

Aus der Klinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Vorstand: Prof. Dr. med. G. Stucki

ALTERS- UND GESCHLECHTSSPEZIFISCHE NORMWERTE
VON
RÜCKENFORM UND -BEWEGLICHKEIT
GEMESSEN MIT DER „RÜCKENMAUS“

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

vorgelegt von
Stephanie Steinbeis

aus
München

1999

2. METHODEN

2.1. Meßverfahren: Die sagittale Rückenmaus

Mit der Rückenmaus können Winkel- und Längenmaße der Rückenform in der Sagittalebene in verschiedenen Haltungen erfaßt werden (Seichert 94). Sie ist ein handliches Gerät von ca. 11 x 9 x 4 cm Größe (vgl. Abb. 1). Über ein Kabel wird sie mit einer der seriellen Schnittstellen eines Standard-PCs verbunden. Die Rückenmaus funktioniert als mechanoelektrisches Meßsystem. In dem manuell geführten Gehäuse befinden sich je die Vorrichtung für eine Wegstrecken- und für eine Winkelmessung. Zur Wegstreckenmessung dient ein Laufrad mit äquidistanten radialen Schlitzen, das direkt auf der Haut abrollt, die abgefahrene Wegstrecke wird dabei mittels einer Lichtschranke in eine bestimmte Anzahl digitaler Impulse umgesetzt. Für die Winkelmessung befindet sich im Gehäuse ein „Pendelpotentiometer“, d.h. ein lineares Potentiometer hoher Auflösung, an dessen Achse ein Gewicht im Sinne eines Pendels im Schwerfeld nach unten hängt. Damit wird die Abweichung von der Vertikalen oder die Inklination lokal an jedem Meßpunkt zuverlässig in ein dem Winkel proportionales Widerstands- bzw. Spannungssignal umgesetzt. Alle Impulse und Signale werden digitalisiert und im PC verrechnet. Die Ortsauflösung beträgt 2,5mm und die Winkelauflösung ist $\pm 1^\circ$,

d.h. ab 1° Neigung wird eine Winkeländerung registriert.

In dieser Arbeit wurde noch ein Prototyp (Eigenkonstruktion) verwendet. Inzwischen ist das Verfahren in verbesserter Ausführung (weiter vereinfachte Handhabung, höhere Meßgenauigkeit, geringere Fehlerempfindlichkeit und Verbindung zum PC über Funk, d.h. kabellos) kommerzialisiert und wird seit 4/99 unter der Bezeichnung MediMouse vertrieben.

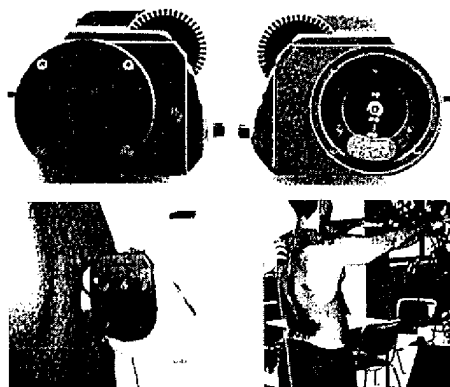


Abb. 1: Die Rückenmaus

Zur Messung hält man die Rückenmaus frei in der Hand und läßt sie mit leichtem Anpressdruck direkt auf der Haut des Patienten, neben den Dornfortsätzen (am besten paravertebral), von oben nach unten abrollen. Eine Gleitkufe hinter dem Rad hilft, die Rückenmaus parallel zur gemessenen Oberfläche zu führen.

Die HWS wird aus mehreren Gründen, die zu Ungenauigkeiten führen würden, nicht mit gemessen. Zum einen ist sie von einem dicken Weichteilmantel umschlossen, der die Zugänglichkeit und die Orientierung an den Dornfortsätzen mit einem Meßinstrument erschwert und die Messung erheblich stören würde. Zum andern besitzt die HWS eine sehr große Beweglichkeit und in der Bewegung verschiebt sich die knöcherne HWS in den Weichteilen. Die Messung von außen würde folglich eine nicht vorhandene Genauigkeit vortäuschen.

Alle in dieser Arbeit aufgeführten Messungen beginnen deshalb bei HWK 7 (Vertebra prominens) und enden in der Höhe der Rima ani, das entspricht ungefähr der Höhe des dritten sakralen Wirbelkörpers.

Vor der Messung werden bei den Probanden/-innen im aufrechten Stand Hautmarkierungen an diese Punkte gesetzt, um zu gewährleisten, daß bei verschiedenen Messungen der identische Abschnitt des Rückens vermessen wird. Jede Messung wird dreimal wiederholt, das Computerprogramm mittelt daraus das Meßergebnis, was die Genauigkeit der Einzelmessung erhöht.

