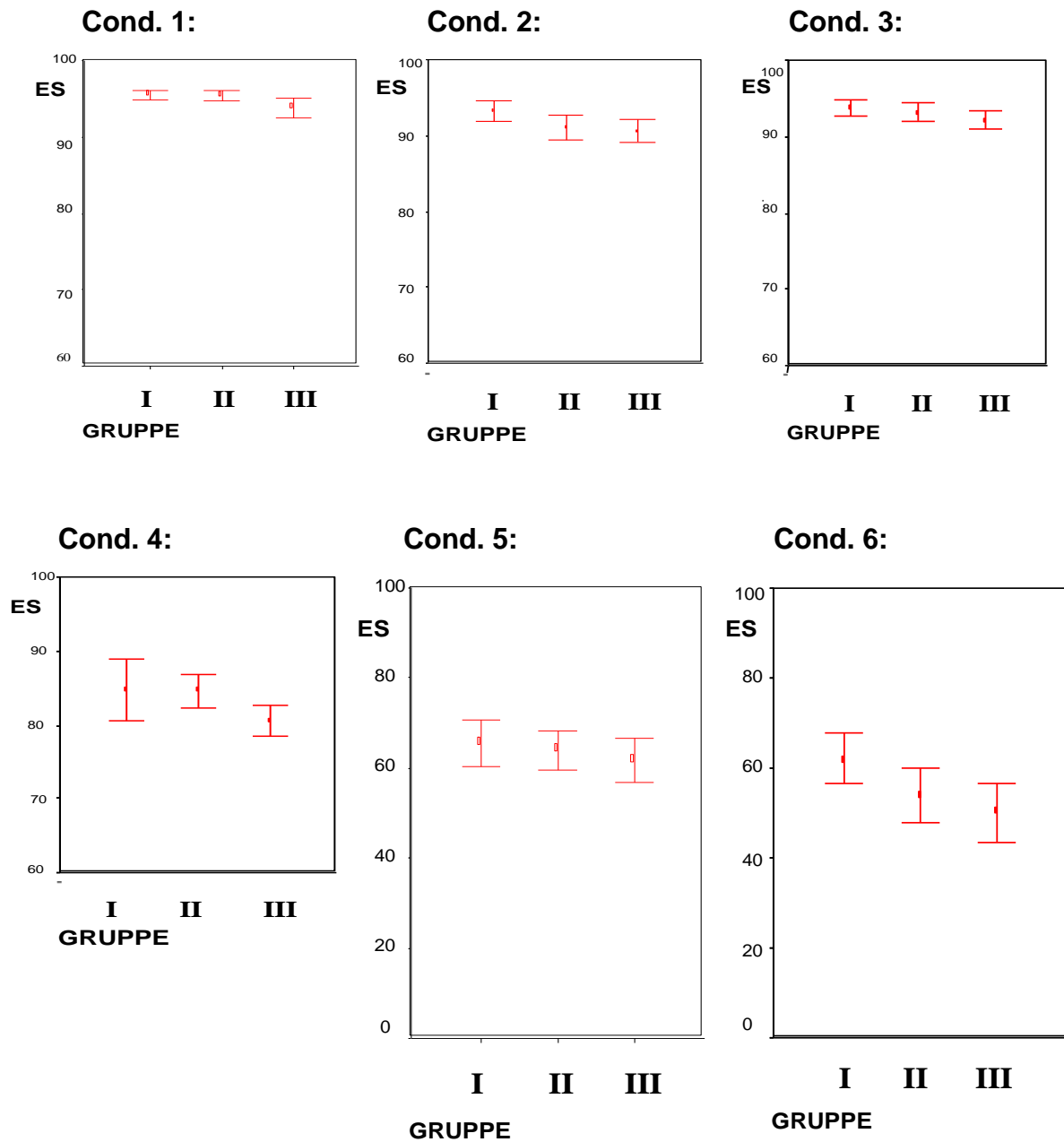
**Tab.4** Signifikante Unterschiede zwischen den Durchschnitts - Equilibrium-Scores der Altersgruppen (Gruppe I (15-39J.), Gruppe II (40-60J.) und Gruppe III (>60J.))

Kondition	ES			Signifikanz
	Gruppe I (S)	Gruppe II (S)	Gruppe III (S)	
<b>Cond. 1</b>	<b>95</b> ( $\pm 1.5$ )	<b>95</b> ( $\pm 1.4$ )	<b>94</b> ( $\pm 2.7$ )	Gr. I > Gr. III ( $p < 0,01$ ), Gr. II > Gr. III ( $p < 0,05$ )
<b>Cond. 2</b>	<b>94</b> ( $\pm 2.5$ )	<b>93</b> ( $\pm 2.5$ )	<b>92</b> ( $\pm 2.3$ )	Gr. I > Gr. III ( $p < 0,05$ )
<b>Cond. 3</b>	<b>93</b> ( $\pm 3.1$ )	<b>91</b> ( $\pm 3.3$ )	<b>91</b> ( $\pm 3.1$ )	Gr. I > Gr. III ( $p < 0,01$ ), Gr. I > Gr. II ( $p < 0,05$ )
<b>Cond. 4</b>	<b>85</b> ( $\pm 9.6$ )	<b>85</b> ( $\pm 4.9$ )	<b>81</b> ( $\pm 4.2$ )	keine Signifikanz
<b>Cond. 5</b>	<b>65</b> ( $\pm 12.1$ )	<b>64</b> ( $\pm 9.1$ )	<b>62</b> ( $\pm 9.8$ )	keine Signifikanz
<b>Cond. 6</b>	<b>62</b> ( $\pm 13.6$ )	<b>54</b> ( $\pm 13.1$ )	<b>50</b> ( $\pm 15.4$ )	Gr. I > Gr. III ( $p < 0,005$ )

Der Equilibrium-Score berechnet sich aus der Verlagerung des Kraftschwerpunktes (CdP) nur in anterior-posteriorer Richtung.

So wurde bei dieser Beobachtung deutlich, dass ältere Probanden größere Schwankungen in anterior-posteriorer Richtung vollziehen als jüngere und eine beeinträchtigte Fähigkeit der Körperhaltungskontrolle in sagittaler Ebene aufweisen.

**Diag.6** Graphische Darstellung der Equilibrium-Scores (ES) unter den Gleichgewichts -  
konditionen des SOT des EquiTest mit Markierung der Standardabweichungen  
bei den drei Altersgruppen.



(Gruppe I (15-39J.), Gruppe II (40-60J.)und Gruppe III (>60J.))



### 3.1.2.2 Der Composite-Wert

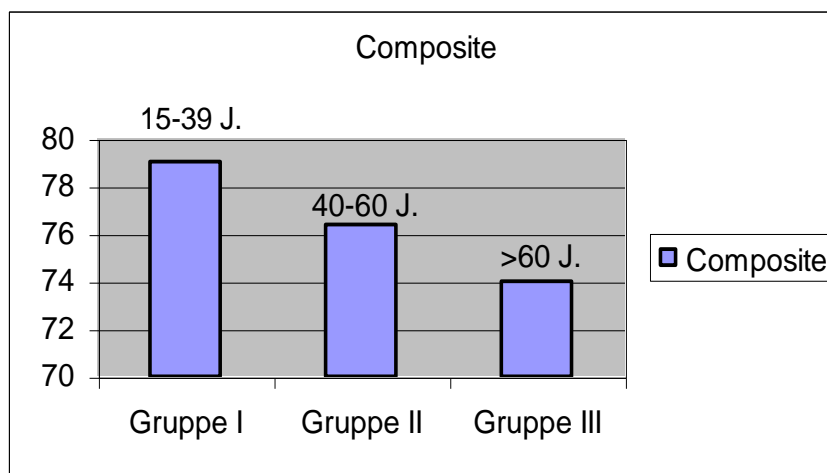
Der Composite-Wert stellt eine zusammenfassende Größe dar, die aus den ES aller Gleichgewichtskonditionen des sensorischen Organisationstests (SOT) errechnet wird.

Es konnte festgestellt werden, dass die Gruppe III insgesamt deutlich niedrigere Werte als die Gruppe I erreichte. Als Summen-Wert des sensorischen Organisationstestes (SOT) vom EquiTest zeigte der Composite-Wert folgende Unterschiede:

**Composite Gruppe I > Composite Gruppe II > Composite Gruppe III**

Signifikant war hierbei nur der Unterschied zwischen Gruppe I zu Gruppe III. ( $p < 0,01$ , F-Test mit 95%CI) (Diag.7 und Tab.5)

**Diag.7** Der Composite-Wert



**Tab.5** Composite-Wert und Standardabweichungen (S)  
(Gruppe I (15-39J.), Gruppe II (40-60J.) und Gruppe III (>60J.))

	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Signifikanz (zwischen Gruppe I und III)
<b>Composite (S)</b>	<b>79,0</b> (7,6)	<b>76,4</b> (5,1)	<b>74</b> (4,6)	$p < 0,01$

Die Auswertung des Composite-Wertes bestätigte damit die Unterschiede im Schwankungsverhalten der drei Altersgruppen, die bereits bei der Auswertung der ES festgestellt wurden.

Es wurde weiter eine gruppenunabhängige Ermittlung der Korrelation des Composite-Wertes mit dem Alter durchgeführt. Dabei wurde ein negativer Zusammenhang zwischen Alter und Composite-Wert festgestellt (Tab.6).

**Tab.6** Zusammenhang zwischen Alter und Composite-Wert (n= 60)

		ALTER	COMPOSITE
<b>ALTER</b>	Korrelation nach Pearson	1,00	-0,38
	Signifikanz (2-seitig)		0,003
<b>COMPOSITE</b>	Korrelation nach Pearson	-0,38 **	1000
	Signifikanz (2-seitig)	0,003	

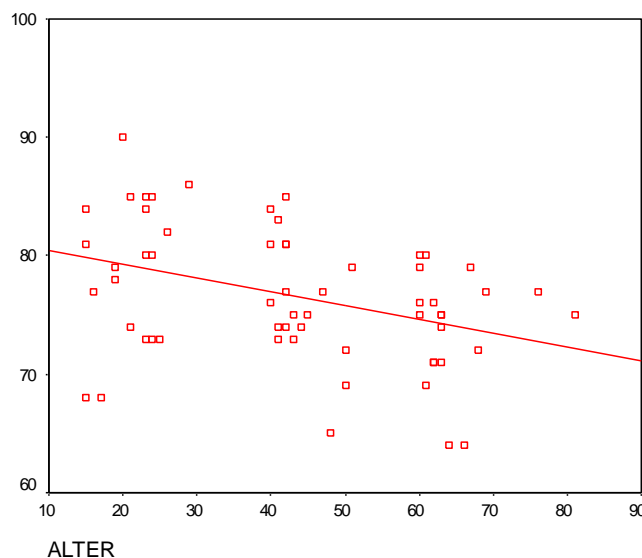
\*\* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant

Die Korrelation ist signifikant und negativ; d.h. je älter die Probanden waren, umso kleinere Composite-Werte erzielten sie. Dieser Zusammenhang von Alter und Composite-Wert konnte mit einer Regression nach der Regressionsgleichung :

$$\text{Composite} = 81,55 - 0,12 \times \text{Alter}$$

berechnet und grafisch dargestellt werden (Diag.8).

**Diag.8** Grafische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Alter und Composite-Wert



Somit scheinen für die statische Posturographie die Spurlänge und für die dynamische Posturographie die Equilibrium-Scores und Composite-Scores trennscharfe Messgrößen zu sein, um eine Schwankungszunahme und damit die Beeinträchtigung von Körperstabilität und Gleichgewichtsfunktion bei zunehmendem Alter zu demonstrieren. Bei den Gleichgewichtskonditionen mit hohem Schwierigkeitsgrad, das heißt unter Bedingungen, die sehr ungewohnte Anforderungen an das Gleichgewichtssystem stellen, war der Unterschied zwischen Jung und Alt am deutlichsten zu erkennen.

