



Praktikumsanleitung zum Versuch „Untersuchung der Labyrinthfunktion“

UNIVERSITÄT LEIPZIG
MEDIZINISCHE FAKULTÄT
CARL-LUDWIG-INSTITUT FÜR PHYSIOLOGIE

VERSION 2023

Einführung

Stichwörter: *Struktur und Funktion von Cupula- und Maculaorgan, adäquate Reize, rotatorische und kalorische Reizung des Cupulaorgans, vestibuläre Kerne und ihre Verbindungen, Muskeltonus, vestibuläre Reflexe, vestibulärer und optokinetischer Nystagmus, Posturographie, Romberg-Test*

1 Funktion der Maculaorgane

1.1 Regelung der Kopf- und Körperhaltung bei Wirbeltieren

In einem Demonstrationsfilm werden Haltungs- und Stellreflexe bei verschiedenen Wirbeltieren demonstriert.

Protokoll:

- Definieren Sie:
 - a) **Statische Reflexe** bzw. Reflexe der Lage, Haltere reflexe
 - b) **Statokinetische Reflexe** bzw. Reflexe auf Bewegung

- Über welchen Reflex wird die Kopfstellung des gesunden Säuglings geregelt? Welche Reflexe beeinflussen die Haltung der Extremitäten?

- Beschreiben Sie den **Moro-Reflex** und den **Landau-Reflex**. Wann sind diese frühkindlichen Reflexe pathologisch? Was versteht man unter der **Fechterstellung**?

- Stellen Sie sich vor, Sie würden mit dem Fahrstuhl sehr schnell auf- bzw. abwärtsfahren (**Liftreaktion**). Welche Tonusverschiebung der Extremitäten würden Sie bei sich beobachten?

- Wie verläuft der **Fallumkehr-Reflex (Katze)**?

- Beschreiben Sie den **Labyrinthstellreflex bei der Taube** (Drehung des Körpers in der Frontal- bzw. Saggitalebene) in
 - a) normalem Zustand

 - b) nach einseitiger Labyrinthentfernung

1.2 Auswirkung eines einseitigen Labyrinthausfalls

Protokoll:

- Wie läuft ein Patient mit Labyrinthstörung im Unterschied zu einer gesunden Versuchsperson
 - a) bei offenen Augen?

 - b) bei geschlossenen Augen?

- Was versteht man unter dem Unterberger-Tretversuch?

- Wie verhält sich das Labyrinth-betäubte Meerschweinchen auf den nachfolgenden Unterlagen?
Erklären Sie die Unterschiede!
 - a) feste Unterlage:

 - b) im Wasser:

2 Funktion des Cupulaorgans

2.1 Endolymphströmung und Cupulabewegungen im Modell (Demonstration)

Beschreibung des Modells der horizontalen Bogengänge:

Zwei horizontal auf gleicher Höhe im Raum angeordnete durchsichtige Kunststoffschläuche münden jeweils in eine Plexiglkammer und sollen die beiden horizontalen Bogengänge mit den dazugehörigen Ampullen des linken und rechten Labyrinths eines Menschen in etwa 30facher Vergrößerung darstellen. Die Ampullen enthalten jeweils eine Cupula in Gestalt eines einseitig fixierten Fähnchens, das von der strömenden Flüssigkeit bewegt wird.

Durchführung:

Demonstration des **perrotatorischen Cupulaverhaltens** (Rechtsdrehung) und des **postrotatorischen Cupulaverhaltens** (Stopp).

Beobachten Sie die Richtung der Flüssigkeitsströmung sowie die Cupulaauslenkung (ampullopetal oder -fugal) in den beiden horizontalen Bogengängen:

- während der Beschleunigungsphase,
- während der gleichförmigen Drehung über längere Zeit,
- nach dem Abstoppen.

Protokoll:

- Was versteht man unter ampullopetaler bzw. ampullofugaler Strömung in den horizontalen Bogengängen?