Das Ergebnis jeder Messung ist eine computererrechnete graphische Darstellung der Rückenkontur in der sagittalen Ebene (vgl. Abb. 2). In dieser Darstellung werden bei den Haltungen „aufrecht“ und „Extension“ die Krümmungen des Rückens um den Faktor 1,5 (d.h. um 50%) überzeichnet, damit auch „flache Rücken“ gut unterscheidbar sind.

Auf die Kurve werden vom Computer automatisch Kästchen berechnet und eingezeichnet, die der Position der Wirbelkörper entsprechen. Es sind insgesamt 19: Zwölf für die Thorakalwirbel, fünf für die Lendenwirbel und zwei am Sakrum. Diese Kästchen entsprechen der Höhenlokalisierung der Wirbelkörper, winkelgetreu auf die Hautoberfläche projiziert. Die berechnete Position ergibt sich aus der tatsächlichen Rückenlänge und aus Normwerten des relativen Wirbelkörperabstandes. Ein Iterationsalgorithmus berücksichtigt die scheinbare Verschiebung der Wirbelkörper auf der Haut (bedingt durch das Kippen der Segmente) und berechnet die korrekte Höhenposition der Wirbelkörper in Abhängigkeit des lokalen Krümmungswinkels.

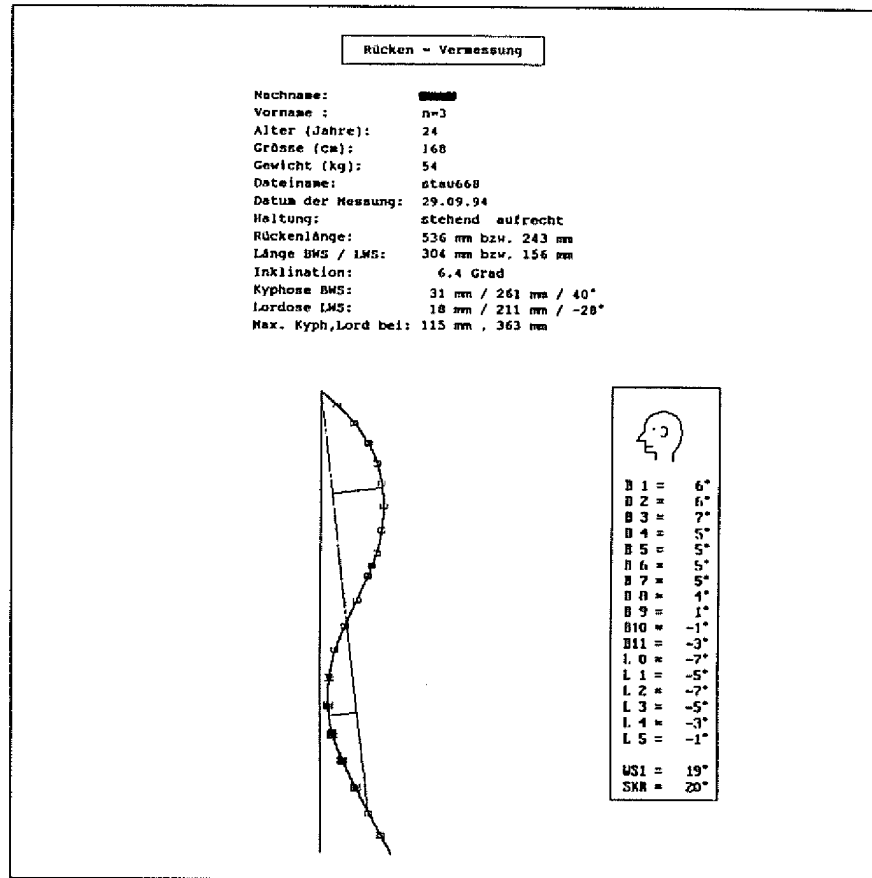


Abb. 2: Originalausdruck einer Rückenmausmessung (stehend aufrecht)
 (Die Krümmungen sind zur besseren Anschaulichkeit 1,5fach überzeichnet)

Zur Orientierung können mit Hilfe einer weiteren Taste maximal 20 anatomische Punkte auf der zu erstellenden Kurve markiert werden, die in der Graphik als schwarze Kästchen erscheinen. Dadurch lassen sich Übereinstimmung bzw. Abweichung mit der realen Anatomie feststellen oder auch klinisch relevante Befunde und Positionen (z.B. segmentale Versteifung, Instabilität etc.) in die Darstellung übertragen. Um die Übereinstimmung mit klinischen anatomischen Markierungspunkten zu überprüfen, wurden bei allen Messungen in dieser Arbeit 2 anatomische Punkte markiert. An der BWS wurde der Schnittpunkt zwischen Dornfortsatzreihe und der horizontalen Verbindungslinie der Schulterblätterunterränder, der ungefähr dem 7. Brustwirbel entspricht (Lippert 90),

und die Höhe des Dornfortsatzes des 4. Lendenwirbelkörpers markiert, der ungefähr auf der Verbindungslinie der höchsten Punkte beider Beckenschaukeln liegt (Lippert 90).