### 3.2 Der Einfluss des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichtsfunktion

Es wurde hierbei untersucht, ob das Bestehen eines einseitigen Akustikus - neurinoms (AN), unabhängig von Lage und Größe des Tumors, einen signifikanten Einfluss auf die Gleichgewichtsfunktion der betroffenen Patienten hat. Dazu wurden in der vorliegenden Studie 52 Personen getestet.

Darunter waren 12 Patienten mit einseitigem Akustikusneurinom (7 im Alter von 40-60 Jahren und 5 im Alter von >60 Jahren) und zum Vergleich 40 Gesunde der Altersgruppen II und III.

Nur 5 der AN-Patienten beklagten sich über subjektiven Schwindel.

Die AN-Patienten stellten sich jeweils einen Tag vor der Entfernung des Tumors auf die posturographischen Messplattformen des statischen Kistler® - Systems und des dynamischen Systems von EquiTest® (Neurocom®).

Messgröße für die statische Posturographie war die Spurlänge (SL), für die dynamische Posturographie der Equilibrium-Score (ES) und der Composite - Wert. Weiter wurde untersucht, ob die AN-Patienten in der sensorischen Analyse des EquiTest- Systems auffallen.

#### 3.2.1 Die Statische Posturographie

##### 3.2.1.1 Der Vergleich der Spurlängen

Es wurde hierbei ein Mittelwertvergleich der Variablen Spurlänge (SL) unter den Gleichgewichtskonditionen Cond.1 und Cond.2 (zusammengenommen) zwischen Gesunden und den AN-Patienten durchgeführt (Tab.7):

**Tab.7** Mittelwerte der Spurlänge (SL) unter Kondition 1 und 2 zusammengenommen

Spurlänge (SL)	Gesunde (n = 40)	AN-Patienten (n=12)	p
Mittelwert von SL	<b>379,46</b> ( ± 108,65)	<b>389,80</b> ( ± 96,01)	<b>0,77</b> (NS)

Mittelwert von SL ( ± 1Standardabweichung S ), NS – nicht signifikant

**Die Mittelwerte von Gesunden und AN- Patienten unterschieden sich nicht signifikant bei der Auswertung der Spurlängenwerte unter den Konditionen Cond.1 und Cond.2 . (p=0.77)**

### 3.2.2 Die dynamische Posturographie

#### 3.2.2.1 Der Vergleich der Equilibrium-Scores

Es wurde hierbei ein Mittelwertsvergleich der Variablen Equilibrium-Score (ES) unter den Gleichgewichtskonditionen Cond.1 und Cond.2 (zusammengekommen) und anschließend unter den Konditionen Cond.5 und Cond. 6 (zusammengenommen) zwischen Gesunden und den AN-Patienten durchgeführt (Tab.8).

**Tab.8** ES- Mittelwertsvergleich zwischen Gesunden und AN-Patienten unter den Konditionen Cond.1 + Cond.2 sowie Cond.5 + Cond.6

SOT- Kondition	ES Gesunde (n = 40)	AN-Patienten (n=12)	p
Cond. 1+Cond. 2	<b>94,63</b> ± 2,35 (5,52)	<b>92,86</b> ± 3,49 (12,18)	<b>0,12</b> (NS)
Cond. 5+Cond. 6	<b>57,43</b> ± 12,95 (167,70)	<b>50,60</b> ± 20,22 (408,84)	<b>0,039</b>

ES- Mittelwert ± 1Standardabweichung S (Varianz S<sup>2</sup>), NS – nicht signifikant

Es konnte festgestellt werden, dass sich unter den Konditionen Cond.1 und Cond.2 die ES-Mittelwerte von den Gesunden und AN-Patienten nicht signifikant unterschieden ( $p=0.12$ ).

Unter den Konditionen Cond.5 und Cond.6 hingegen war ein signifikanter Unterschied der ES-Mittelwerte von den Gesunden und den AN-Patienten zu konstatieren ( $p=0,039$ ), wobei die Werte der AN-Patienten deutlich unter denen der Gesunden lagen. Letztere Ergebnisse kamen unter sehr starker Streuung der Werte mit entsprechend großer Standardabweichung und Varianz zustande (Tab.8).

### 3.2.2.2 Der Vergleich der Composite-Werte

Anschließend wurde ein Mittelwertsvergleich der erreichten Composite-Werte der AN-Patienten gegenüber denen der Gesunden im Alter von über 40 Jahren durchgeführt (Tab.9).

**Tab.9** Mittelwertsvergleich der Composite-Werte zwischen Gesunden und AN-Patienten im Alter von über 40 Jahren

	<b>Gesunde (n = 40)</b>	<b>AN-Patienten (n=12)</b>	<b>p</b>
<b>COMPOSITE</b>	<b>75,20</b> ± 4,96 (24,6)	<b>69,92</b> ± 9,52 (90,6)	<b>0,088</b> (NS)

Composite-Mittelwert ± 1Standardabweichung S (Varianz S<sup>2</sup>), NS – nicht signifikant

Nach dem T-Test des Mittelwertvergleichs ergab sich ein  $p > 0,05$ . Somit erbrachte die statistische Auswertung der Mittelwerte des Composite - Wertes von Gesunden im Vergleich zu AN-Patienten keinen signifikanten Unterschied.

### 3.2.2.3 Die sensorische Analyse des EquiTest

Hierbei wurde untersucht, ob eine vestibuläre Störung bei den AN -Patienten durch die vom EquiTest® - System durchgeführte sensorische Analyse nachzuweisen ist. Die vom System vorgegebenen Normdaten für Gesunde gleichen Alters dienten als Vergleichswerte zur Analyse der Gleichgewichtsfunktion der AN-Patienten.

Konkret wurden dabei die ES der AN-Patienten für das Verhältnis der Gleichgewichtskondition Cond.5 zu Cond.1 des SOT mit den Normdaten des Systems verglichen (Data Interpretation Manual, EquiTest® - System, Version 4.0, 1994). Das Verhältnis der Werte unter Cond.5 zu Cond.6 wird in der sensorischen Analyse als VEST-Quotient bezeichnet.

Bei der Auswertung der sensorischen Analyse lagen 4 der 12 untersuchten AN-Patienten mit ihren Werten für den VEST-Quotienten unter der vom EquiTest® - System vorgegebenen Grenzlinie der Normwerte.

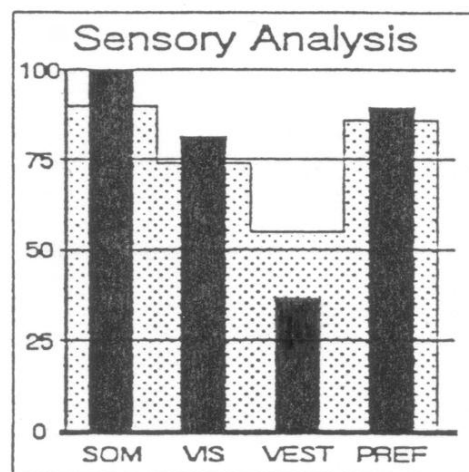
Es konnte somit festgestellt werden, dass ein Drittel der AN-Patienten in der vorliegenden Studie durch die sensorische Analyse des EquiTest auffällt (Tab.10 und Abb.23 der folgenden Seite). Nur einer von diesen 4 Patienten gab subjektiv Schwindel an. Nach dem Handbuch der Datenbeurteilung des EquiTest weisen die unter die Norm fallenden Werte für den VEST-Quotienten auf eine unspezifische Störung der vestibulären Funktion hin (Data Interpretation Manual, EquiTest® - System, Version 4.0, 1994).

**Tab.10** Werte für den VEST-Quotienten der AN-Patienten in Bezug auf die Schwelle der Normwerte der sensorischen Analyse des EquiTest.

AN-Patient (Alter)	Mittlere ES bei den Konditionen		Normwert-Schwelle	VEST-Quotient (Cond.5 / Cond.1)
	Cond.1	Cond.5		
1 ( 31 )	92.33	73.33	0.57	0.78
2 ( 39 )	95	58.33	0.57	0.61
3 ( 43 )	95	68.67	0.57	0.72
4 ( 51 )	89.33	31.67	0.57	<b>0.35 *</b>
5 ( 53 )	94	68	0.57	0.72
6 ( 56 )	96	74	0.57	0.77
7 ( 59 )	93.67	65	0.57	0.69
8 ( 62 )	96.67	54.67	0.56	0.57
9 ( 66 )	87.33	56.67	0.56	0.65
10 ( 68 )	95.67	35.67	0.56	<b>0.37 *</b>
11 ( 68 )	86	45.33	0.56	<b>0.53 *</b>
12 ( 69 )	93.33	38.33	0.56	<b>0.41 *</b>

\* Wert liegt unterhalb der Schwelle der Normwerte für den VEST-Quotienten

**Abb.23** Auffällige Sensorische Analyse eines AN-Patienten mit niedrigem Wert des VEST- Quotienten



Somit konnte festgestellt werden, dass das Bestehen eines Akustikusneurinoms bei 4 von den 12 untersuchten Patienten einen negativen Einfluss auf die Gleichgewichtsregulation hatte. Durch die Tatsache, dass nur einer dieser 4 in der Analyse auffälligen AN-Patienten subjektiven Schwindel angab, lässt vermuten, dass es keine eindeutige Korrelation zwischen Schwindelsymptomatik und pathologischem ES gibt.

## 4. DISKUSSION

Die vorliegende Studie sollte dazu dienen, das Alter als eine für die posturographische Gleichgewichtsuntersuchung wichtige Einflussgröße zu identifizieren. Durch die Darstellung altersabhängiger Veränderungen der Gleichgewichtsfunktion und der Körperhaltung mit Hilfe der Posturographie sollte zum Verständnis der mit dem Alter verbundenen klinischen Probleme wie z.B. der Sturzhäufigkeit älterer Menschen beigetragen werden.

Ein weiteres Anliegen dieser Studie war, zu ermitteln, ob ein posturographischer Nachweis von Gleichgewichtsstörungen bei Patienten mit einem einseitigen Akustikusneurinom möglich ist.

Zur Beantwortung der Frage nach dem Alterseinfluss auf die Gleichgewichtsfunktion wurden 60 gesunde Probanden im Alter von 15-85 Jahren rekrutiert, die die Ausschlusskriterien von insulinpflichtigem Diabetes mellitus, Alkoholabusus, der Einnahme von Antivertiginosa, eines Bestehens vestibulärer Vorerkrankungen sowie orthopädischer Haltungsschäden nicht aufwiesen.

Das Geschlecht fand bei der vorliegenden Untersuchung keine Berücksichtigung, da in wissenschaftlichen Arbeiten gezeigt wurde, dass es keine geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich der Gleichgewichtsfunktion gibt (Colledge et al. 1994, Hageman et al. 1995).

Somit ist ein wahrscheinlich repräsentativer Ausschnitt der gesunden Bevölkerung in dieser Studie untersucht worden.

Für die posturographische Untersuchung der Patienten mit Akustikusneurinom stellten sich 12 Patienten zur Verfügung, die sich stationär in der Universitäts - HNO-Klinik Magdeburg, zur chirurgischen Behandlung des Tumors aufhielten.

7 Patienten davon hatten ein Alter zwischen 40-60 Jahren und 5 ein Alter von >60 Jahren. Lokalisation und Größe des Tumors wurden notiert. 5 der 12 AN Patienten gaben subjektiv eine Schwindelsymptomatik an

Um die Funktionsweise des Gleichgewichtssystems beurteilen zu können wurden sowohl beim Nachweis des Alterseinflusses als auch bei der Darstellung des Einflusses eines Akustikusneurinoms Verfahren der Posturographie verwendet. Die Posturographie als Messverfahren erfasst über die Kraftmessplattform die Verlagerung des CdP und damit die Stabilität der Körperhaltung der Untersuchungsperson. Da die Körperhaltung als motorischer Ausgang des Gleichgewichtssystems von der Gleichgewichtsfunktion abhängt, erlaubt die Messung der Körperhaltungsstabilität die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Gleichgewichtssystems und seines vestibulären Einganges. Aussagen zur Gleichgewichtsfunktion lassen sich mit den Mitteln der Posturographie daher nur indirekt treffen. Bei den verwendeten Messsystemen handelte es sich um die Kistler® - Plattform für die statische sowie das EquiTest® - System für die dynamische Posturographie. Bei den Untersuchungen mit Hilfe dieser zwei unterschiedlichen Verfahren wurde unter anderem beobachtet, welche der jeweils ausgewerteten Größen und welche der verwendeten Gleichgewichtskonditionen geeignet sind, um den Einfluss des Alters sowie des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichtsfunktion darzustellen.