- Geben Sie die Richtung der Endolymphströmung in den beiden horizontalen Bogengängen bei Beginn der Rechtsdrehung (perrotatorisch), bei anhaltender Rechtsdrehung und direkt nach dem Stopp der Drehung (postrotatorisch) an.

- Was verstehen Sie unter dem Konzept der „funktionellen Paare“? (Zeichnung)

- Wie werden die Informationen vom rechten und linken Vestibularorgan verrechnet?

- Beschreiben Sie die Lageverhältnisse aller drei Bogengänge eines Labyrinths zueinander (Angabe der Winkel) und ihre Lage im Raum.

2.2 Videonystagmographie (VNG)

Unter einem Nystagmus versteht man eine periodische Augen-, Kopf- oder Körperbewegung, die aus zwei im zeitlichen Wechsel auftretenden Komponenten besteht: einer langsamen gleitenden Bewegung in eine Richtung und einer schnellen ruckartigen Bewegung (Sakkade) in die Gegenrichtung. Die Bezeichnung erfolgt vereinbarungsgemäß nach der Richtung der schnellen Komponente.

Ein okulärer Nystagmus kann vestibulär, optokinetisch oder kombiniert ausgelöst werden. Mittels einer Infrarotkamera werden die Augenbewegungen direkt aufgezeichnet und als Nystagmogramm ausgegeben. Die Kamera dokumentiert dabei die Bewegungen des linken Auges, daher sind alle Versuche mit geöffneten Augen durchzuführen. Um eine visuelle Kompensation zu vermeiden ist die Kamera in einer Brille verbaut, welche bei Bedarf (Versuchsteile: vestibulärer und kalorischer Nystagmus) vollständig abgedunkelt werden kann.

2.2.1 Vestibulärer Nystagmus

Drehreizung: Die Versuchsperson sitzt aufrecht auf einem Drehstuhl. Nach Anlegen der Kamerabrille (abgedunkelt) und Start der Registrierung wird die Versuchsperson für etwa 10 Umdrehungen gleichförmig rotiert und dabei die Augenbewegung registriert. Nach Abstoppen der Drehung setzt man die Aufnahme bei ruhiger Kopfhaltung für weitere ca. 30 s fort.

Protokoll:

- Übernehmen Sie den registrierten vestibulären Nystagmus in das Protokoll. Kennzeichnen Sie
 - a) die Drehrichtung
 - b) den etwaigen Zeitpunkt des Stopps und
 - c) die perrotatorische und postrotatorische Nystagmusphase mit Angabe der Richtung.

- In welcher Beziehung zur Rotationsrichtung verlaufen langsame und rasche Phase des perrotatorischen und postrotatorischen Nystagmus?

- Welche Bewegungsphase ist die funktionell wirksame?

- Warum klingt der Nystagmus (sowohl per- als auch postrotatorisch) nach einer gewissen Zeit ab?

Kalorische Reizung (Kaltspülung): Die Vp liegt mit ca. 30° nach oben geneigtem Kopf, wodurch der horizontale Bogengang senkrecht steht. In den äußeren Gehörgang des rechten oder linken Ohres werden ca. 20 cm³ Wasser von <24° C mit einer Spritze langsam eingeleitet. Der kalorische Nystagmus tritt mit zeitlicher Verzögerung und z.T. längerer Nachwirkung auf.

Protokoll:

- Übernehmen Sie den registrierten kalorischen Nystagmus in das Protokoll.

- Nach welcher Seite erfolgt der beobachtete Nystagmus? In welcher Beziehung stehen Schlagrichtung des Nystagmus, Ohrseite und Kalt- bzw. Warmspülung?

2.2.2 Optokinetische Reizung (Eisenbahn-Nystagmus)

Sie entsteht bei Relativbewegung zwischen Betrachter und Zielobjekt, wobei der Betrachter nicht beabsichtigt, ein Ziel fortlaufend zu verfolgen und im Blickfeld zu behalten. Der Betrachter fixiert ein Ziel und verfolgt es mit gleitenden Augenbewegungen, bis die Abweichung von der normalen Blicklinie einen bestimmten Betrag überschreitet und springt dann auf ein neues Ziel in der Gegenrichtung.