Neben der graphischen Darstellung erhält man bei jeder Messung verschiedene Winkel- und Längenparameter (vgl. Abb. 2):

1. Folgende Parameter wurden in dieser Arbeit berücksichtigt:

- Die einzelnen segmentalen Winkel, die den tangentialen Winkeln zwischen den Zentren der einzelnen Wirbelkörperkästchen entsprechen; positive Winkel stehen für Kyphosierung, negative für Lordosierung. Die mit der Rückenmaus gemessenen segmentalen Winkel entsprechen damit der üblichen Definition der Relativkipfung der beiden Wirbelkörper eines Bewegungssegments zueinander.
- Die Gesamtwinkel für die Krümmung von BWS und LWS, berechnet als Summe der einzelnen segmentalen Winkel. Die Brustwirbelsäule (BWS) wurde definiert von Segment Th1/2 bis Th11/12. Das Segment Th12/L1, auch als L0/L1 bezeichnet, gehört funktionell schon zur Lendenwirbelsäule, die von L0/L1 bis L5/S1 reicht.
- Der Sakrumwinkel als Maß für die sagittale Beckenneigung, berechnet als Mittelwert der Winkel zwischen den Tangenten über dem Sakrum und der Verbindungslinie C7 - S1.
- Die Inklination als Winkel zwischen dem Lot und der relativen Rückenlänge.
- Die Position der zusätzlichen optionalen Markierungen, als schwarze Kästchen in der Abbildung (auch als mm-Wert als Position auf der gesamten gemessenen Rückenlänge von kranial aus angegeben, in dieser Arbeit nicht verwendet).

2. Zusätzlich erhält man noch weitere Parameter, die für andere Fragestellungen relevant sind, in dieser Arbeit aber nicht berücksichtigt wurden:

- die Länge des gesamten abgefahrenen Rückens und die Länge von BWS und LWS (in mm).
- Die Länge der direkten Verbindungslinie von HWK 7 und S1 als relative Rückenlänge (das Verhältnis von Rückenlänge und relativer Rückenlänge kann als Maß für die Krümmung des Rückens verwendet werden).
- Die Orte der maximalen Kyphosierung und der maximalen Lordosierung.

- Die Tiefe der Kyphose bzw. der Lordose als Lot am Punkt der maximalen Krümmung auf die relative Rückenlänge.

Gegenüber ähnlichen Meßverfahren weist die Rückenmaus eine Reihe von Vorteilen auf: Sie ist leicht zu handhaben und kann auch von unerfahrenen Untersuchern schnell beherrscht werden. Die einzelne Untersuchung dauert sehr kurz (ca. 1min) und kann ohne großen Aufwand beliebig oft wiederholt werden. Für den Patienten wie für den Untersucher ist die Messung mit sehr wenig Belastung verbunden und ist für beide ohne die Gefahr einer Schädigung (im Gegensatz zu Röntgenuntersuchungen). Man erhält das Ergebnis sofort als Computerausdruck und kann es schnell und problemlos mit anderen Messungen vergleichen. Die hohe Meßgenauigkeit (s.u.) läßt Aussagen über eine einzelne Messung an einem Probanden/Patienten zu.

Durch Messungen in verschiedenen Haltungen kann man Informationen über Änderungen der Rückenform gewinnen und die Beweglichkeit der Wirbelsäule bzw. einzelner Segmente oder Rückenabschnitte errechnen.

In vorhergehenden Untersuchungen (Seichert 95a) zeigte sich eine gute Reliabilität: sowohl im intra- als auch im inter-rater-Vergleich waren die Messungen sehr gut reproduzierbar. Zusätzlich fand sich eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse bei Messungen von Form und Beweglichkeit der LWS mit Röntgenfunktionsaufnahmen (Schulz 99).

2.2. Probanden/-innen

Zur Bestimmung der Normwerte wurden nach Anamnese und Untersuchung 163 rückengesunde freiwillige Probanden/-innen ausgewählt und in sechs Gruppen eingeteilt, Frauen und Männer jeweils in den Altersgruppen 18-35 Jahre, 36-55 Jahre und 56-83 Jahre, mit je 23-31 Personen (vgl. Tab. 1).