#### **4.1 Der Einfluss des Alters auf die Gleichgewichtsfunktion untersucht mittels statischer und dynamischer Posturographie**

In der vorliegenden Studie konnte durch die posturographische Messung bei älteren Menschen gegenüber Jüngeren innerhalb der Messzeit eine Verringerung der Körperhaltungsstabilität beobachtet werden, die sich in einer Schwankungszunahme ausdrückte.

Dies konnte sowohl mit der statischen, als auch mit der dynamischen Posturographie durch die altersabhängige Veränderung der jeweiligen Messgrößen eindeutig demonstriert werden. Das Alter hat demnach einen negativen Einfluss auf die Funktionsweise des Gleichgewichtssystems mit seinem vestibulären Anteil und des Systems der Körperhaltungskontrolle.

Dieses generelle Untersuchungsfazit der vorliegenden Studie stimmt im Wesentlichen mit den bisherigen Beobachtungen anderer Autoren (Overstall et al.1977, Kollegger et al.1992, Nakagawa 1992, Hytönen et al.1993, Colledge et al.1994, Baloh et al.1995, Matheson et al.1999) überein, die mit sehr unterschiedlichen Methoden aufzeigten, dass das Alter eine entscheidende Einflussgröße mit negativer Wirkung auf die Gleichgewichtsregulation darstellt.

In der Literatur wird die Demonstration einer Schwankungszunahme im Alter mittels statischer und dynamischer Verfahren unter Verwendung sehr verschiedener Gleichgewichtskonditionen und Messgrößen beschrieben, so dass ein direkter Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Studie mit denen einer anderen nicht möglich ist.

Bei der hier durchgeführten statischen Posturographie der untersuchten Population im Alter von 15 – 85 Jahren war unter allen Gleichgewichtskonditionen eine Zunahme der Spurlängenwerte mit fortschreitendem Alter erkennbar. Dies wurde durch die Beurteilung der drei jeweils errechneten Mittelwerte der Spurlängen von Altersgruppe I, II und III deutlich.

Eine 1997 durchgeführte großangelegte, multizentrische Studie in Japan mit 2415 Teilnehmern im Alter von 3 –94 Jahren, unter Durchführung des einfachen Romberg-Tests und Aufzeichnung mittels einer statischen Messplattform der Firma Anima®, zeigte ebenfalls eine Zunahme der Spurlänge im Alter.

Die Verlaufskurve der Messwertverteilung für die Spurlänge zeigte vom 3.- 24. Lebensjahr einen leichten Abfall, vom 25.- 49. Lebensjahr stabile Spurlängen und ab dem 50. Lebensjahr einen deutlichen Anstieg. Es wurde zudem eine sehr starke Divergenz der Messwerte bei der jüngsten sowie bei der ältesten Probandenschicht festgestellt (Imaoka et al.1997).

In der vorliegenden Studie konnten erst unter den Konditionen 2, 3 und 4 signifikante Spurlängenunterschiede in Bezug auf das Alter notiert werden.

Die Gruppe III der über 60-jährigen zeigte unter den Gleichgewichtskonditionen 2 und 3 deutlich größere Spurlängenwerte als die beiden jüngeren Gruppen.

Unter Gleichgewichtskondition 4 unterschieden sich die Werte zwischen Gruppe III und I signifikant.

Besonders geeignet für die Darstellung der Einflusses des Alters auf die Körperstabilität erscheinen somit die Konditionen 2 (einfacher Romberg-Test mit geschlossenen Augen), 3 (verschärfter Romberg-Test mit offenen Augen) und 4 (verschärfter Romberg-Test mit geschlossenen Augen) bei der statischen Posturographie.



In der hier durchgeführten Untersuchung mittels statischer Posturographie wurde der negative Einfluss des Alters auf die Stabilität der Körperhaltung durch eine Zunahme der Spurlängenwerte deutlich.

Was drückt aber die Zunahme des Messwertes Spurlänge aus?

In der vorliegenden Studie diente die Spurlänge der CdP-Verlagerung als Messwert zur Ermittlung der Stabilität der Körperhaltung.

Die Spurlänge ist die Summe der gemessenen Einzeldistanzen der Verlagerung des CdP bei einer bestimmten Abtastrate. In vorliegender Studie wurde eine Abtastrate von 20 Hz verwendet, wobei anzumerken ist, dass auch in anderen Studien diese Messfrequenz häufig verwendet wurde (Imaoka et al.1997).

Mit der Messung der Spurlänge wurden für jeden Probanden die Oszillationen des CdP in x- und y- Richtung erfasst, die notwendig waren, um das CdG zu stabilisieren. Es konnte so über die Messung der Ausgleichbewegung zur Verlagerung des CdP die eigentlich ausgeführte Körperschwankung, bei der sich das CdG verlagert, indirekt abgeschätzt werden.

Die in der vorliegenden Studie verwendete Messgröße der Spurlänge gab daher indirekt ein Bild der ausgeführten Körperschwankungen in anterior-posteriorer sowie lateraler Richtung innerhalb der Messzeit ab.

Da bei der statischen Posturographie eine Zunahme der Spurlängenmittelwerte der drei Altersgruppen festgestellt wurde, kann man somit von einer Schwankungszunahme bei fortschreitendem Alter sprechen.

Die Spurlänge ist nach Gagey et al. (1997) zudem die Messgröße, die am genauesten die Verlagerung des CdP während einer Messzeit beschreibt.

Die Spurlänge scheint somit eine geeignete Messgröße zu sein, um den Einfluss des Alters darzustellen.

Der Spurlängenwert allein gibt jedoch keine Auskunft über den Schwankungsmechanismus.

Es können mitunter große Spurlängenwerte über die Ausführung kleiner Schwankungsamplituden aber mit einer hohen Schwankungsfrequenz entstehen und umgekehrt.

Deshalb ist die Betrachtung des RMS- Wertes von Bedeutung, der ein Maß für die Schwankungsamplitude darstellt.

Es konnten in der vorliegenden Studie unter den Gleichgewichtskonditionen der statischen Posturographie jedoch keine signifikanten Amplitudenunterschiede zwischen den drei Altersgruppen festgestellt werden.

Unter allen Gleichgewichtskonditionen wurde ein signifikant stärkeres Schwanken mit größeren Amplituden in anterior-posteriorer Richtung als nach lateral notiert.

Eine ähnliche Feststellung mit Hilfe des Schwankungsparameters Verlagerungsgeschwindigkeit des Körperschwerpunktes machten Baloh et al.(1995), die die Ursachen der geringeren Schwankung nach lateral in der größeren mechanischen Stabilität des Fußgelenkes in lateraler Bewegungsrichtung vermuteten.

Auch die Ermittlung der Equilibrium-Scores (ES) sowie der Composite-Werte mittels dynamischer Posturographie verdeutlichte die Schwankungszunahme und damit die beeinträchtigte Körperhaltungskontrolle mit Zunahme des Lebensalters.

In vorliegender Studie konnte man sowohl bei den ES als auch bei den Composite-Werten eine signifikante und altersabhängige Verminderung der Körperstabilität und damit eine Zunahme der Körperschwankungen beobachten. Zu signifikanten Unterschieden der ES zwischen der jüngsten und der ältesten Gruppe kam es dabei unter den Konditionen 1, 2, 3 und 6 des SOT.

Ledin et al.(1991), Shepard et al.(1993) und Cohen et al.(1996) stellten ein ähnliches Verhalten aller Scores im sensorischen Organisationstest(SOT) des EquiTest fest.

In der Arbeit von Ledin et al.(1991) wurde eine Gruppe von 15 gesunden Personen im Alter zwischen 70 und 75 Jahren mittels EquiTest untersucht, wobei ebenfalls das Standard-Protokoll für den sensorische Organisationstest verwendet wurde. Der Mittelwert ihrer Equilibrium-Scores wurde mit dem einer Gruppe von gesunden 20-59-jährigen verglichen. Es wurden dabei statistisch hochsignifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) festgestellt. Die Älteren zeigten niedrigere Equilibrium-Scores unter den Gleichgewichtskonditionen Cond.2, Cond.3, Cond.5 und Cond.6.

Auch die Resultate von Shepard et al.1993 ergaben beim EquiTest altersabhängige Unterschiede der Körperstabilität. Dabei wurden signifikante Unterschiede ( $p < 0,001$ ) für Kondition Cond.3, Cond.5 und Cond.6, ohne signifikantem Unterschied unter Cond.2 und Cond.4 beobachtet.

Zudem fanden Shepard et al.(1993) nur eine geringe Signifikanz in Cond.1( $p < 0,05$ ). Eine klinische Signifikanz wurde von Shepard et al.(1993) nur bei Cond.5 und Cond.6 eingeräumt.

Shepard et al.(1993) schlussfolgerten daraus, dass jeweils unter den Konditionen mit beweglicher Plattform und beweglichem Horizont des SOT die größten Jung-Alt-Unterschiede deutlich werden.

In der Literatur werden die größten statistisch signifikanten Altersunterschiede der Körperstabilität vorwiegend unter zwei Konditionen beschrieben (Alexander 1994, Shepard und Telian 1996):

1. wenn die Standfläche verändert wurde, z.B. durch Verwendung einer kompressiblen Standunterlage, oder
2. wenn unerwartete Störungen des Körperschwerpunktes induziert wurden.

Diese Angaben deuten darauf hin, dass dynamische Gleichgewichts - konditionen für die Darstellung des Alterseffektes besser geeignet sind, da sie dem älteren Menschen gegenüber dem Jüngeren wesentlich mehr Schwierigkeiten bereiten.

In der vorliegenden Studie wurden signifikante Unterschiede auch unter Cond.1 und Cond.2 des SOT ermittelt, wo es zu keinerlei Bewegungen von Plattform oder Horizont kommt. Das Gesamtergebnis der hier durchgeführten Untersuchungen unterstützt aber die Ausführungen von Shepard et al.(1993) .

Die Auswertung des Composite-Wertes in der vorliegenden Arbeit bestätigt die Unterschiede im Schwankungsverhalten der drei Altersgruppen unter den einzelnen Gleichgewichtskonditionen des SOT.

Der Composite-Wert wird in gleichem Maße kleiner wie die Mittelwerte der ES in Abhängigkeit vom Alter.

Durch die Darstellung der Abnahme von ES und Composite-Wert konnte hier ein negativer Einfluss des Alters auf die Körperstabilität verdeutlicht werden.

Auch der Equilibrium-Score der dynamischen Posturographie ist wie die Spurlänge bei der statischen Posturographie ein Wert, der die Stabilität der Körperhaltung indirekt beschreibt.

Es sind jedoch grundsätzliche Unterschiede in der Ermittlung dieser Größen anzumerken.

Der zur Berechnung des ES nötige Schwankungswinkel ist der Winkel zwischen der Vertikalen und der Linie, die vom Unterstützungspunkt der Tragefläche des Fußes (Center of area of foot support) ausgeht und zum CdG zieht, welches durch die biomechanische Instabilität ständig von der Vertikalen abweicht.

Die in die Berechnung eingehenden theoretischen Werte – der Inklinationswinkel des CdG in Ruhe ( $2,3^\circ$  nach anterior) sowie die theoretischen Stabilitätsgrenzen bei einem maximalen Schwankungswinkel von  $12,5^\circ$  in sagittaler Ebene, sind Werte, deren Ermittlung auf der Annahme beruht, dass der Mensch wie ein starres, nach oben freies Pendel um eine Achse im Sprunggelenk schwingt (Nashner et al.1985).