Durchführung:

- a) Die Versuchsperson blickt mit Fixation einzelner Musterelemente auf ein bewegtes Streifenmuster.
- b) Die Versuchsperson schaut durch das Streifenmuster akkomodationslos in die Ferne. Die Ergebnisse werden in das Protokoll aufgenommen.

Protokoll:

- Nach welcher Seite erfolgt der beobachtete Nystagmus bezogen auf die Bewegungsrichtung des Streifenmusters?

- Kann der optokinetische Nystagmus willkürlich unterdrückt werden, wenn die Versuchsperson in die Ferne schaut ohne Objekte zu fixieren?

2.3 Bárány'scher Zeigerversuch

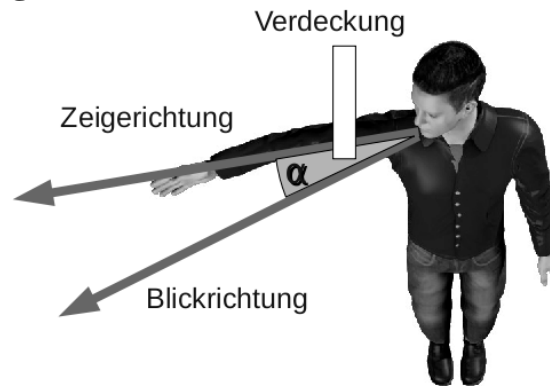


Abbildung 3: Bárány'scher Zeigerversuch

Die Vp wird auf einem Drehhocker 2 Meter vor der Tafel positioniert. Sie fixiert in „Pistolenschützen-Stellung“ eine Zielmarke (z.B. senkrechter Strich an der Tafel) und zeigt mit dem ausgestreckten Arm mittels eines Pointers auf diese Marke. Dabei sollen der (Unter-)Arm und die Hand abgedeckt sein, so dass die Vp diese optisch nicht kontrollieren kann. Anschließend wird die Vp zehnmal schnell und gleichmäßig um die Vertikalachse nach rechts gedreht. Nach dem Abstoppen der Vp in der Ausgangsstellung wird sofort die Zeigebewegung unter Benutzung des Pointers wiederholt (ebenfalls Verdeckung des Arms und der Hand), wobei auf gleiche „Pistolenschützenstellung“ und konzentrierte Fixation der Zielmarke zu achten ist. Die postrotatorischen Missweisung wird ohne Unterbrechung im Sekundentakt an der Tafel dokumentiert (durch Striche mit der Kreide), bis die Ziellinie wieder „getroffen“ wird.

Bei Bewegungssportarten ist der postrotatorische Effekt störend. Durch gezieltes Training wird der Reflex über somatosensorische und optische Eingänge unterdrückt.

Protokoll:

- Die im Sekundentakt aufgezeichneten Missweisungen werden ausgemessen: jeweils Abstand zwischen Zielmarke und Markierung 1, zwischen Zielmarke und Markierung 2 usw. ...
- Die diesen Abständen zugehörigen Winkel entnehmen Sie den ausliegenden Tabellen (jeweils bezogen auf einen Abstand von 2 m bzw. von 1 m zur Tafel).
- Zeichnen Sie in ein Diagramm für die Zeitabhängigkeit des Winkels (x-Achse: Zeit in Sekunden; y-Achse: Winkel α in $^\circ$) und verbinden die Datenpunkte durch Geraden. Der Verlauf entspricht etwa der Funktion $\alpha(t) = \alpha_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$.
- Bestimmen Sie die Zeitkonstante τ näherungsweise: Lesen Sie hierfür die Zeit ab, bei der etwa 37 % des maximalen Winkels α (erster Wert) erreicht werden. Nutzen Sie hierfür den gewonnenen Graphen und konstruieren gegebenenfalls Hilfslinien.
- Warum zeigt der Proband nach Rotationsstopp in Drehrichtung an der Marke vorbei?
- Wie wäre die Fähigkeit zur „Zielhaltung“ ohne Labyrintheeinfluss?