Tab.1: Anzahl und Alter der Probanden/-innen

Altersgruppen	Männer			Frauen		
	18-35	36-55	56-78	18-35	36-55	56-83
Anzahl	30	23	28	31	27	23
Durchschnitts- alter (Jahre)	26	46	64	26	46	67

Der Begriff „rückengesund“ wurde anhand der folgenden Ausschlußkriterien definiert:

- Keine angeborenen Fehlbildungen der Wirbelsäule / des Beckens / der Hüftgelenke.
- Keine infektiösen oder entzündlichen und entzündlich-rheumatischen Erkrankungen des Bewegungsapparats.
- Keine degenerative Erkrankung des Bewegungsapparats außerhalb der Altersnorm (in der Gruppe der Älteren war eine asymptomatische Osteoporose kein Ausschlußkriterium).
- Keine Traumata, keine Operationen an der Wirbelsäule.
- Keine neurologischen Erkrankungen.
- Keine Tumoren oder tumorähnliche Läsionen im Bereich des Bewegungsapparats.
- Keine dauerhaften Beschwerden.
- Das Kriterium, bisher niemals Rückenschmerzen gehabt zu haben, würde 80% der Bevölkerung ausschliessen (Nachemson 76, Hultman 92), es wurden also sehr gelegentliche Rückenschmerzen, insbesondere im Zusammenhang mit speziellen Ereignissen zugelassen, wenn folgende Bedingungen trotzdem erfüllt blieben:
 - ⇒ bei jüngeren Leuten (18 bis 40): Schmerzfreiheit in den letzten 2 Monaten, auch ansonsten nur sehr gelegentliche Beschwerden, nicht aber regelmäßige Schmerzen

⇒ bei älteren Leuten (älter als 40): nicht häufiger als einmal im Monat Beschwerden

Ansonsten wurden die Probanden/-innen völlig nach dem Zufallsprinzip ausgesucht, auch Sportlichkeit bzw. Trainingszustand wurden nicht berücksichtigt.

Die Messungen erfolgten innerhalb eines Zeitraums von 16 Monaten.

2.3. Ablauf einer Untersuchung

Jeder Proband wurde nach der Krankheits- und speziell der Rückenanamnese zunächst körperlich untersucht. Zusammen mit der Anamnese wurden bei der Untersuchung einerseits die Ausschlußkriterien überprüft, andererseits das Maß nach Schober, eine gängige klinische Meßmethode zur Bestimmung der sagittalen Mobilität(s.u.), zum Vergleich mit Meßdaten der Rückenmaus bestimmt.

Bei jedem Probanden wurde auf einen eventuellen Schulter- oder Beckenschiefstand, auf eine von außen sichtbare Skoliose und auf Klopfschmerzhaftigkeit im Bereich der gesamten Wirbelsäule geachtet. Im aufrechten Stehen bzw. in der Flexion im Stehen wurde das Maß nach Schober bestimmt. Dazu wurden im aufrechten Stehen bei S1 und mit Hilfe eines Maßbands 10 cm weiter kranial je eine Hautmarkierung gesetzt. Die eigentlichen Werte erhält man als Differenz aus der verlängerten Strecke in der Flexion und den ursprünglichen 10 cm (Frisch 87).

Darauf folgte die Messung mit der Rückenmaus. Auf der Haut wurden vier Meßpunkte markiert: der siebte Halswirbelkörper als Startpunkt, der Beginn der Rima ani als Endpunkt (ungefähr Höhe S3) und zur Kontrolle und Orientierung zwei weitere Streckenpunkte, annäherungsweise die Höhe des 7. Brustwirbels und des 4. Lendenwirbels, die mit der Markierungstaste während der Rückenmausmessung erfaßt wurden (vgl. 2.1).

Nacheinander wurden insgesamt 7 verschiedene Haltungen gemessen, zuerst im Stehen, dann im Sitzen, nach folgenden Haltungsaufträgen:

- 1) Stehend aufrecht: „bitte aufrecht stehen, geradeausblicken“
- 2) Stehend, Flexion: „locker, aber soweit es geht nach vorne beugen; Knie gestreckt lassen; Kopf hängen lassen“

- 3) Stehend, Extension: „soweit wie möglich nach hinten beugen, Kopf nicht mitbeugen“ (Anmerkung: die Messung läßt sich mit zurückgebeugtem Kopf nicht durchführen, weil dann kein Platz zum Aufsetzen der Rückenmaus bleibt)
- 4) Matthiasstest: „aufrecht stehen, dabei 30 Sekunden die Arme waagrecht nach vorne strecken“ (die Messung erfolgte nach 30s, die Arme sind dabei weiterhin vorgestreckt)
- 5) Sitzend aufrecht: „aufrecht sitzen“ (die Probanden saßen auf einem 46cm hohen Hocker mit gerader ungepolsterter Sitzfläche)
- 6) Sitzend, Flexion: „im Sitzen soweit wie möglich nach vorne beugen, den Kopf nach vorne hängen lassen, die Arme seitlich hängen lassen“
- 7) Sitzend, Extension: „nach hinten beugen, Füße bleiben am Boden, den Kopf nicht mitbeugen, die Hände nicht abstützen“

2.4. Auswertung bzw. Statistische Methoden

Auf die oben beschriebene Weise erhielt man von jedem Probanden sieben Einzelmessungen entsprechend der sieben Haltungen. Die Einzelmessungen wurden durch sorgfältige Begutachtung der Kurve auf Unregelmäßigkeiten und Vergleich der Rückenlängen der verschiedenen Messungen bei den einzelnen Probanden/-innen auf Meßfehler untersucht. Einige wenige Messungen mußten daraufhin aussortiert werden. In manchen Fällen war die Rückenlänge einer Messung im Vergleich zu den übrigen zu kurz. In diesen Fällen hatte das Messrädchen an einem Teil der Strecke keinen Hautkontakt. In anderen Fällen sah man in der Graphik Sprünge in der Rückenform im Sinne einer abrupten Winkeländerung. Dies kann zum einen durch Hautfalten entstehen, zum andern beim versehentlichen Abheben der Meßkufe, das dann einen falschen Winkel anzeigt. Beim Wiederaufsetzen der Kufe kommt es dann zu einer abrupten Winkeländerung.