Daraus geht hervor, dass man zur Berechnung des Equilibrium-Scores nicht von einer Verlagerung des CdP zur Stabilisierung der CdG-Position und somit nicht von dem von Gagey (1985) vorgeschlagenem theoretischen Modell des auf dem Finger balancierten Besens ausgeht (Gagey et al.1985).

Der Equilibrium-Score erfasst zudem nur die CdG-Verlagerungen in anterior-posteriorer Richtung.

Der Composite-Wert wiederum ergibt sich aus der Zusammenfassung der ES der verschiedenen Gleichgewichtskonditionen des SOT.

Trotz der sehr verschiedenen Ansätze zur Berechnung der Messparameter der statischen und der dynamischen Posturographie aus den Messsignalen der Plattformsensoren konnte die Ermittlung von ES und Composite-Wert die bei der statischen Posturographie beobachtete altersabhängige Beeinträchtigung der Körperhaltungsstabilität bestätigen.

Somit scheinen für die statische Posturographie die Spurlänge und für die dynamische Posturographie die Equilibrium-Scores und Composite-Werte relevante Messgrößen zu sein, um eine Schwankungszunahme und damit die Minderung der Körperhaltungsstabilität mit fortschreitendem Alter zu demonstrieren.

Bei den Gleichgewichtskonditionen mit hohem Schwierigkeitsgrad, das heißt unter Bedingungen, die sehr ungewohnte Anforderungen an das Gleichgewichtssystem stellen, war der Unterschied zwischen Jung und Alt am deutlichsten erkennbar.

## 4.2 Klinische Aspekte sowie physiologische und morphologische Veränderungen am Gleichgewichtssystem im Alter

Die Zunahme der Lebenserwartung ist in den Industrieländern ein Phänomen der hochentwickelten und sich stetig weiter entwickelnden Gesellschaft.

Das Altern ist ein die Lebenserwartung limitierendes Phänomen der Natur und wirkt diesem Prozess entgegen, wobei es beim Menschen unweigerlich zu anatomischen und physiologischen Veränderungen kommt, die mit der Zunahme der Lebenserwartung immer mehr in den Vordergrund treten und klinische Bedeutung erlangen.

Auffallend ist, dass ältere Menschen häufiger unter Gleichgewichtsstörungen leiden als jüngere. Bei Patienten der Altersschicht von 65 Jahren und älter sind Gleichgewichtsstörungen häufigster Konsultationsgrund beim Hausarzt (Villeneuve Parpay 2000/2001), die sich in klinischer Stand- und Gangunsicherheit ausdrückten. Sehr oft sind Stürze die Folge, was in fortgeschrittenem Alter schnell zu invalidisierenden Knochenbrüchen führt. Insbesondere sind die Knochen des Hüftgelenkes sowie Knochen der Hand- und Armgelenke betroffen.

In Frankreich wird die Anzahl der Stürze auf 2 Millionen pro Jahr geschätzt (Villeneuve Parpay 2003), wobei der Sturz bei den Über-65-Jährigen als primäre Ursache für den traumatisch-bedingten Tod angesehen wird (Villeneuve Parpay 2000/2001). Im Jahre 1987 betragen die Behandlungskosten allein von Schenkelhalsfrakturen in Frankreich etwa 5 Milliarden Franc/Jahr

(=7 622 450,9 €/Jahr) (Simon und Babin 2001).

Vor dem Hintergrund dieser klinischen, sozialen und volkswirtschaftlichen Problematik hat man bei älteren Menschen nach anatomisch-morphologischen und physiologischen Veränderungen des Gleichgewichtssystems gesucht.

### 4.2.1 Morphologische Veränderungen im Alter

In zahlreichen Untersuchungen post mortem hat man degenerative Veränderungen sowohl in den Strukturen des sensorischen Eingangs als auch in denen des motorischen Ausgangs und des zentralen Verarbeitungssystems beobachten können. So treten in praktisch allen Komponenten des Gleichgewichtssystems Systemfehler auf, die zu einer Funktionsschwäche der entsprechenden Organe und ihrem Zusammenspiel führen können.

Im peripher-vestibulären System sind bereits in den 70er Jahren unspezifische morphologische Veränderungen, in den Bogengängen sowie in Utriculus und Sacculus, gefunden worden (Johnson et al.1972, Rosenhall et al.1975,).

Es wurden weiter degenerative Veränderungen am Otolithenorgan, am vestibulären Neuroepithel, im Vestibularisnerven, den Gleichgewichtskernen und in den Areae des Vestibulo-cerebellums beobachtet (Lalwani 1994, Shepard et al.1996).

Eine kürzlich veröffentlichte Arbeit (Park et al.2001) bestätigte den Prozess einer altersabhängigen Abnahme der Anzahl der ersten Neurone im Ganglion vestibulare.

Tang et al. (2002) stellten bei 13 untersuchten menschlichen Hirnstämmen (Todesalter 40 – 93 Jahre) einen signifikanten Rückgang der Neurone in dem für den vestibulospinalen Reflex (VSR) sehr wichtigen medialen Gleichgewichtskern fest. Es wurde deutlich, dass daraus eine wesentliche Beeinträchtigung der Koordination von Kopf-, Augen-, Hals- und Rumpfbewegungen resultieren kann.

Die Dokumentation der neuronalen Degeneration in diesen Arbeiten gibt somit einen konkreten Hinweis auf eine anatomische Ursache der Gleichgewichtsschwäche im Alter.

Auch zirkulatorische und vaskuläre Faktoren scheinen eine Rolle zu spielen.

Untersuchungen an Innenohren von Ratten zeigten in deren Cristae ampullares der hinteren Bogengänge eine signifikant altersabhängige Verminderung der Durchblutung sowie des mittleren Kapillarendurchmessers und eine Abnahme der Volumenfraktion im Kapillarlumen. Diese Untersuchungen am Tier deuten darauf hin, dass auch ein verminderter Blutfluss und die damit verbundene Degeneration der Crista ampullaris eine Ursache für die Funktionsschwäche des menschlichen Endorgans sein kann (Lyon et al.1993).

Das somatosensorische, propriozeptive System unterliegt ebenfalls altersbedingten degenerativen Veränderungen. Der Lagesinn, das Gefühl und die Schwelle für Bewegungsempfindung in den Gelenken verändern sich dabei. Ältere Menschen haben höhere propriozeptive Schwellen für passive Bewegungsabläufe und sind dadurch weniger präzise in der Reproduktion und Wiederausrichtung der ursprünglichen Gelenkstellung (Stelmach et al.1987, Kokmen et al.1978, Colledge et al.1994). Weiter sind Alterserscheinungen an der Fußsohle zu notieren, die hier zu einer starken Beeinträchtigung der Sensibilität führen. Nach den Erkenntnissen aus der Posturopodologie wirkt sich dieser Umstand entscheidend auf die Körperhaltungskontrolle aus (Villeneuve Parpay 2001). Durch die Bildung von Schwielen unter den Köpfen der Mittelfußknochen wird die Fußsohlensensibilität verändert und durch Schmerzen verfälscht. Ältere Menschen belasten dadurch weniger den Vorderfuß, wodurch das Gang- und Standbild wesentlich beeinflusst werden (Piera et Vassel 1992). Man hat insbesondere bei den Über-75-Jährigen eine Atrophie der Sensoren unter den Köpfen der Mittelfußknochen feststellen können. Die Beeinträchtigung der Fußsensibilität kann dabei bis zur völligen Taubheit führen, was zur Folge hat, dass Ausgleichbewegungen nach Horak et al.(1990) eher über die Verlagerung der Hüfte ausgeführt werden.

Nicht zuletzt werden am visuellen System Veränderungen im Alter beschrieben, die mit einer Beeinträchtigung der Sehschärfe (Gittings et al.1986), der Tiefenunterscheidung, der Kontrastempfindung (Lord et al.1991) sowie der Hell-Dunkel-Empfindlichkeit einhergehen. Dabei sollen besonders die Sehschärfe und die Kontrastempfindung von großer Bedeutung für die Körperhaltungskontrolle sein (Colledge 1994).

So wie an den sensorischen Eingängen wurden auch an den motorischen Ausgängen des Gleichgewichtssystems Veränderungen im höheren Alter festgestellt. So nimmt die Muskelkraft der unteren Gliedmaßen mit dem Alter ab. Dies konnte durch isometrische und isokinetische Messungen nachgewiesen werden. Zusätzliche negativ einwirkende Faktoren bei Älteren sind die Abnahme des täglichen Bewegungsausmaßes sowie eine Zunahme der Steife zahlreicher Gelenke (Alexander 1994).

### 4.2.2 Physiologische Veränderungen im Alter

Die oben genannten morphologischen Veränderungen allein erklären noch nicht die bei älteren Menschen beobachtete Beeinträchtigung der Gleichgewichtsfunktion, da bekannt ist, dass die Komplexität des Gleichgewichtssystems eine Kompensation von Systemfehlern erlaubt und somit degenerative Prozesse in einzelnen Strukturen völlig unerkannt bleiben können. Von entscheidender Bedeutung ist daher, ob der Degenerationsprozess in einer für die Gleichgewichtsfunktion unabdingbaren Struktur auftritt.

So wurde bei Älteren mit Hilfe posturographischer Messverfahren untersucht, von welchem sensorische Eingang eine besondere Abhängigkeit besteht, und welche Auswirkungen deren selektive Beeinflussung auf den Stabilität der Körperhaltung und die Gleichgewichtsfunktion hat.

Das propriozeptive, somatosensible Eingangssystem wird beim aufrechten Stand als besonders wichtig empfunden. Die Posturologen sprechen gar vom wichtigsten System für die Kontrolle der Körperstabilität des älteren Menschen unter orthostatischen Gleichgewichtskonditionen, wobei das vestibuläre und das visuelle Eingangssystem eher eine untergeordnete Rolle spielen (Toupet et al. 1992, Diard et al. 1993, Vitte et al. 1993, Villeneuve Parpay 2001). Schon die Physiologen Vierordt (1877) und Magnus (1926) beschrieben die Wichtigkeit der Fußsohlenrezeptoren zur Stabilisierung des Körpers.

Auf die außergewöhnliche Leistungsfähigkeit dieses Einganges wurde bereits von einigen Autoren hingewiesen (Lamoulié 1980, Gerthoffert 1982).

Die Mechanorezeptoren der Fußsohle können Druckschwankungen der Größenordnung von 300 mg erfassen (Gerthoffert 1982) und werden schon durch kleinste Eindellungen der Haut aktiviert. Die taktile Diskrimination hat eine sehr niedrige Schwelle und liegt an den Zehen und am Vorderfuß bei 4 mm (Lamoulié 1980). Diese hohe Sensibilität und die senso-motorische Doppelfunktion des propriozeptiven Systems (Roll 1998) ermöglichen die Feinabstimmung der Körperhaltung und den Ausgleich von geringsten Körperschwankungen über Muskelkontraktionen an der Fußsohle, des Sprunggelenkes und der Wade.

Das somatosensible, propriozeptive Systems ist demnach sehr wichtig für die Körperstabilität beim aufrechten Stand, und es wird verständlich, warum die oben beschriebenen degenerativen Prozesse in den somatosensiblen und propriozeptiven Organen große Auswirkungen auf die Organisation des Gleichgewichtssystems und des ihm untergeordneten Kontrollsystems der Körperhaltung haben.

Von großer Bedeutung ist ebenfalls das Einfließen visueller Information in den Prozess der Gleichgewichtsfindung und der Stabilisierung der Körperhaltung.

Die Effektivität des visuellen Eingangssystems ist jedoch individuell sehr unterschiedlich. Das Erkennen bestimmter Fixpunkte und – Linien ermöglicht die Orientierung im Raum, wobei der Horizont von besonders großem Wert ist.

Der Horizont stellt eine visuelle Referenzlinie für die virtuelle und allgegenwärtige Gravitationskraft dar, die im Vestibulum erst bei Betragsänderungen seiner Wirkung durch Macula-Auslenkungen wahrgenommen wird.