2.4 Frenzelbrille

Eine Frenzelbrille ist eine Kapselbrille mit starken Sammellinsen (+18 dpt) und zuschaltbarer Innenbeleuchtung. Visuelle Fixation wird damit ausgeschaltet, während der Beobachter durch die starke Lupenwirkung der Sammellinsen Augenbewegungen deutlich erkennen kann.

Mit einer Frenzelbrille lassen sich bei betroffenen Patienten Spontannystagmen nachweisen. Als Spontannystagmus bezeichnet man alle unkontrollierbaren, rhythmisch verlaufenden Bewegungen des Auges, die schon in Ruhestellung, d.h. ohne äußere Reize des visuellen und vestibulären Systems auftreten. Diese Spontanystagmen kommen vor allem bei Störungen des Vestibularorgans selbst oder bei einer zentral-vestibulären Schädigung vor.

Im folgenden Versuch wird bei einem gesunden Probanden durch Drehreizung ein Nystagmus ausgelöst. Sie beobachten also nun keinen Spontannystagmus, sondern einen Provokationsnystagmus! Die Versuchsperson sitzt auf einem Drehhocker und wird mit vorgehaltener Frenzelbrille bei geschlossenen Augen 10 Umdrehungen gleichförmig gedreht und die Bewegung **abrupt** gestoppt. Die Versuchsperson wird aufgefordert, die Augen zu öffnen. Der durch Rechtsdrehung ausgelöste Nystagmus wird bis zum Verschwinden aufgezeichnet.

Protokoll:

Protokollieren Sie für 60 Sekunden den Nystagmus. Dazu schreiben Sie auf ein Blatt Papier die Zahlen von 1-60 (**vor der Versuchsdurchführung**), drehen die Vp und ein Beobachter kommentiert mit „jetzt“ jeden Wechsel von Saccade (schnelle Rückstellbewegung) und langsamer Augenbewegung. Ein zweiter Beobachter zählt im Kopf die Sekunden und markiert bei jedem „jetzt“ die entsprechende Sekunde auf dem Papier.

Tragen Sie die Richtung (Pfeil), Intensität und Frequenz in das Nystagmus-Schema nach Frenzel (Abb. 4) ein. Dabei verwerten Sie die Informationen des ersten 30 Sekunden-Intervalls. Die Beurteilung der Intensität beruht auf Erfahrungswerten und soll von Ihnen grob abgeschätzt werden. Für die Frequenz gilt: 24 -65 Schläge/30 sec sind Normwerte und würden einer mittleren Frequenz entsprechen (<1 Schlag/sec = wenig; 1-2 Schläge/sec = mittel, 3-5 Schläge/sec = sehr frequent).

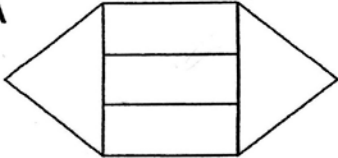
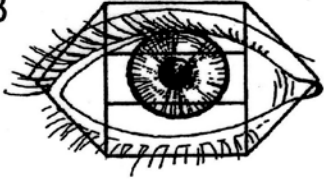

<p>A</p> 	<p>B</p> 																		
<p>C</p> 	<p>D</p> <table border="1"> <tr> <td colspan="3">Ausschlag des Nystagmus:</td> </tr> <tr> <td>→ fein</td> <td>→ mittel</td> <td>→ grobschlägig</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Frequenz des Nystagmus:</td> </tr> <tr> <td>→ wenig</td> <td>→ mittel</td> <td>→ sehr frequent</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Begleitschwindel</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/> ohne</td> <td colspan="2"><input type="checkbox"/> mit</td> </tr> </table>	Ausschlag des Nystagmus:			→ fein	→ mittel	→ grobschlägig	Frequenz des Nystagmus:			→ wenig	→ mittel	→ sehr frequent	Begleitschwindel			<input type="checkbox"/> ohne	<input type="checkbox"/> mit	
Ausschlag des Nystagmus:																			
→ fein	→ mittel	→ grobschlägig																	
Frequenz des Nystagmus:																			
→ wenig	→ mittel	→ sehr frequent																	
Begleitschwindel																			
<input type="checkbox"/> ohne	<input type="checkbox"/> mit																		

Abbildung 4: Nystagmus-Schema nach Frenzel (Becker, Naumann & Pfaltz, 1983).