Aus den Einzelmessungen wurden innerhalb der Gruppen die Mittelwerte m und die dazugehörige Standardabweichung s berechnet. Die einzelnen Gruppen wurden als zufällige repräsentative Stichproben der Grundgesamtheit „rückengesunde Personen“ des jeweiligen Alters und Geschlechts mit den Mittelwerten μ und der Standardabweichung σ angesehen.

Bei den gewonnenen Meßdaten handelt es sich um sogenannte multifaktorielle Zufallsvariablen (vergleichbar mit Meßgrößen wie Körperlänge oder Intelligenz), d.h. ihr Wert ist von verschiedensten Größen abhängig (z.B. ist der Kyphosewinkel u.a. von Alter, Größe, Gewicht, Körperbau, Tageszeit, Trainingszustand abhängig). Bei multifaktoriellen Zufallsvariablen kann man von einer Normalverteilung ausgehen.

Die Normalverteilung ist eine stetige Dichtefunktion für alle Werte einer Zufallsvariablen x von $-\infty$ bis $+\infty$ in Form einer Glockenkurve. Die Fläche unter der Kurve ist symmetrisch um den Mittelwert μ und wird durch die Parameter μ und σ bestimmt. μ bestimmt die Horizontalverschiebung im Koordinatensystem, die Standardabweichung σ die Breite der Glockenkurve. Die Fläche unter der Funktion bis zum Wert x ist identisch mit der Wahrscheinlichkeit, daß der Wert x nicht überschritten wird. Die Fläche zwischen $\mu-\sigma$ und $\mu+\sigma$ schließt 68% der Werte der Zufallsvariablen ein; 95% der Werte liegen zwischen $\mu-2\sigma$ und $\mu+2\sigma$.

Die Standardabweichung ist ein Maß für die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert. Bei der Normalverteilung stellt sie sich graphisch durch die Breite der Glockenkurve dar. Sie errechnet sich aus der mittleren quadratischen Abweichung der einzelnen Meßwerte vom errechneten Mittelwert.

Je größer die Anzahl n , desto mehr nähern sich der Mittelwert m und die Standardabweichung s der Stichprobe der Standardabweichung σ und dem Mittelwert μ der Grundgesamtheit an.

Als Maß für die Streuung des Mittelwerts der Stichprobe um den Mittelwert der Normalverteilung der Grundgesamtheit wurde zusätzlich aus der Standardabweichung dividiert durch die Wurzel der Anzahl n das sogenannte SEM (standard error of mean) berechnet. Mit Zunahme der Anzahl n wird das SEM kleiner, der berechnete Mittelwert nähert sich dem Mittelwert der Normalverteilung der Grundgesamtheit an, das SEM ist also ein Maß für die Güte des Mittelwerts. Es geht ein in die Berechnung des t-Werts (s.u.).

Die verschiedenen Mittelwerte innerhalb der Gruppen und verschiedener Gruppen untereinander wurden mit dem t-Test für verbundene bzw. unverbundene Stichproben auf Unterschiede untersucht. Es wurde jeweils die Nullhypothese „Es liegt kein Unterschied zwischen den Mittelwerten vor“ gegenüber der Alternativhypothese „Es liegt ein Unterschied vor“ geprüft. Die errechnete Prüfgröße t wird mit dem vorher festgelegten sogenannten kritischen Wert (t_{krit}) verglichen. Dieser ist abhängig von der jeweils gewählten Irrtumswahrscheinlichkeit p und der

Anzahl der Freiheitsgrade (= $n-1$). Die Irrtumswahrscheinlichkeit p ist die Wahrscheinlichkeit, mit der die Nullhypothese, obwohl richtig, abgelehnt wird, ein sogenannter Fehler 1. Art.

