

Die Rückenmaus – Ein analog-digitales Meßgerät zur Erfassung der sagittalen Rückenkontur

N. Seichert, M. Baumann, E. Senn, H. Zuckriegel

Klinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation der Ludwig-Maximilians-Universität München
(Direktor: Prof. Dr. med. E. Senn)

The "back mouse" – an analog-digital measuring device to record the sagittal outline of the back

In this paper a new but simple electro-mechanical device for computerassisted measurement and documentation of the spine's sagittal shape is presented. The handy device is connected via an analog-digital-converter to a standard MS-DOS-PC. When manually guided along the back of a subject freely positioned in space, the system records the outline of the subject's spine from vertebrae C7 to S3 in the sagittal plane. The local angle or inclination relative to a perpendicular line is given at any position by an internal pendulum connected to a potentiometer. All essential values, such as the back's length, total inclination or reclination, lordosis and kyphosis, segmental inclination and position of the pelvis are both graphically and numerically recorded and presented in an easily understandable way. This device offers essential advantages in comparison to hitherto known methods for the measurement of the spine's contour in the sagittal plane, due not only to its accuracy, objectivity and documentation but also because of its ease of use, noninvasivity and cost-benefit ratio.

Present measurements indicate good inter- and intra-observer reproducibility with high reliability and clinical relevance. Manyfold applications are evident for diagnosis of

posture, joint position and mobility for many disorders of the locomotor system. Additionally the system is perfectly suited both for comparative epidemiology studies and for the follow up of therapeutic process. It is of equally high value for scientific application due to its unique possibility of numerical and graphical presentation of the "average shape" of group-specific posture by averaging over the group's members, providing both normative values and characteristics for pathological posture.

The wheel actually used to measure the back's length may be easily replaced by a sphere, using the same principle as the well known "track-ball" for PCs. With this modification both sagittal and frontal shape could be registered at the same time in a single measurement. With such an advanced device, all important functional parameters of the spine – excluding rotatory components – can be easily measured without any loss of accuracy or handiness.

Key words

Posture – spinal shape – sagittal shape of the back – spinal mobility – pelvic tilt – pelvic inclination – measurement of the spinal shape – measurement of kyphosis and lordosis – back pain

Einleitung

Bedeutung der Wirbelsäulenform

Eines der jüngsten und dennoch häufigsten und wirtschaftlich relevantesten Krankheitsbilder in unserer Gesellschaft sind Rückenbeschwerden: Über 50 % der krankheitsbedingten Arbeitsausfälle, Berufs- und Erwerbsunfähigkeit sind durch „Rückenschmerzen“ bedingt (Adams u. Hutton 1985, Deyo u. Tsui-Wu 1987, Anderson 1991). Nach neueren Erkenntnissen leiden 80 % der Menschen irgendwann im Leben darunter, 90 % davon im Jahr vor der Befragung. Bei ca. 40 % entwickelt sich der Rückenschmerz zur chronischen Schmerzerkrankung, deren Erforschung und Therapie heute eine erstrangige medizinische Aufgabe darstellt (Anderson 1991, Raspe 1993).

Die Evolution zum aufrecht stehenden und gehenden Menschen bedeutete nicht nur die Aufrichtung der Wir-