A: Formular zur Eintragung des Befundes. B: Formular, projiziert auf das rechte Auge. C: Bedeutung bezogen auf die Blickrichtung. D: Symbole zur Eintragung des Befundes in das Formular

- Wie lange dauert der Vorgang (Gesamtdauer bis zum Verschwinden des postrotatorischen Nystagmus)?
- In welche Richtung erfolgt die schnelle Augenbewegung in Abhängigkeit von der Drehrichtung?

3 Posturographie

Die Posturographie (Gleichgewichtsanalyse) ist ein Verfahren zur Ermittlung der Funktionsfähigkeit der Gleichgewichtsregulation unter Belastung der unteren Extremitäten. In der senkrechten Position befindet sich der Körper im labilen Gleichgewicht. Solange die Projektion des Schwerpunktes in Richtung Schwerkraft sich innerhalb der Unterstützungsfläche (Fußfläche) befindet, ist die Erhaltung der Körperlage möglich.

Die Regulation der senkrechten Körperhaltung ist ein komplizierter sensomotorischer Prozess, an dem neben dem Vestibularorgan eine Vielzahl propriozeptiver, optischer und akustischer Einflüsse mitwirken. Im Zuge der Ontogenese erfährt dieses System eine Entwicklung in Richtung Optimierung und Verfeinerung.

Jede Schwerpunktsverlagerung muss durch motorische Aktionen kompensiert werden. Zwischen Zielmotorik (Willkürmotorik) und Haltungsmotorik (Stützmotorik) bestehen enge Wechselwirkungen, da motorische Aktionen die intakte Haltungskontrolle voraussetzen. Bei einer aktiven Bewegung kommt es durch Schwerpunktsverlagerungen zu einer Destabilisierung des Schwerpunktes, die durch Tonusveränderung in Bein- und Rumpfmuskulatur gleichzeitig und teilweise vor Bewegungsbeginn kompensiert wird. Eine zentrale Rolle in der Koordination der Haltung spielt der Hirnstamm.

Bei einer sprunghaften Verschiebung der Standunterlage deutet die lange Latenz von 100 ms auf eine komplexe Aktivierung hin. Die Reaktion zur Wiedergewinnung des Gleichgewichts läuft von distal nach proximal ab und beginnt mit der Stabilisierung des Sprunggelenks, des Kniegelenks und des Hüftgelenks (10-20 ms später) und danach der Rumpfmuskulatur. Lagebedingte Reaktionen sind programmiert und stellen eine Abfolge von Teilprogrammen dar, die zentral koordiniert werden.

Eine gute Regulation der Körperhaltung ist für verschiedene Berufe (Dachdecker, Bauarbeiter, Schornsteinfeger usw.) unerlässlich und muss im Rahmen gesetzlicher Vorschriften als sog. Höhentauglichkeit nachgewiesen werden. Praktisch wird diese mit einer sehr einfachen qualitativen Methode nach Romberg (s.u.) geprüft. Der vorliegende Versuch stellt eine Weiterentwicklung und Verfeinerung der Methode dar, mit der das Regulationsverhalten quantitativ mittels Posturographie erfasst werden kann. Weiterhin können auch Gleichgewichtsstörungen an Patienten mit dieser Methode gemessen werden.

3.1 Vorversuch: Messprinzip der Posturographie

Eine rechteckige Platte (umgebaute Körperwaage) ist an den vier Eckpunkten gelagert. Die Lager enthalten Drucksensoren, die die Verlagerung des Schwerpunktes aus dem Mittelpunkt messen (Abb. 5). Fortlaufend in der Zeit werden die Abweichungen vom Koordinatenursprung als Fehlerquadrat und als Absolutabweichungen mit einer Maßzahl angegeben. Abweichungen nach hinten und links werden mit negativem Vorzeichen belegt. Über den Messzeitraum werden alle Messwerte (vorn – hinten, links – rechts) addiert. Die x-y-Abweichungen werden als sog. Stabilogramm (Abb. 6) und als Zeitverläufe $x(t)$ bzw. $y(t)$ ausgegeben.