In Abhängigkeit von der Irrtumswahrscheinlichkeit p gelten die folgenden gebräuchlichen Signifikanzniveaus, die auch in dieser Arbeit verwandt wurden:

$p > 0,05$	nicht signifikant
$p < 0,05$	schwach signifikant
$p < 0,01$	einfach signifikant
$p < 0,001$	hoch signifikant

Mit dem t-Test für unverbundene Stichproben, z.B. beim Vergleich der Kyphosewinkel bei Männern und Frauen vergleicht man zwei unabhängige Stichproben des Umfanges n_1 und n_2 , mit den Mittelwerten m_1 und m_2 und der Standardabweichung s_1 und s_2 . Die Prüfgröße t bildet den Quotienten aus der Differenz der Mittelwerte und dem mittleren Fehler dieser Differenz, außerdem fließt die Anzahl der Freiheitsgrade ($n-1$, da der Mittelwert schon festgelegt ist) in den Wert mit ein.

$$t = \frac{m_1 - m_2}{\sqrt{sem_1^2 + sem_2^2}}$$

Bei voneinander abhängigen Stichproben, z.B. 2 verschiedenen Haltungen innerhalb einer Alters- und Geschlechtsgruppe, findet der t-Test für verbundene Stichproben Anwendung. Man bestimmt paarweise die Differenzen von Messungen bei einem Probanden an zwei verschiedenen Zeitpunkten und errechnet dazu den Mittelwert. Der t-Wert ist der Quotient aus diesem Mittelwert und dem SEM der Differenzen.

$$t = D / SEM \quad (D = \text{Mittelwert der paarweisen Differenzen der Meßwerte})$$

Beim Versuchsdesign wird anhand der angestrebten Irrtumswahrscheinlichkeit ein sog. „kritischer Wert“ festgelegt. In beiden Fällen wird der t-Wert mit dem kritischen Wert t_{krit} verglichen und es gilt: Ist t größer als t_{krit} , wird die Alternativhypothese angenommen, das heißt man geht davon aus, daß ein Unterschied zwischen den Werten vorliegt. Ist t kleiner als t_{krit} , wird die Nullhypothese angenommen, d.h. es liegt kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Werten vor.

Die klinischen Messungen nach Schober wurden mit der Änderung des LWS-Winkels zwischen aufrechter Haltung und Flexion verglichen. Die beiden Werte wurden jeweils paarweise korreliert. Der sogenannte Korrelationskoeffizient gibt den Grad des Zusammenhangs zwischen zwei Wertebereichen an, zwischen denen man eine Abhängigkeit vermutet. Man berechnet den Korrelationskoeffizienten unter der Voraussetzung, daß man zwischen den Werten eine lineare Regression vermutet. Regression ist die graphische Darstellung des Zusammenhangs zweier Koordinaten x und y nach der Funktion $y = mx + b$, m bestimmt den Grad der Steigung der sich ergebenden Gerade, b bestimmt den Punkt, an dem die Gerade die y -Achse schneidet. Man berechnet sowohl den Zusammenhang von y nach x als auch den von x nach y und erhält zwei verschiedene Geraden. Beide Geraden haben denselben Korrelationskoeffizient r , aber unterschiedliche Steigungen. Die Steigung der „Korrelationsgeraden“ berechnet sich als Mittelwert der beiden Regressions-Steigungen. Der Korrelationskoeffizient r entspricht dem auf 1 normierten mittleren quadratischen Abstand der Messwerte von der Korrelationsgeraden. Der Absolutbetrag von r liegt zwischen 0 und 1; $r = 0$ bedeutet keine Beziehung zwischen x und y , $r = 1$ bedeutet exakte Proportionalität von x und y . Negatives r bedeutet umgekehrte Proportionalität (einem grossen x entspricht ein kleines y und umgekehrt).

3. ERGEBNISSE

Die Ergebnisse der Messungen sind in den 24 Tabellen 1-8b zusammengefaßt. (vgl. 6.). Im Folgenden wird jede Haltungs- bzw. Beweglichkeitsuntersuchung gesondert beschrieben, zunächst jeweils für die sechs einzelnen Gruppen, dann folgt eine Zusammenfassung der Charakteristika der jeweiligen Haltung und ein Alters- und Geschlechtervergleich. Beim Geschlechtervergleich ist es nicht immer sinnvoll, ihn zwischen allen drei Altersklassen zu ziehen; häufig kann man die mittlere Altersgruppe mit der jüngeren oder älteren zusammenfassen.

Zuerst wird die sagittale Rückenform des aufrechten Stehens und Sitzens beschrieben, danach mit Flexion und Extension im Stehen und im Sitzen Parameter der Beweglichkeit. Am Schluß folgt der Matthiasstest.

Die segmentalen Winkel werden nur in wichtigen Zusammenhängen dargestellt. Die Änderung des Sakrumwinkels stellt immer nur eine Mitbewegung im Hüftgelenk dar, das maximale Bewegungsausmaß in den Hüftgelenken wurde nicht erfaßt.

3.1. Charakterisierung der sechs Gruppen

Die Gruppe der **jungen Frauen** besteht aus 31 Frauen zwischen 18 und 35 Jahren, im Mittel $26 \pm 4,2$ Jahre (Mittelwert \pm Standardabweichung), mit einer durchschnittlichen Größe von $170 \pm 4,8$ cm und einem Gewicht von $58 \pm 6,0$ kg.