Der Vektor der Schwerkraft steht im 90°- Winkel zur Horizontalen, was die Ausrichtung von CdG und CdP auf der gemeinsamen Vertikalen ermöglicht.

Die Einschätzung der Abhängigkeit von visuellen Informationen beim aufrechten Stand geschieht durch die Ermittlung des sogenannten Romberg-Quotienten. Er erlaubt die Beurteilung der Qualität sowie der relativen Bedeutung der visuellen Information gegenüber den Informationen anderer Eingänge.

Der Romberg-Quotient ist ein Schwankungswert bei geschlossenen Augen als prozentualer Anteil des Wertes bei offenen Augen (Njioktikijien und Van Parys 1976). Ein kleiner Romberg-Quotient bedeutet, dass der Unterschied eines Schwankungswertes bei geschlossenen im Verhältnis zu offenen Augen sehr groß ist, was in dem Fall für eine große visuelle Abhängigkeit spricht und umgekehrt (Hytönen et al.1993).

Weiter besteht eine verstärkte visuelle Abhängigkeit, wenn die Qualität anderer Eingangsinformationen beeinträchtigt ist (Data Interpretation Manual, EquiTest® - System (NeuroCom®). Version 4.0. 1994)

Der Romberg-Quotient wurde in der vorliegenden Studie mit Hilfe der Spurlänge als Schwankungswert über die Messzeit von einer Minute ermittelt. Er wurde mit zunehmendem Alter deutlich kleiner. Auch Nakagawa (1992) sah eine derartige Altersentwicklung des Romberg-Quotienten ohne signifikante Unterschiede zwischen den Älteren und den Jüngeren. Die Abnahme des Romberg-Quotienten bei den Älteren in vorliegender Studie unterstützt damit die Hypothese einer Zunahme der Abhängigkeit vom visuellen Input mit dem Alter (Hytönen et al.1993). Dies lässt sich möglicherweise dadurch erklären, dass die propriozeptiven und vestibulären Eingangsinformationen im Alter an Qualität verlieren und somit für die Gleichgewichtsfunktion weniger bedeutsam werden.

Im Allgemeinen bringt aber auch das vestibuläre System wichtige Informationen in den Prozess der Gleichgewichtsfindung und der Stabilisierung der Körperhaltung ein.

Die Statolithenorgane des Vestibulums sind dabei von besonderer Bedeutung. Über sie kann in enger Verknüpfung mit dem visuellen System die vertikale Ausrichtung der Schwerkraft erfasst werden. Es ist bekannt, dass unilaterale Läsionen des vestibulären Systems zu Störungen der Körperhaltung, der Augenbewegung und der vestibulären Perzeption führen, was mit deutlichen Stabilitätsverlusten unter statischen und dynamischen Gleichgewichts - konditionen einhergeht.

Bei Patienten nach Durchführung einer einseitigen Vestibularisneurotomie hat man unter statischen Konditionen eine Neigung des Kopfes und Rumpfes zur geschädigten Seite (Friedmann 1971, Borel et al.1997) und einer Vergrößerung der Fläche der CdP-Verlagerung (Lacour et al.1997) feststellen können.

Auch unter dynamischen Gleichgewichtsverhältnissen ist nach Neurotomie die Fähigkeit zur Stabilisierung von Kopf- und Rumpfhaltung im Raum beeinträchtigt (Peruch et al.1999, Borel et al. *im Druck*), wobei es ebenfalls zu einer Abweichung der Ausgleichbewegungen kommt.

Weiter ist bei Patienten nach Durchtrennung des N.vestibularis die Beschleunigungsempfindung an den Otolithenorganen verringert (Curthoys et al. 1990).

Die oben genannten Beobachtungen unterstreichen die Wichtigkeit des vestibulären Einganges für eine adäquate Gleichgewichtsfunktion, wobei die

Ursache dieser Phänomene in einer plötzlichen und unilateralen Unterbrechungen des peripher - vestibulären Informationsflusses liegt.

Alterungsprozesse dagegen führen in der Regel über einen langen Zeitraum hinweg zu bilateralen Schädigungen, die als solche allein noch nicht die Gleichgewichtsprobleme des älteren Menschen begründen.

Da das Altern ein progressiver, in der Regel langsamer Prozess ist, kommt es zur Kompensation sensorischer Defizite, die dadurch klinisch unerkant bleiben können. Eine Kompensation ist aber nur bei intaktem ZNS mit ausreichender Verarbeitungsfähigkeit möglich.

So machen einige Autoren hauptsächlich die beeinträchtigte oder verlangsamte zentrale Verarbeitung sensorischer Informationen und weniger periphere Störungen für die Gleichgewichtsprobleme im Alter verantwortlich (Alexander 1994).

Eine Studie von Stelmach et al.(1989) bestätigt diese Hypothese.

Um die willkürlichen und reflektorischen Mechanismen der Körperhaltungs - kontrolle beim destabilisierten Menschen zu studieren, erfuhren junge und ältere Personen eine große, schnelle und eine kleine, langsame Sprunggelenksrotation und damit eine plötzliche Störung der Körperstabilität beim Stand auf einer beweglichen Plattform. An der Plattform konnten dabei die Reaktionskräfte gemessen werden. Die kleine, kurze Rotation des Sprunggelenkes wurde angewandt, um gerade die höheren Ebenen der sensorischen Verarbeitung zu erreichen, wobei gezeigt werden konnte, dass Ältere gegenüber Jüngeren besonders in solchen Situationen benachteiligt sind, wo zum Körperhaltungsausgleich willkürlich gesteuerte Reaktionen erforderlich sind. Es kam zu keiner Adaptation bei wiederholten Testungen und damit zu keiner Reduktion der Schwankungen, wie es bei den Jüngeren beobachtet wurde. Stellmach et al.(1989) schlossen daraus, dass dies durch eine Verlangsamung der zentralen Verarbeitungsmechanismen bei Älteren verursacht wird.

Auch durch jüngere Studien, in denen sehr viele Probanden untersucht wurden, konnte gezeigt werden, dass Veränderungen in der zentralen Verarbeitung oder die Verlangsamung der Ausgleichreaktionen eine größere Rolle spielen, als der reduzierte sensorische Input.

Die vorliegende Studie hat im Einklang mit vorangegangenen Recherchen gezeigt, dass insbesondere Gleichgewichtskonditionen mit zwei oder mehreren Aufgabenstellungen an das menschliche Gleichgewichtssystem bei Älteren größere Probleme bereiten, als bei Jüngeren.

Wolfson et al.(1992) untersuchten dazu eine sehr große ältere Population mittels EquiTest (NeuroCom®). Sie beobachteten, dass ältere Menschen das Gleichgewicht eher nach Translationsbewegungen oder Kippbewegungen der Plattform verlieren. Sie stellten unter fünf der sechs Tests des SOT bei den Älteren signifikant größere Schwankungen fest. Der Unterschied der Ergebnisse im Vergleich zu denen der Jüngeren nahm entsprechend dem Schwierigkeitsgrad der Gleichgewichtskonditionen zu. Die schwierigste Kondition (Kondition 6) war häufig mit Stürzen auf dem Untersuchungsapparat verbunden. Die Älteren zeigten dabei größere Schwankungsamplituden als die Jüngeren.



Die Autoren interpretierten ihre Ergebnisse mit der Verringerung der Verarbeitungsfähigkeit der sich widersprechenden sensorischen Informationen bei älteren Probanden. Zur gleichen Erkenntnis kamen Baloh et al.(1995).

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen, dass Ältere mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad sowohl unter statischen als auch dynamischen Gleichgewichtskonditionen deutlich größere Probleme haben und somit relevante Veränderungen der Spurlängenwerte und Equilibrium-Scores im Vergleich zu Jüngeren aufweisen. Auch die Hypothese der verminderten Verarbeitungsfähigkeit von sich widersprechenden sensorischen Informationen bei Älteren wird damit unterstützt.

Ein Beispiel für Kompensation bei sensorischem Defizit ist die Änderung der Strategie für den Körperhaltungsausgleich bei einer Störung des propriozeptiven Einganges.

Woollacott hat bereits 1986 bewiesen, dass sich die Ausgleichsbewegungen zur Stabilisierung der Körperhaltung beim älteren Menschen wesentlich von denen des jungen Menschen unterscheiden (Woollacott 1986). Woollacott zeigte, dass die Älteren bei provozierter Destabilisierung Ausgleichsbewegungen über das Hüftgelenk bevorzugen, was von Nashner und Mc Collum (1985) als „Strategie der Hüfte“ bezeichnet wurde. Bei dieser Strategie wird in erster Linie das CdG bewegt und der gemeinsamen Vertikalen mit dem CdP genähert.

Die Jüngeren dagegen üben vorwiegend Kontraktionen an der Fußsohlen- und Zehenmuskulatur aus, was zu einer Verlagerung des CdP führt und aufgrund der Mitbeteiligung des Sprunggelenkes auch „Strategie des Sprunggelenkes“ genannt wird (Nashner et Mc Collum 1985).

Die Hauptursache für die Änderung der Strategie zum Ausgleich der Körperhaltung liegt aus posturo-podologischer Sicht am allmählichen Leistungsverlust des propriozeptiven Systems beim älteren Menschen (Villeneuve Parpay 2001).

Horak et al.(1990) haben gezeigt, dass es selbst beim jungen Menschen zu einer Änderung der Strategie, hin zu einer Strategie der Hüfte, kommt, wenn die Fußsohle anästhesiert wird. Gleiche Beobachtungen wurden bei der Verkleinerung der Standfläche oder einer Teilanästhesie der Fußsohle gemacht. Die Strategie der Ausgleichsbewegung ändert sich allmählich mit dem Verlust der Leistungsfähigkeit des propriozeptiven Systems.

Dies erklärt auch, warum Ältere während einer Stabilitätsprüfung unter monopodalen oder ähnlichen Standbedingungen eine wesentlich größere Instabilität zeigen, da der Stand auf einem Bein gerade Ausgleichsbewegungen über die Strategie der Verlagerung des Druckzentrums am Fuß (CdP) erfordert (Gagey 1998).

Der verschärfte Romberg-Test ist zwar keine strikt monopodale Standbedingung, stellt aber eine unphysiologische Gleichgewichtskondition dar, wo der Proband vorwiegend nur einen der beiden Füße, den sogenannten Stützfuß, durch sein Körpergewicht belastet. So wurden unter dieser experimentellen Kondition in der vorliegenden Studie hohe Anforderungen an die Feinmotorik der CdP- Verlagerung durch die Fußmuskulatur gestellt, die sich bei den älteren Probanden über die Messung größerer Spurlängenwerte als defizitär erwiesen hat.

Bei posturographischen Messungen an älteren Personen wird unter diesen verschärften Konditionen die Bevorzugung von Ausgleichsbewegungen über die Hüfte offensichtlich.

Die Strategie der Ausgleichbewegungen scheint ätiologische Bedeutsamkeit für den Sturz des älteren Menschen zu haben. Obwohl es zahlreiche Autoren gibt, die keine wirkliche Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen den Änderungen der Haltungskontrolle bei Älteren und deren Rate an Stürzen aufzeigen konnten (Baloh et al.1995, Shepard et al.1996), wird nach den Erkenntnissen von Woollacott (1986) heutzutage angenommen, dass es eine Korrelation zwischen Strategie der Hüfte und dem klinisch bedeutsamen Sturz des älteren Menschen gibt (Villeneuve Parpay, 2001).

Auch psychologische Einflüsse spielen neben den genannten morphologischen und physiologischen Veränderungen des Gleichgewichtssystems eine Rolle. Dabei konnte bei Personen mit ausgesprochener Angst, zu stürzen, eine signifikante Zunahme der Schwankungsgeschwindigkeit unter dynamischen Gleichgewichtskonditionen mit geschlossenen Augen nachgewiesen werden (Baloh et al.1995).