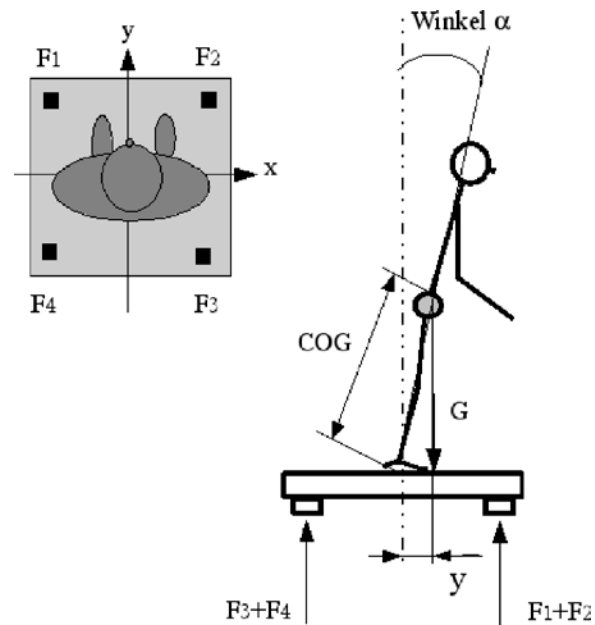


Abbildung 5: Messprinzip Posturographie:

G: Gewichtskraft; F1 ... F4: Kräfte der Messfühler; COG: *Center of gravity*, Schwerpunkt; α : Regelauslenkung als Winkel; y: Regelauslenkung als Abstand von der Ruhelage

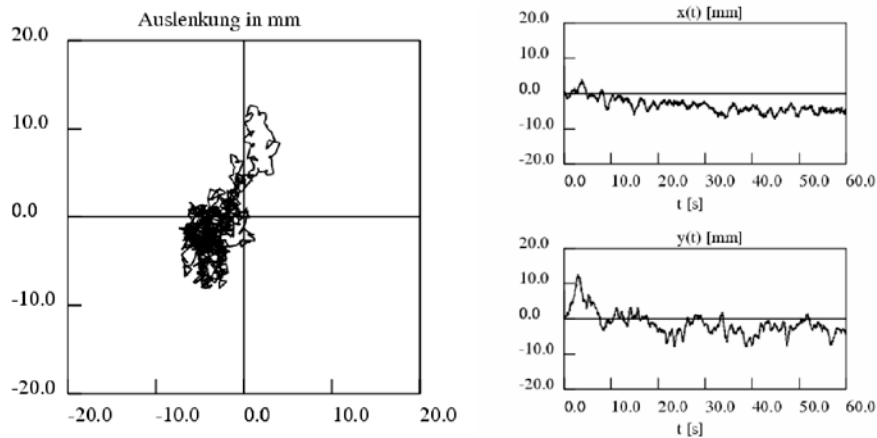


Abbildung 6: Typisches Stabilogramm

3.2 Romberg – Test

Der Proband betritt ohne Schuhe die „Waage“, so dass er mit beiden Füßen gerade ohne Knöchelberührung mit dem Fußgewölbe auf der Mittellinie der Platte steht.

Die Arme werden nach vorne ausgestreckt und mit den Handflächen nach oben gehalten. Ein Zielpunkt in der Ferne wird in Augenhöhe fixiert. Bitte möglichst ruhig halten.

Nach dem Start erfolgt automatisch ein Geräteabgleich (Nullpunkt) und die Messung über 45 Sekunden. In den Messpausen zwischen den Versuchsteilen entspannt sich die Versuchsperson (Arme ausschütteln) ohne Veränderung der Fußstellung.

Wiederholung des Versuches **mit geschlossenen Augen**.