In der Gruppe der **Frauen mittleren Alters** sind 27 Frauen zwischen 35 bis 54 Jahren, das Durchschnittsalter beträgt $46 \pm 4,9$ Jahre, sie haben eine durchschnittliche Größe von $163 \pm 5,6$ cm und ein Gewicht von $64 \pm 11,8$ kg.

In der Gruppe der **älteren Frauen** sind 23 Frauen zwischen 55 und 83 Jahren, das Durchschnittsalter ist $67 \pm 8,1$ Jahre, die Durchschnittsgröße ist $161 \pm 6,1$ cm und das Durchschnittsgewicht $62 \pm 11,8$ kg.

In der Gruppe der **jungen Männer** sind 30 Männer im Alter zwischen 18 und 34 Jahren (Mittelwert $26 \pm 4,0$ Jahre), die Durchschnittsgröße ist $178 \pm 5,6$ cm und das Durchschnittsgewicht $71 \pm 8,7$ kg.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Das neuartige Meßverfahren mit der Rückenmaus erlaubt die Bestimmung der sagittalen Rückenkontur mit der Angabe aller segmentalen Winkel der BWS und LWS, daraus errechenbaren Kyphose- und Lordosewinkeln, des Sakrumwinkels und der Inklination sowie der Rückenlänge als wichtigen Parametern der Haltung. Außerdem kann durch Messung in verschiedenen Stellungen die segmentale Beweglichkeit der BWS und LWS sowie die Mitbewegung in den Hüftgelenken bestimmt werden. Vorteile der Rückenmaus gegenüber bekannten Meßgeräten sind die einfache und rasche Handhabung, eine gute Reproduzierbarkeit und die leichte und schnelle Verfügbarkeit der Ergebnisse in Form computererstellter anschaulicher Kurven mit den dazugehörigen Daten. Damit erfüllt die Rückenmaus die Anforderungen für den immer wieder geforderten und gewünschten klinischen Einsatz in der therapeutischen Verlaufskontrolle und Qualitätssicherung.

Das Verfahren kann damit einen wichtigen Beitrag zum besseren Verständnis von Form und Beweglichkeit der Wirbelsäule und des häufig vermuteten Zusammenhangs von Haltungsproblemen mit Rückenschmerzen leisten.

In dieser Arbeit wurden mit der Rückenmaus Normwerte für rückengesunde Erwachsene erstellt. Dazu wurden 163 gesunde Probanden zwischen 18 und 83 Jahren, die in der Anamnese allenfalls über sporadische, aber keinesfalls regelmäßige Rückenschmerzen berichteten, in drei mal zwei Gruppen unterschiedlichen Alters und Geschlechts eingeteilt. Die Probanden wurden körperlich untersucht und anschließend in sieben verschiedenen Haltungen (stehend aufrecht, sitzend aufrecht, Flexion und Extension im Stehen, Flexion und Extension im Sitzen, Haltungstest nach Matthiass) mit der Rückenmaus gemessen.

Die gewonnenen Normwerte spiegeln innerhalb der 95%-Perzentile (d.h. je zweifache Standardabweichung um den Mittelwert) die große Vielfalt der Rückenformen und Haltungen wider. Die Standardabweichungen sind groß und setzen, vergleichbar mit Körpermaßen wie Größe und Gewicht, weite Normgrenzen. Trotzdem scheinen die Normwerte geeignet, um bei deutlichen Abweichungen im Sinne von Richtwerten verwendet zu werden und damit an ihnen die Pathologie Einzelner festzustellen. Zusätzlich sollen sie eine Grundlage für den Vergleich zwischen Kollektiven, zum Beispiel Patientengruppen bilden, um dadurch

Charakteristika zu erarbeiten, wie dies in dieser Untersuchung schon zwischen den einzelnen untersuchten Gruppen getan wurde.

Die festgestellten Altersveränderungen bestätigen Bekanntes oder Vermutetes. Die BWS-Kyphose verstärkt sich mit dem Alter (4°-12° bei den Frauen, 4°-5° bei den Männern). Die Beweglichkeit vor allem der LWS sowohl in der Flexion als auch in der Extension nimmt mit dem Alter ab (um ca. 15° in der Flexion, um ca. 6°-9° in der Extension), was eine verringerte Inklinationsänderung bei Flexion und Extension zur Folge hat.

Im aufrechten Sitzen zeigt sich mit zunehmendem Alter eine geringere Haltungsänderung gegenüber dem aufrechten Stehen, vor allem die LWS-Lordose bleibt deutlich ausgeprägter als in jungen Jahren.

Geschlechtsunterschiede finden sich hauptsächlich in der Rückenform, weniger in der Beweglichkeit. Bei den jungen Männern zeigt sich eine um 6° stärkere BWS-Kyphose als bei den jungen Frauen. Dieser Unterschied ist in den älteren Gruppen nicht mehr zu finden. Die Frauen haben dagegen in allen Altersstufen eine um 7° bis 15° ausgeprägtere LWS-Lordose als die Männer, verbunden mit einer um 6° bis 13° stärkeren Beckenklippung.