belsäule von einer mehr oder weniger horizontalen in die vertikale Lage, sondern ging auch mit einer Veränderung der Wirbelsäulenform einher: Der bei den Vierfüßlern rundenbogenähnliche Verlauf wandelte sich in die doppelte S-förmige Wirbelsäule des Menschen. Obwohl die Bedeutung dieser für den Menschen charakteristischen Wirbelsäulenform bezüglich der damit verbundenen mechanischen Vorteile und Notwendigkeiten heute noch keineswegs vollständig verstanden ist, so wird sie dennoch vernünftigerweise mit der Bewältigung der Haltungsaufgabe in Verbindung gebracht. Die durch die aufrechte Haltung verursachten Druck- und Scherkräfte erreichen und überschreiten oftmals die Grenze der Materialbelastbarkeit (Rosemeyer 1974, Nachemson 1985, Neugebauer u. Windischbauer 1991). Seit langem geht man daher von der Hypothese aus, daß Fehlformen bzw. Fehlhaltungen der Wirbelsäule in der sagittalen Ebene mit vermehrten Rückenbeschwerden einhergehen. Unklar bleibt indessen, welche Fehlformen mit welchen Arten und Schweregraden von Rückenschmerzen korrelieren (Senn 1987). Es erscheint deshalb nur verständlich, sowohl Ausmaß als auch Entstehung einer Fehlform objektiv erfassen und dokumentieren zu wollen. Dies ist in der Vergangenheit immer wieder

Zusammenfassung

Es wird ein neuartiges mechano-elektronisches Meßsystem vorgestellt, mit dem die sagittale Rückenkontur und -beweglichkeit von HWK7 bis zum Sakrum auf einfachste Weise und nichtinvasiv erfaßt und dokumentiert werden kann. Das handtellergröße Gerät erlaubt in Verbindung mit einem MS-DOS-kompatiblen PC die Konturerfassung an einem beliebigen im Raum positionierten Patienten; als Orientierungsreferenz dient die Schwerkraft. Das Gerät wird von Hand entlang der Haut oberhalb der Dornfortsätze geführt, dabei registrieren ein Laufrad mittels Lichtschranke die abgefahrene Wegstrecke und ein Pendelpotentiometer den momentanen Winkel relativ zum Lot. Alle relevanten Parameter wie Rückenlänge, Inklination gegenüber der Vertikalen, Kypho- und Lordosierung und segmentale Winkelstellung werden anschaulich dargestellt sowie graphisch und numerisch dokumentiert. Im Vergleich zu bekannten Verfahren bietet das vorgestellte System wesentliche Vorteile sowohl hinsichtlich Genauigkeit, Objektivität und Dokumentation der Meßwerte als auch hinsichtlich Nichtinvasivität, Anwender- und Patientenfreundlichkeit sowie Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Bisherige Ergebnisse sprechen für gute inter- und intra-observer-Reproduzierbarkeit bei hoher Validität und klinischer Relevanz der Meßgrößen. Breite Einsatzmöglichkeiten sind für die Haltungs- und Beweglichkeitsdiagnostik in

Praxis und Klinik bei den verschiedensten Krankheitsbildern des Bewegungsapparates mit Fehllhaltung bzw. Fehlform der Wirbelsäule gegeben. Darüber hinaus ist das System für vergleichende Reihenuntersuchungen sowie zur objektiven Therapieerfolgs- und Verlaufskontrolle hervorragend geeignet. Dank der einzigartigen Möglichkeit, gruppenspezifische Haltungskriterien in Form der „mittleren Rückenkontur“ zu veranschaulichen und somit Normwerte bzw. pathologische Haltungen zu definieren, ist das System auch für wissenschaftliche Untersuchungen äußerst wertvoll.

Mittels einer einfachen Abwandlung der Wegstreckenmeßvorrichtung läßt sich der Meßbereich auch auf die frontale Ebene erweitern, so daß in einem einzigen Meßvorgang skoliotische Fehllhaltungen und -formen sowie Lateralflexionen der Wirbelsäule mit erfaßt werden. Mit diesem erweiterten Meßsystem lassen sich, bei unverändert einfacher Handhabung, alle klinisch relevanten Funktions- und Haltungsprüfungen des Achsen skeletts – mit Ausnahme rotatorischer Komponenten – durchführen.

Schlüsselwörter

Haltung – Rückenform – sagittale Rückenkontur – Wirbelsäulenbeweglichkeit – Beckenkippung – Beckenaufrichtung – Messung der Rückenform – Messung der Kyphosierung und Lordosierung – Rückenschmerz

klinisch* und apparativ versucht worden, ohne daß bisher eine ausreichend genaue, breit einsetzbare und klinisch handliche Technik oder Methode gefunden wurde.