Es wird ersichtlich, dass die Sturzproblematik des älteren Menschen sehr komplex ist und auf Grund der Vielfältigkeit seiner Ursachen und der unter Umständen sehr schwerwiegenden klinischen und sozialen Konsequenzen fachübergreifender Lösungen bedarf.

### **4.3 Der Einfluss des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichtsfunktion**

Es war in der vorliegenden Studie die Frage zu klären, ob mit Hilfe der statischen und der dynamischen Posturographie ein signifikanter Einfluss auf die Gleichgewichtsfunktion nachzuweisen ist, und somit die Posturographie als diagnostisches Hilfsmittel betrachtet werden kann.

Die Gleichgewichtsfunktion konnte hierbei indirekt über die Ermittlung der posturographischen Schwankungsgrößen Spurlänge sowie ES und Composite-Wert des EquiTest® eingeschätzt werden. Die Werte von 12 AN-Patienten wurden mit denen von 40 Gesunden verglichen, wobei lediglich in der Auswertung der ES des EquiTest® unter den Konditionen Cond.5 und 6 ein signifikanter Unterschied deutlich wurde. Unter den Konditionen Cond.5 und 6 erzielten die AN-Patienten deutlich niedrigere ES als die Gesunden. In der Literatur sind für Störungen der sensorischen Systeme charakteristische Verteilungsmuster der ES im SOT beschrieben worden, wobei nach Cyr et al.(1993) bei vestibulärer Beeinträchtigung die ES unter Cond.5 und Cond.6 sehr niedrig ausfallen (Cyr et al.1993).

Auch in der vorliegenden Studie konnte eine solche Verteilung beobachtet werden, die sich in der sensorischen Analyse in entsprechend niedrigen Werten für den VEST-Quotienten ausdrückte. Beim Vergleich der ES der AN-Patienten mit den ES der gesunden Studienteilnehmer konnte ein signifikanter Unterschied unter den Konditionen Cond.5 und 6 nachgewiesen werden, wogegen unter den Konditionen Cond.1 und 2 kein signifikanter Unterschied erkennbar war. Dieses Ergebnis ist ganz im Sinne des in der Literatur beschriebenen charakteristischen Verteilungsmusters der ES im sensorischen Organisationstest bei Patienten mit vestibulären Störungen. Danach sind die Scores bei diesen Patienten unter den Konditionen Cond.5 und Cond.6 signifikant kleiner als unter Kondition Cond.1(Data – Interpretation Manual, EquiTest® - System, Neurocom®, Version 4.0, 1994).

Es ist hier anzumerken, dass in vorliegender Studie unter den Konditionen Cond.5 und 6 die Streuung und Varianz der Messdaten sehr groß war, was die Aussagekraft dieser Ergebnisse relativiert.

Bei der sensorischen Analyse des EquiTest fiel ein Drittel der 12 AN-Patienten durch niedrigere Werte für den VEST-Quotienten auf, wobei hier ein Vergleich der Werte der AN-Patienten mit den Normdaten des EquiTest® -Systems vorgenommen wurde.

Es wird beschrieben, dass bei Patienten mit einem Akustikusneurinom sehr unterschiedliche Symptome auftreten können oder ganz und gar fehlen.

Nach Berghaus soll aber oft schon zum Zeitpunkt der Diagnose eines Akustikusneurinoms eine vestibuläre Störung nachweisbar sein (Berghaus et al.1996), obwohl subjektiv keine Schwindelsymptomatik vorliegt.

Auch in der vorliegenden Studie beklagten sich nur 5 der untersuchten AN – Patienten über Schwindelgefühle und Gangunsicherheit.

Nur eine von diesen 5 Personen zeigte in der sensorischen Analyse des EquiTest pathologische Werte.

Obwohl in der Literatur bislang kein direkter Zusammenhang von auffälligen Messwerten in der Posturographie und dem Bestehen eines Akustikus - neurinoms beschrieben wurde, zeigt die vorliegende Studie, dass die Posturographie, und insbesondere das EquiTest®-System mit der Betrachtung der ES-Verteilung und der sensorischen Analyse zur Diagnostik des Akustikusneurinoms beitragen kann.

Die Feststellung von Berghaus (1996), dass über 70% der Patienten mit AN einen auffälligen Befund der vestibulospinalen Abweichreaktionen im Romberg-Test zeigen, konnte durch die posturographischen Aufzeichnungen in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden.

#### **4.4 Die Posturographie in der Klinik**

Obwohl bereits im 19ten Jahrhundert die ersten posturographischen Experimente zur Erforschung von Körperhaltung und Gleichgewicht durchgeführt wurden (Vierordt 1860), hat die Posturographie mittels Kraftmessplattformen erst ein Jahrhundert später Einzug in die Medizin gefunden. 1952 wurde die erste Kraftmessplattform in Frankreich konstruiert (Ranquet 1953). Seit Nashner (1970) einen Apparat erfand, mit dem es möglich war, die visuellen und propriozeptiven Eingänge separat zu manipulieren und dabei die Körperschwankungen zu messen, fand die Posturographie auch Anerkennung als diagnostisches Hilfsmittel in der Medizin.

Eine wirklich praktische Arbeit mit den Geräten der Posturographie begann aber erst in den 80er Jahren des 20sten Jahrhunderts mit dem Einsatz von Computern zur Steuerung der Messungen sowie der Bearbeitung und Auswertung der Messdaten.

Heute findet man medizinische Anwendungen der Posturographie unter anderem in der Neurologie, zur Erkennung neuro-sensorieller oder motorischer Störungen.

In der Traumatologie und Orthopädie wird die Posturographie eingesetzt, um Körperhaltungsschäden zu dokumentieren und um diesbezüglich Indikationen zu speziellen chirurgischen oder orthopädischen Behandlungen zu stellen.

In der Sportmedizin kann die Posturographie zur Einschätzung posturo - kinetischer Leistungen des Sportlers eingesetzt werden, insbesondere bei Sportarten, wo hohe Anforderungen an das Gleichgewichtssystem gestellt werden.

In der HNO wird die Posturographie genutzt, um die Integrationsfähigkeit vestibulärer Informationen in die Gleichgewichtsfunktion zu beurteilen.

Was die Diagnostik vestibulärer Störungen betrifft wird die Posturographie eher als eine ergänzende Methode zur standardmäßigen Vestibularisprüfung angesehen (Di Fabio 1996).

Dabei ist das Fehlen von Normdaten ein Hauptproblem der diagnostischen Verwertbarkeit posturographischer Messungen.

Da bisher nur wenige Normwerte vorliegen und diese zudem immer an ein bestimmtes Messsystem gebunden sind, kann für einen Patienten aus den posturographischen Daten einer einzigen Messung keine eindeutige Aussage über gesund oder krank getroffen werden.

In der vorliegenden Studie wurde gezeigt, dass auch asymptotische Menschen allein durch ihr höheres Alter in der statischen und dynamischen Posturographie Messwerte aufweisen, die auf eine altersbedingte Veränderung der Gleichgewichtsfunktion schließen lassen.

Umso wichtiger ist es deshalb, dass für jede Altersschicht entsprechende posturographische Normdaten erstellt werden.

Um dies zu erreichen hat in Frankreich die Französische Assoziation für Posturologie (A.F.P. 1984) die Standardisierung für die Konstruktion der Messplattformen, für die verschiedenen Gleichgewichtskonditionen, für die Signalaufzeichnung sowie für deren Analyse vorgeschlagen (Bizzo et al.1985, A.F.P. 1985 et 1986).

Wie bereits erwähnt bestehen Normdaten, die an ein bestimmtes Untersuchungssystem gebunden sind, wie z.B. für den EquiTest® (EquiTest® - System, Data Interpretation Manual, NeuroCom®,1994), wo man durch großangelegte Studien für bestimmte Altersgruppen die entsprechenden Referenzdaten ermittelt hat.

Auf der Grundlage dieser Normdaten für dieses System können mit Hilfe der sensorischen Analyse des EquiTest® vestibuläre Defizite erkannt werden, ohne dass eine Differenzierung zwischen zentralen oder peripheren Störungen möglich ist (Data – Interpretation Manual, EquiTest® - System, Neurocom®, Version 4.0, 1994).

Nach einigen Autoren ist gegenüber unspezifischen Störungen der Gleichgewichtsfunktion die Sensitivität der dynamischen Posturographie größer als die der statischen (Baloh et al.1995, Brown et al.2000).

In diesem Sinne trägt die Posturographie auch zur Diagnostik von Akustikusneurinomen bei und hilft bei der Indikationsstellung zur operativen Entfernung des Tumors (Jackler 2000).

Eine große Bedeutung hat die Posturographie in der Beurteilung der vestibulären Kompensation nach Entfernung eines Akustikusneurinoms (Jackler 2000) oder nach unilateraler Durchtrennung des N. vestibularis bei chirurgischer Behandlung des M. Ménière (Lacour et al. 2003).

Besonders bei Patienten nach Vestibularisdurchtrennung erlaubt die Posturographie die Beobachtung der Änderung von Körperhaltungsstrategien in der Kompensationsphase, was heute als ein weiteres wichtiges Element in der individuell sehr variablen Kompensationsarbeit angesehen wird (Lacour et al. 2003).

Als therapeutisches Hilfsmittel hat die Posturographie im Rahmen der geriatrischen Prävention von Stürzen des älteren Menschen ihren Platz gefunden. Es wurde gezeigt, dass mit Hilfe der dynamischen Posturographie Risikopatienten nicht nur identifiziert werden können (Forizetti et al. 2000) sondern auch mit Hilfe von posturographischen Messplattformen ein Gleichgewichtstraining möglich ist. Dabei wird über das visuelle feedback die Koordination der eigenen Schwerpunktsverlagerung geübt (z.B. mit Hilfe der Systeme Balance-Master®, NeuroCom® oder Satel®).

Die Posturographie nimmt gleichfalls eine wichtige Stellung in den Forschungsbereichen verschiedener medizinischer Disziplinen ein. Nicht nur in der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde sondern insbesondere in dem jungen Fachbereich der Posturologie macht man bei der Erforschung der Biomechanik der Körperhaltung Gebrauch von der Posturographie.

Die Möglichkeiten der Posturographie in Diagnostik, Therapie und Forschung sind bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Es wird Aufgabe der nächsten Jahre bleiben, durch die wissenschaftliche und praktische Arbeit mit der Posturographie, das sehr komplexe Gleichgewichtssystem ausführlich zu studieren, um daraus weitere klinische Anwendungen für dieses spezielle Messverfahren zu definieren.



## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieser Studie war es, zu ermitteln, ob der Faktor Alter einen derartigen Einfluss auf die Gleichgewichtsfunktion hat, dass er sich mit Hilfe der statischen und dynamischen Posturographie darstellen lässt. Es sollte dabei die Entwicklung posturographischer Messgrößen in den verschiedenen Altersgruppen beobachtet werden. Weiter ist zu untersuchen gewesen, ob das Bestehen eines einseitigen Akustikusneurinoms mittels statischer und dynamischer Posturographie nachweisbar ist.

Bei der Untersuchung des Alterseinflusses wurde unter anderem ermittelt, welche der verwendeten Gleichgewichtskonditionen und Messgrößen geeignet sind, um einen Einfluss aussagekräftig zu demonstrieren.

Es wurden hierzu 60 gesunde Personen im Alter von 15 – 85 Jahren rekrutiert. Die Probanden wurden mit der statischen Posturographie (Kistler®-Plattform) und mit der dynamischen Posturographie (EquiTest®, NeuroCom®) untersucht. Gemessen wurden bei der statischen Posturographie die Spurlänge und der RMS-Wert, beim EquiTest die Equilibrium-Scores und die Composite-Werte. Errechnet wurde der Romberg-Quotient (Augen geschlossen/Augen offen) aus den Spurlängenwerten.

Sowohl mit der statischen, als auch mit der dynamischen Posturographie ließ sich der Einfluss des Alters auf die Gleichgewichtsfunktion im Sinne einer Beeinträchtigung der Gleichgewichtsfunktion und der Körperhaltungsstabilität darstellen, was sich in einer Schwankungszunahme ausdrückte.