Nur die jüngeren Frauen zeigen sich in der Gesamtbeweglichkeit und im Matthiasstest etwas beweglicher als die Männer gleichen Alters, dies ist vor allem auf eine beweglichere LWS zurückzuführen. In den älteren Gruppen ist ein solcher Unterschied nicht mehr nachweisbar.

Der Haltungstest nach Matthiass zeigt in allen sechs Gruppen sehr ähnliche Veränderungen im Sinne einer leichten Reklination, einer etwas tieferen LWS-Lordose und eines geringfügig steileren Sakrumwinkels. Die Ähnlichkeiten in den sechs Gruppen sind sehr groß und die Standardabweichung ist relativ klein. Der Test mißt also relativ genau eine einheitliche Haltungsänderung auf eine definierte Belastung. Es ist allerdings nicht geklärt, ob es - mit der Rückenmaus gemessen - eine erfaßbare pathologische Reaktion gibt. Angesichts der engen Normgrenzen wäre dies durchaus denkbar und sollte an Patienten verifiziert werden.

Damit ist die Basis für weitere nötige Untersuchungen und Datensammlungen gelegt. Ein wichtiger Ansatz bietet sich im Vergleich mit pathologischen Kollektiven und in der Erarbeitung der Haltungs- und Beweglichkeitscharakteristika einzelner Krankheitsbilder. Interessant wäre möglicherweise auch der Unterschied zwischen trainierten und untrainierten Gruppen mit der Frage, was bzw. ob körperliches

Training etwas an der Rückenform, an der Mobilität und an der Reaktion auf Haltebelastung (Matthiasstest) verändert.

Sehr von Nutzen wären Längsschnittstudien, denn die vorliegende Arbeit kann als Querschnittsstudie nur eine Momentaufnahme sein. Sie könnten zum Beispiel eine Antwort auf die Frage geben, welche der „Jungen“ unter welchen Bedingungen später Rückenprobleme bekommen werden. Gut geeignet ist die Rückenmaus für Reihenuntersuchungen in Schulen, in denen sich Längsschnittstudien über viele Jahre durchführen lassen.

In einer weiteren Dissertationsarbeit (Schulz 99) konnte die Rückenmaus ihre Validität und Reliabilität im Vergleich mit Röntgenfunktionsaufnahmen beweisen. Sie besitzt im Vergleich eine einfache Handhabung, gute Reproduzierbarkeit, ist beobachterunabhängig und frei von Nebenwirkungen. Damit steht ein gutes Instrument für den klinischen Alltag zur Verfügung. Dadurch eignet sich die Rückenmaus gut für die Verlaufskontrolle und Qualitätssicherung therapeutischer Maßnahmen. Möglicherweise liegt eine der Stärken des Rückenmausmeßverfahrens wegen der Exaktheit der Einzelmessung gerade im intraindividuellen Vergleich.

6. NORMWERTTABELLEN

NORMWERTE DER RÜCKENFORM UND DER BEWEGLICHKEIT DES RÜCKENS IN DER SAGITTALEBENE

Folgende Tabellen fassen die Ergebnisse der Rückenmausmessungen jeweils für alle sechs Alters- und Geschlechtsgruppen in einer in der Praxis gut anwendbaren Form zusammen:

1. Normwerte der sagittalen Rückenform

Tab. 1:	Aufrechte Haltung; stehend/sitzend
Tab. 1a:	Aufrechte Haltung: segmentale Winkel der BWS; stehend/sitzend
Tab. 1b:	Aufrechte Haltung: segmentale Winkel der LWS; stehend/sitzend
Tab. 2:	Haltungsänderung vom Stehen zum Sitzen
Tab. 2a:	Änderung der segmentalen Winkel der BWS vom Stehen zum Sitzen
Tab. 2b:	Änderung der segmentalen Winkel der LWS vom Stehen zum Sitzen
Tab. 3:	Maximale Ventralflexion; stehend/sitzend
Tab. 3a:	Maximale Ventralflexion: segmentale Winkel der BWS; stehend/sitzend
Tab. 3b:	Maximale Ventralflexion: segmentale Winkel der LWS; stehend/sitzend
Tab. 4:	Maximale Dorsalextension; stehend/sitzend
Tab. 4a:	Maximale Dorsalextension: segmentale Winkel der BWS; stehend/sitzend
Tab. 4b:	Maximale Dorsalextension: segmentale Winkel der LWS; stehend/sitzend

2. Normwerte der Beweglichkeit

Tab. 5:	Beweglichkeit aufrechte Haltung - Flexion; stehend/sitzend
Tab. 5a:	segmentale Beweglichkeit der BWS: aufrechte Haltung - Flexion stehend/sitzend
Tab. 5b:	segmentale Beweglichkeit der LWS: aufrechte Haltung - Flexion stehend/sitzend