Wesentlicher Bestandteil der Befunderhebung jedes Rückenpatienten ist die Inspektion der Haltung. Mit „Haltung“ ist im folgenden im eingeschränkten Sinn die sagittale Rückenkontur gemeint. So prägte *Staffel* bereits vor über 100 Jahren (*Staffel* 1889) unter Verwendung der Charakteristika „flach“, „hohl“ und „rund“ die noch heute gebräuchliche Einteilung in fünf „Rückentypen“, nämlich der totale bzw. untere „Flachrücken“, der totale bzw. obere „Rundrücken“ und der „Hohlrundrücken“. Mangels objektiver Meßverfahren sprechen wir heute noch nach *Matthiass* (1979) von „Haltungsschwäche“ bzw. „Haltungsverfall“, wenn der Patient nach aufrechtem Stehen für 30 Sekunden mit waagrecht ausgestreckten Armen eine übermäßige Lendenlordose, also ein „Hohlkreuz“, zeigt. Daneben gibt es verschiedene qualitative Methoden zur Bewertung der Wirbelsäulenbeweglichkeit mit dem Maßband (*Salisbury* u. *Porter* 1987), z. B. die Messung des Finger-Boden-Abstands sowie die Tests nach *Schober* und *Ott* (*Schober* 1937) als lumbale und thorakale Längenänderung bei maximaler Anteflexion im Stehen. Diese subjektiven Kriterien sind zwar für die klinische Befunderhebung hilfreich, sie genügen jedoch den notwendigen Anforderungen hinsichtlich Validität, Objektivität und Reproduzierbarkeit nicht.

Um eine objektive, reproduzierbare und genaue Messung der Rückenkontur in unterschiedlichen Ausgangspositionen zu ermöglichen, wurden zahlreiche apparative Meßverfahren entwickelt. Nach *Groeneveld* (1976) und *Matthiass* (1979) lassen sich diese in Abdruckverfahren, komplexe

Konturen-Zeichnungsverfahren sowie direkte und indirekte Konturenmeßverfahren einteilen.

- Abdruckverfahren arbeiten mit verschiedenen plastischen Materialien, die im direkten Kontakt mit dem Rücken einen räumlichen Abdruck liefern (*Milne* u. *Lauder* 1974); wegen mangelhafter Quantifizier- und Objektivierbarkeit haben sie heute nur noch historische Bedeutung.
- Bei komplexen mechanischen Konturen-Zeichnungsverfahren kann mittels aufwendiger Umlenkmechanismen die sagittale und/oder frontale Kontur des Rückens auf einen Papierbogen aufgezeichnet werden (*Schulthess* 1887, *Groeneveld* 1976). Sie zwingen den Patienten in eine unnatürlich fixierte Haltung, sind bedienungs- und zeitaufwendig und somit wenig hilfreich für die Praxis.
- Direkte Konturenmeßverfahren haben eine gewisse praktische Bedeutung erreicht. Es handelt sich um einfache apparative Hilfsmittel zur relativen Winkel- bzw. zur Neigungsmessung, insbesondere zur Bestimmung der relativen (Brust-)Kyphose und (Lenden-)Lordose. Bekannte Vertreter dieser Klasse sind das Kyphometer nach *Debrunner* (*Debrunner* 1973), Rückenwaagen oder Skolionometer (*Murell* et al. 1993) und diverse Ausführungen von Inklino- und Goniometern (*Groeneveld* 1976, *Marras* u. *Fattalah* 1992, *Murell* et al. 1993). Diese Verfahren sind zwar praktische Hilfen bei Kontur- und Beweglichkeitsmessung, ermöglichen jedoch keine ausreichend objektive Erfassung und vor allem keine genaue Dokumentation der relevanten Daten.
- Indirekte Konturenmeßverfahren arbeiten berührungsfrei auf der Basis von Fotografie, Optoelektronik, Ultraschall oder Radiologie. In jüngerer Zeit wurden hier verschiedene aufwendige Methoden neu entwickelt, z. B. die dreidimensiona-