Die Spurlängen der Älteren waren dabei deutlich größer als die der Jüngeren. Hochsignifikant war dies beim Romberg-Stehversuch mit geschlossenen Augen und beim verschärften Romberg-Versuch mit offenen und geschlossenen Augen ( $p < 0,05$ ). Die Equilibrium-Scores waren unter allen Gleichgewichtskonditionen bei den Älteren kleiner als bei den Jüngeren. Dabei wurden signifikante Unterschiede zwischen jung und alt unter den Konditionen 1, 2, 3 und 6 des sensorischen Organisationstestes (SOT) des EquiTest sowie in der Auswertung der Composite-Werte gefunden.

Die Spurlängenmessung bei der statischen Posturographie und die Nutzung der Equilibrium-Scores und Composite-Werte bei der dynamischen Posturographie sind daher geeignete Methoden, um altersabhängige Veränderungen der Gleichgewichtsfunktion signifikant zu demonstrieren.

Die Ermittlung des RMS-Wertes ließ keine altersspezifischen Aussagen über das Schwankungsverhalten zu. Die Berechnung des Romberg-Quotienten verdeutlichte eine zunehmende Abhängigkeit vom visuellen Input mit dem Alter. Bei der posturographischen Untersuchung des Einflusses eines Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichtsfunktion konnte mit Hilfe der dynamischen Posturographie unter den Konditionen Cond.5 und Cond.6 des EquiTest® ein signifikanter Unterschied der Equilibrium-Scores der AN-Patienten gegenüber denen der Gesunden nachgewiesen werden.

Ein Drittel der untersuchten AN-Patienten fiel in der sensorischen Analyse des EquiTest® durch pathologische Werte des VEST-Quotienten als Zeugnis einer unspezifischen vestibulären Störung auf.

Mit Hilfe der statischen Posturographie hingegen war kein signifikanter Einfluss des Akustikusneurinoms auf die Gleichgewichtsfunktion nachzuweisen.





## 6. ZITIERTE LITERATUR

- A.F.P. (Association Francaise de Posturologie)  
Standards for building a vertical force platform for clinical stabilometry: an immediate need.  
Agressologie, 25,9 : 1001- 1002 (1984)
- A.F.P. (Association Francaise de Posturologie)  
Normes 85. Éditées par l'Association Francaise de Posturologie,  
4, avenue de Corbéra, 75012 Paris, France (1985)
- A.F.P. (Association Francaise de Posturologie)  
Etudes statistiques des mesures faites sur l'homme normal à l'aide de la plate-forme  
de stabilométrie clinique normalisée I) Paramètres spatiaux.  
Agressologie, 27 : 69-72 (1986)
- ALEXANDER N.B.:  
Postural control in older adults.  
J Amer Geriatrics Soc 42: 93-108 (1994)
- BALOH R.W., SPAI S., SOCOTCH T.M., JACOBSON K.M., BELL T.:  
Posturography and Balance Problems in older People  
JAGS 43: 638-644 (1995)
- BELL CH.:  
The hand. Its mechanism and vital environment.  
pp. 234-235. 4<sup>th</sup> ed., V.Pickering (London) 1837
- BERGHAUS A., RETTINGER G., BÖHME G.:  
Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde  
pp. a) 24-46 b) 203-207. Hippokrates-Verlag (Duale Reihe).1996
- BIZZO G.,GUILLET N.,PATAT A.,GAGEY P.M.:  
Specifications for building a vertical force platform designed for clinical stabilometry.  
Med.Biol.Eng.Comput.,23: 474-476 (1985)
- BORELLI G.:  
De motu animalium. Bernado. Rome. 1680
- BOREL L., HARLAY F., MAGNAN J., CHAYS A., LACOUR M.:  
Deficits and recovery of head and trunk orientation and stabilisation after unilateral vestibular loss,  
Brain (im Druck)
- BOREL L., LACOUR M., MAGNAN J. :  
Troubles de l'équilibre et vertiges  
In : J.Magnan (éd), G. Freyss, C.Conraux. : Analyse du mouvement et troubles de la marche  
pp. 308-317. Société française d'ORL et de Pathologie cervico-faciale. Paris.1997
- BRISSON MATHURIN J. :  
Traité élémentaire ou Principes de Physique, fondés sur les connaissances les plus certaines,  
tant anciennes que modernes, et confirmés par l'expérience.  
4<sup>ième</sup> édition. Bossange. Masson et Besson. Paris. 1803
- BROWN J., O'HARE N.:  
Development of a novel method for assessing balance: the quantitative posturography system  
Physiol Meas. 21(4): 525-34 (2000)
- COHEN H., HEATON L.G., CONGDON S.L., JENKINS H.A.:  
Changes in sensory organization test scores with age  
Age Ageing. 25(1): 39-44 (1996)

- COLLEDGE N.R., CANTLEY P., PEASTON I., BRASH H., LEWIS S., WILSON J.A.:  
Ageing and Balance: The Measurement of Spontaneous Sway by Posturography  
*Gerontology*; 40: 273-278 (1994)
- CURTHOYS I.S., DAI M., HALMAGYI G.M.:  
Human ocular torsional position before and after unilateral vestibular neurectomy  
*Exp Brain Res.* 85, 218-225 (1991)
- CYR D, CEVETTE M.J. :  
Classification of posturography pattern  
Presented at the 20<sup>th</sup> Neurootological and Equilibrimetric Society  
Linköping, Sweden, June 4, (1993)
- DATA INTERPRETATION MANUAL. EquiTest®-System(NeuroCom®). Version 4.0. 1994
- DIARD J.P., VITTE E., SEMONT A., FREYSS G. :  
Equilibre, instabilité et chutes du sujet vieillissant.  
*O.N.O.* ; 19/20 : 83-5 (1993)
- DI FABIO R.P. :  
Meta-analysis of the sensitivity and specificity of platform posturography  
*Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 122(2): 150-6 (1996)
- FORIZETTI P. et al.:  
Use of Computerized Dynamic Posturography in the Assessment of Elderly Fallers  
*Neurorehabilitation & Neural Repair* 14-1 : 83. (2000)
- FRIEDMANN G. :  
The influence of unilateral labyrinthectomy on orientation in space  
*Acta Otolaryngol (Stockholm).* 71. 289-298. (1971)
- GAGEY P.M., BIZZO G., DIMIDJIAN J., MARTINERIE J., OUAKNINE M., ROUGIER P. :  
La danse du centre de pression et sa mesure.  
In : M.Lacour (éd.) : *Posture et Equilibre. Pathologies : Vieillesse, stratégies, modélisation.*  
pp. 167-180. Sauramps médical, Montpellier. 1998  
(sowie Internetveröffentlichung unter <http://perso.club-internet.fr/pmgagey>)
- GAGEY P.M., BIZZO G., DEBRUILLE O., LACROIX D.:  
The one Hertz phenomenon.  
In: IGARASHI M., BLACK F.O. (Eds):  
*Vestibular and visual control on posture and locomotor equilibrium.*;  
pp. 89-92 Karger. Basel. 1985
- GAGEY P.M., BIZZO G., DIMIDJIAN J., MARTINERIE J., OUAKNIEM.& ROUGIER P. :  
La « danse » du CdP et sa mesure.  
In Lacour M.(Ed) *Posture et Equilibre.* Pp. 167-180. Sauramps, Montpellier. 1997
- GERTHOFFERT J. :  
Cartographie du seuil de perception de la pression de la plante des pieds  
*Ann. Kinesth.* 9: 469-474 (1982)
- GITTINGS N.S., FOZARD J.L.:  
Age-related changes in visual acuity  
*Exp Gerontol.* 21: 423-433 (1986)
- HAGEMAN P.A., LEIBOWITZ J.M., BLAKE D.:  
Age and gender effects on postural control measures.  
*Arch Phys Med Rehabil.* 76: 961-5 (1995)
- HAIID C.T.:  
Vestibularprüfung und vestibuläre Erkrankungen.  
pp.a) 3-17 b) 69-73.  
Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York. London. Paris. Tokyo. Hong Kong. 1990

- HENRIKSSON N.G., PYYKKÖ J.  
Im yrsef. Sandoz Fack 18320,Täby 1 (Schweden) (1994)  
In: C.T Haid (Hrsg.): Vestibularisprüfung und vestibuläre Erkrankungen  
pp. 69-73. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York. London. Paris. Tokyo. Hong Kong. 1990
- HERDMAN S.J.:  
Vestibular rehabilitation  
pp. 3-46. F.A. Davis Company. Philadelphia.1994
- HIRABAYASHI S.I., IWASAKI Y.:  
Developmental perspective of sensory organization on postural control  
Brain & Development . 17: 111-3 (1995)
- HORAK F.B. NASHNER L.M., DIENER H.C.:  
Postural strategies associated with somato-sensory and vestibular loss.  
Exp. Brain Res. 82, 167-177 (1990)
- HYTÖNEN M., PYYKKÖ I., AALTO H., STARCK J. :  
Postural control and age  
Acta Otolaryngol (Stockholm).113: 119-122 (1993)
- IMAOKA K., MURASE H., FUKUHARA M.:  
Collecte de données stabilométriques sur des sujets normaux  
Equilibrium Research (La Société Japonaise d'Étude de l'Équilibre) Nr. Sup. 12, (1997)  
ins Französische übersetzt von Yukako Akinaga,  
publiziert von der ADAP (Association pour le développement et l'application de la posturologie,  
Pierre Marie Gagey) im Internet unter <http://perso.club-internet.fr/pmgagey>
- JACKLER R.K.:  
Vestibular Testing in Acoustic Neuroma Diagnosis  
<http://itsa.ucsf.edu/Medical Testing/MedTesting.html>  
from Neurology by RK.Jackler,© Mosby-Year Books Publishers with permission. 2000
- KOKMEN E., BOSSEMENYER R.W. Jr., WILLIAMS W.T.:  
Quantitative evaluation of joint motion sensation in an ageing population  
Gerontol. 33: 62-67 (1978)
- KOLLEGGER H., BAUMGARTNER C., WÖBER C., ODER W., DEECKE L.:  
Spontaneous Body Sway as a Function of Sex, Age, and Vision:Posturographicstudy in 30 Healthy Adults  
Eur Neurol. 32 : 253-259 (1992)
- LACOUR M., BARTHÉLÉMY J., BOREL L. MAGNAN J., XERRI C., CHAYS A., OUAKNINE M. :  
Sensory strategies in human postural control before and after unilateral vestibular neurotomy  
Exp Brain Res. 115 : 300-310 (1997)
- LACOUR M., LOPEZ CH., BOREL L., MAGNAN J. :  
Référenciels spaciaux et contrôle postural- Illustration de processus vicariants idiosyncrasiques en pathologie vestibulaire  
In : B. Weber, Ph. Villeneuve (éds.) : Pied, équilibre et traitements posturaux.  
pp. 37-46. Masson. Paris. 2003
- LALWANI A.K.:  
Vertigo, dysequilibrium and imbalance with aging.  
In: R.K. Jackler, D.E. Brackmann (Eds) : Neurotology. pp. 527-534. St.Louis. Mosby-Year Book, Inc. 1994  
In: N.T. Shepard, S.A. Telian(Eds): Practical Management of the Balance Disorder Patient.  
pp. 17-32. Singular Publishing Group, Inc. San Diego. London. 1996
- LAMOULIE M.:  
Cartographie de la sensibilité discriminatoire de la plante du pied chez l'adulte sain.  
Ann.Kinesth. 7 : 9-24 (1980)