Proband unbedingt beobachten, um Stürze zu vermeiden!

Protokoll:

- Dokumentieren Sie die mittlere Abweichung vom Nullpunkt und die dominierende Frequenz mit der der Proband „schwingt“.
 - a) Augen auf:

 - b) Augen zu:

- Vergleichen Sie mittlere Abweichung und Frequenz bei offenen und geschlossenen Augen! Diskutieren Sie die Ergebnisse!

3.3 Tracking: Störung des Regelkreises durch verlängerte Totzeit

Die Haltungskontrolle geschieht automatisiert und unbewusst, kann aber auch bewusst beeinflusst werden, wenn beispielsweise die augenblickliche Abweichung des Körperschwerpunktes von der Normlage dem Probanden auf einem Monitor optisch rückgekoppelt wird.

Durchführung:

Aufgabe der Versuchsperson (gelbes Quadrat) ist es, durch die eigene Gewichtsverlagerung einem Punkt (rotes Quadrat), der sich auf dem Monitor bewegt, möglichst gut zu folgen. Dabei bleiben die Füße unverändert auf der „Waage“ stehen und auch die Arme kommen nicht zum Einsatz. Gemessen wird die Regelabweichung (Abstand der Quadrate).

Der Versuch wird mit einer größeren Totzeit (Zeitverzögerung) wiederholt.

Protokoll:

- Notieren Sie die mittlere Abweichung ohne und mit verlängerter Totzeit. Diskutieren Sie die Ergebnisse!

3.4 Winkel: Stabilitätsbereich

Ein geregeltes System kann nur Störungen mit einer begrenzten Amplitude verarbeiten. Größere Störungen führen zur Instabilität. Der Proband soll sich jetzt maximal nach vorn und hinten beugen, ohne von der Waage zu fallen!

Proband notfalls auffangen!

Protokoll:

- Dokumentieren Sie während des Versuches jeweils den maximalen Winkel für das Vorbeugen und für das nach hinten Beugen.

- In welche Richtung ist eine größere Auslenkung möglich? Nennen Sie Gründe dafür!

3.5 Einschwingvorgang

Der Einschwingvorgang gibt im naturwissenschaftlichen und technischen Bereich das zeitliche Verhalten eines Systems nach dem Einsetzen einer äußeren Anregung wieder.

Versuchsdurchführung:

Das rote Quadrat stellt den Vorgabewert dar. Die gelbe Marke kann vom Probanden durch Gewichtsverlagerung bewegt werden. Der Proband soll nun möglichst die Marken (Quadrate) übereinander bringen, damit die Regelabweichung (Abstand zwischen den Marken) minimiert wird. Der Computer ändert dann plötzlich sprunghaft die Vorgabe (rote Marke) und die Versuchsperson versucht so schnell wie möglich wieder beide Marken übereinander zu bringen. Beobachten Sie den Einschwingvorgang.

Protokoll:

- Dokumentieren Sie die Zeitintervalle Δt_1 und Δt_2 des Einschwingvorganges.

- Was bedeuten Δt_1 und Δt_2 ?

Keine Aufgabe vergessen?

1. Funktion der Maculaorgane: (Filmdemonstration)
Regelung der Kopf- und Körperhaltung bei Wirbeltieren, und beim Menschen
2. Funktion der Cupulaorgane
2.1. Endolymphströmung und Cupulabewegungen (Modelldemonstration)
 - perrotatorisches & postrotatorisches Cupulaverhalten
- 2.2. Videonystagmographie (Drehstuhlversuch)
 - Drehreizung (per- und postrotatorischer Nystagmus)
 - Kalorischer Nystagmus
 - Optokinetischer Nystagmus
- 2.3. Bárány'scher Zeigeversuch
- 2.4. Frenzelbrille
3. Posturographie
 - Romberg-Test (Registrierung der Haltungsschwankungen)
 - Tracking: Störung des Regelkreises durch verlängerte Totzeit
 - Winkel: Stabilitätsbereiches der Körperhaltung
 - Einschwingvorgang