- LEDIN T., KRONHED A.C., MÖLLER M., ÖDKVIST L.M., OLSSON B.:  
Effects of balance training in elderly evaluated by clinical tests and dynamic posturography  
J Vestib Res. 1: 129-38 (1991)
- LORD S.R., CLARK R.D., WEBSTER I.W.:  
Visual acuity and contrast sensitivity in relation to falls in an elderly population  
Age Ageing. 20: 175-181. (1991)
- LYON M.J., WANAMAKER H.H.:  
Blood flow and assessment of capillaries in aging rat posterior canal crista  
Hear Res. 67(1-2): 157-65 (1993)
- MATHESON A.J., DARLINTON C.L., SMITH P.F.:  
Further evidence for age-related deficits in human postural function  
J Vestib Res. 9(4): 261-4 (1999)
- MAGNUS R.:  
Some results of studies in the physiology of posture.  
Lancet. 211: 585-588 (1926)
- NAKAGAWA H.:  
Postural control in the elderly  
Nippon Jibiinkoka Gakkai Kaiho. 95 (7): 1042-52 (1992)
- NASHNER L.M.:  
Sensory feedback in human posture control.  
Thèse de Sciences. M.I.T. Cambridge. 1970
- NASHNER L.M., MC COLLUM G.:  
The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis.  
Behav. Brain Sci. 8: 135-172 (1985)
- NJIOKTIKTJIEN C.J., VAN PARYS J.A.:  
Romberg's sign expressed in a quotient  
Agressologie. 17 SPECNO, 95-99 (1976)
- NORRE M.E., FORREZ G., BECKERS A.:  
Vestibular dysfunction causing instability in aged patients  
Acta Otolaryngol. 104(1-2): 50-5 (1987)
- OVERSTALL P.W., EXTON-SMITH A.N., IMMS F.J., JOHNSON A.L.:  
Falls in the elderly related to postural imbalance  
Br Med J. I: 261-264 (1977)
- PARK J.J., TANG Y., LOPEZ I., ISHIYAMA A.:  
Age-related change in the number of neurons in the human vestibular ganglion  
J Comp Neurol. 19 ; 431(4): 437-443 (2001)
- PERUCH P., BOREL L., GAUNET F., THINUS-BLANC C., MAGNAN J., LACOUR M. :  
Spatial performance of unilateral vestibular defective patients in nonvisual versus navigation tasks  
J Vest Res. 9 : 37-47 (1999)
- PIERA J.P., VASSEL P. :  
Perturbation de la marche dues aux affections podologiques orthopédiques chez les personnes âgées  
Monographie de podologie N°13 : Le pied du vieillard, Herisson et Simon, Masson (1992)
- RANQUET J. :  
Essai d'objectivation de l'équilibre normal et pathologique.  
pp.1-83. Thèse Médecine. Paris. 1953
- ROLL J.P.:  
Les muscles, organes de perception  
Pour la Science. 92-99. (1998)

- SCHERER H.:  
 Untersuchungsmethoden am vestibulären System  
 In: H.H.Naumann (Hrsg.), J. Helms, C.Herberhold, E. Kastelbauer (1994):  
 Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis. Band 1 Ohr: J.Helms (Hrsg.).  
 pp. 368 – 426. Thieme, Stuttgart 1994
- SCHERER H.:  
 Das Gleichgewicht  
 pp. 96-146. 2.Aufl. Springer-Verlag. Berlin. Heidelberg. New York. 1997
- SIMON P., BABIN S.R.:  
 Approche des techniques d'osteosynthese (en salle d'operation)  
 Université Louis Pasteur Strasbourg, (2001)
- SHEPARD N.T. et al.:  
 Postural control in young and elderly adults when stance is challenged:clinical versus laboratory  
 Measurements  
 Ann Otol Rhinol Laryngol. 102; 508-517 (1993)
- SHEPARD N.T., TELIAN S.A.:  
 Practical Management of the Balance Disorder Patient  
 pp. 17-32. Singular Publishing Group, Inc. San Diego. London. 1996
- STELMACH G.E., TEASDALE N., DI FABIO R.P.,PHILLIPS J.:  
 Age-related decline in postural control mechanisms  
 Int J Aging Hum Dev. 29: 205-223 (1989)
- STOLL W., MATZ D.R., MOST E., RUDOLF G.A.E.:  
 Schwindel und Gleichgewichtsstörungen  
 pp.37-55. 3.überarbeitete und erweiterte Auflage. Thieme. Stuttgart. New York. 1992
- TANG Y., LOPEZ I., BALOH R.W.:  
 Age-related change of the neuronal number in the human medial vestibular nucleus :  
 A stereological investigation  
 J Vestib Res. 11(6): 357-63 (2002)
- TOUPET M, GAGEY P.M., HEUSCHEN S. :  
 Vestibular patients and aging subjects lose of visual input and expended more energy in static  
 postural control.  
 In: B. Vellas, M.Toupet, L.Rubinstein, J.L. Albarède & Y. Christian (Eds). "Falls, balance and gait  
 disorders in elderly". pp. 183-198. Elsevier. Paris. 1992
- VIERORDT Karl von.:  
 Grundriss der Physiologie des Menschen.  
 H. Laupp, Tübingen, (1860 / 1862 / 1864 / 1871 / 1877)
- VILLENEUVE-PARPAY S., VILLENEUVE Ph. & WEBER B. :  
 Mise en évidence clinique de la stabilisation posturale en fonction de l'appui plantaire :  
 test d'antépuulsion passive.  
 In : C. Hérisson, J-Y. Cornu, P. Aboukrat, S. Belhassen (Eds) : Pied et Posturologie.  
 pp. 175-183. Sauramps. Montpellier. 2001
- VILLENEUVE PARPAY S., VILLENEUVE Ph. :  
 Troubles de l'équilibration posturale et locomotrice chez la personne âgée, le regard du  
 Podologue  
 Présentation auf den 10ten Tagen der Posturopodologie, 25.-26.01.2003, VICHY (2003)  
 Veranstalter : Association Francaise des Praticiens en Orthopractie (AFPRO) +  
 Association de Posturopodie Internationale (API)
- VILLENEUVE PARPAY S. :  
 Validation d'une épreuve clinique mettant en évidence la stratégie d'équilibration posturale :  
 Le test d'antépuulsion passive  
 pp. 28-38. Mémoire en vue de l'obtention du Diplôme Inter Universitaire de Posturologie Clinique  
 Faculté de médecine Saint Antoine, Université Paris VI, (2000/2001)

- VITTE E., FEYSS G., SEMONT A. :  
L'exploration simultanée des fonctions vestibulaires, proprioceptives et visuelles par l' Equitest  
chez le sujet âgé.  
Revue de gériatrie. 18 : 67-71(1993)
- WEBER B., VILLENEUVE PH. :  
Pied, Equilibre et traitements posturaux  
Masson, Paris, 104-110 (2003)
- WINTER DA., PRINCE F., PATLA A. :  
Validity of the inverted pendulum model of balance in quiet standing.  
Gait and Posture. 5: 153-154 (1997)
- WOLFSON L., WHIPPLE R., DERBY C.A. :  
A dynamic posturography study of balance in healthy elderly  
Neurology. 42: 2069-2075 (1992)
- WOOLLACOTT M.H. :  
Gait and postural control in the aging adult,  
In: W. Bles, Th. Brandt (Eds): Disorders of posture and gait.  
Elsevier, Amsterdam, 325-336 (1986)

## **DANKSAGUNGEN**

Die erfolgreiche Durchführung der vorliegenden Dissertation ist für mich ein großes persönliches Ziel der vergangenen Jahre.

Ich möchte einigen Menschen besonderen Dank aussprechen, da sie mich wesentlich bei der Arbeit unterstützt haben.

Dem Herrn Prof. Dr. Bernd Freigang danke ich besonders herzlich für die Unterstützung bei der Auswahl dieses interessanten Themas, für die Betreuung meiner Arbeit, für hilfreiche Diskussionen und Ratschläge.

Mein Dank gilt ebenfalls dem Herrn Prof. Dr. von Specht für die Inanspruchnahme der Untersuchungsausrüstung sowie von Mitarbeitern der Abteilung für experimentelle Audiologie und medizinische Physik.

Dabei möchte ich einen besonders großen Dank an Dr. Mühler aussprechen, der mir sehr bei der Bearbeitung der Messdaten geholfen und mich in technischen Fragen ausgezeichnet beraten hat.

Auch dem Herrn Dipl.Ing. Ziese danke ich sehr für die Hilfe bei der Lösung technischer Probleme sowie Jaqueline Habisch für ihren Einsatz bei den Untersuchungen der AN-Patienten.

Mein Dank gilt ebenfalls der Frau Peters sowie dem Herrn Glimm, die mich bei den statistischen Berechnungen großartig unterstützt und beraten haben.

Nicht zuletzt möchte ich ein herzliches Dankeschön aussprechen an alle Teilnehmer dieser Studie, Probanden sowie Patienten, die sich mir mit Freude und Engagement zur Verfügung stellten und somit diese Arbeit ermöglicht haben.

## **ERKLÄRUNG**

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

### **Der Einfluss des Alters und des Vestibularisneurinoms auf die Gleichgewichtsfunktion**

#### **- eine Untersuchung mittels statischer und dynamischer Posturographie**

mit Unterstützung durch Prof. Dr. med. Bernd Freigang, Direktor der  
Universitäts-Hals-Nasen-Ohren-Klinik der Medizinischen Fakultät der Otto-von-  
Guericke-Universität Magdeburg

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine  
anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind die Rechte Dritter nicht verletzt worden.

Die vorliegende Dissertation ist bisher an keiner in- und ausländischen  
Hochschule zur Promotion eingereicht worden.  
Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien meiner  
Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Magdeburg, den 30. 08. 2003

Jan Brödemann



# **DARSTELLUNG DES BILDUNGSWEGES**

## **Jan BRÖDEMANN**

Sternstraße 21  
D-39104 Magdeburg  
Tel: 0049 391 6216130(D)  
0041 795 68 37 30(CH)  
Fax:0049 391 613496  
Email:janbroedemann@hotmail.com

Geboren am 23. August 1973 in Magdeburg, Deutschland

## **SCHULAUSBILDUNG**

1992           Abitur, Geschwister-Scholl-Gymnasium, Magdeburg

## **STUDIUM DER MEDIZIN**

1993-1995    Medizinische Fakultät der Otto-von-Guericke- Universität,  
Magdeburg

1995-1997    Faculté de médecine de l'Université Louis Pasteur  
Strasbourg (Frankreich)

1997-2000    Medizinische Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität  
Magdeburg

11.2000       Staatsexamen Humanmedizin

## **BERUF**

02.2001-08.2001    Arzt im Praktikum in der Hals-Nasen-Ohrenklinik  
im Rätischen Kantons - und Regionalspital Chur (Schweiz)

09.2001-10.2001    Praktikum, Service d'Oto- Rhino- Laryngologie  
Clinique des Grangettes, Genf (Schweiz)

11.2001-03.2002    Arzt im Praktikum , Service de Chirurgie  
Hôpital du Jura bernois, Saint-Imier (Schweiz)

04.2002-09.2002    Arzt im Praktikum, Service de Chirurgie  
Hôpital de La Chaux-de-Fonds (Schweiz)

Seit 01.10.2002    Arzt im Praktikum, Service de Chirurgie  
Hôpital du Chablais, Monthey (Schweiz)

## **WEITERBILDUNG**

- 30.11.2002 Teilnahme an der Fortbildung und L.Rüedi Lecture  
im ORL-Zentrum, Klinik Hirslanden, Zürich (Schweiz)  
Leitung: Prof. U. Fisch
- 25.01 – 26.01.2003 Teilnahme an den 10ten Kongresstagen der Posturologie  
„Körperhaltung und manuelle Therapie „Vichy (Frankreich)  
Veranstalter :  
L' Association de Posturopodie Internationale +  
L' Association Francaise des Praticiens en Orthopractie
- 07.03. – 08.03.2003 Teilnahme am Kongress:  
„Le nez – Esthétique et Fonction „ Nizza (Frankreich)  
Leitung : Dr. Y. Saban, Dr. F. Braccini, Dr. R. Polselli

## **FEIZEITINTERESSEN**

- Sport: Skifahren, Segeln, Snowboarden, Schwimmen
- Musik: Gitarrespielen
- Kultur: Reisen
- Sprachen: deutsch, französisch, niederländisch, englisch

Magdeburg, den 30. 08. 2003

Jan Brödemann