le Topographie mit Moiré-Mustern (Sahlstrand 1986, Neugebauer u. Windischbauer 1991), ohne jedoch die in sie gesetzten Erwartungen zu erfüllen. Etabliert haben sich allein radiologische Verfahren, zu der viele Autoren publiziert haben (Frymoyer 1984); standardisierte Meß- oder Auswertemethoden konnten sich jedoch nicht durchsetzen.

Mit Ausnahme der invasiven Röntgenmethode, die wegen der damit verbundenen Exposition mit ionisierender Strahlung als Screeningverfahren und zur Verlaufskontrolle ungeeignet ist, liefert keines der bekannten Verfahren objektive und valide Meßwerte der sagittalen Rückenkontur, die zur Erstellung von Normwerttabellen und zur Erkennung pathologischer Abweichungen von dieser Norm geeignet wären. Die zwei elementaren Probleme im Zusammenhang mit der sagittalen Rückenkontur, nämlich die Frage, ob es einen Zusammenhang zwischen „schlechter“ oder „fälscher“ Haltung (= Rückenkontur) und der Inzidenz von Rückenproblemen gibt, und das Problem, die individuelle Haltung und Beweglichkeit eines Patienten auf einfache Weise zu dokumentieren, damit eine objektive Verlaufskontrolle möglich wird, sind bis zum heutigen Tage nicht zufriedenstellend gelöst.

Methodik

Funktion und Handhabung

Das hier vorgestellte mechano-elektronische System besteht aus einem manuell geführten Gehäuse, welches eine Wegstrecken- und eine Winkelmeßvorrichtung enthält (Abb. 1). Für die Wegstreckenmessung dient ein Laufrad, das mit äquidistanten radialen Schlitzen versehen ist und direkt auf der Haut abrollt; dabei wird die abgefahrte Wegstrecke mittels einer Lichtschranke in eine Anzahl digitaler Impulse umgesetzt. Zur Winkelmessung enthält das System ein „Pendelpotentiometer“, das ist 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 zuverlässig in ein dem Winkel proportionales analoges Widerstands- bzw. Spannungssignal umgesetzt. Aufgrund Größe, Funktion und Handhabung nennen wir das System „Rückenmaus“, in Analogie zur allgemein bekannten „PC-Mouse“. Der Arzt führt die Rückenmaus mit moderatem Anpreßdruck frei in der Hand parallel zum Rücken des Patienten oberhalb der Dornfortsätze, dabei rollt das Laufrad direkt auf der Haut ab. Eine zusätzliche Gleitkufe erleichtert die korrekte Führung; die Bewegung kann mit unterschiedlicher Geschwindigkeit (fast) beliebig schnell erfolgen. Alle in dieser Arbeit vorgestellten Messungen beginnen in Höhe von HWK7 und enden in Höhe der Rima ani, entsprechend SWK3. Mit der Rückenmaus kann jedoch problemlos auch die Kontur der Halswirbelsäule und der Schädelkalotte erfasst werden, dazu muß lediglich höher mit der Messung begonnen werden. Über diese Meßmöglichkeit wird in eigenständigen Publikationen berichtet werden.

Die Rückenmaus ist über ein sechsadriges Kabel mit einem 12-Bit-Analog-Digital-Wandler (ADW) verbunden, der als Steckkarte mit einem MS-DOS-kompatiblen PC der XT- oder AT-Klasse kommuniziert. Folgende Daten werden von der Rückenmaus erfasst und über den ADW an den Rechner weitergeleitet (vgl. Blockschaltbild in Abb. 2):

1. Die *Neigung* oder *Inklination*, d.h. die lokale Abweichung von der Vertikalen in Winkelgrad, gemessen durch das Pen-

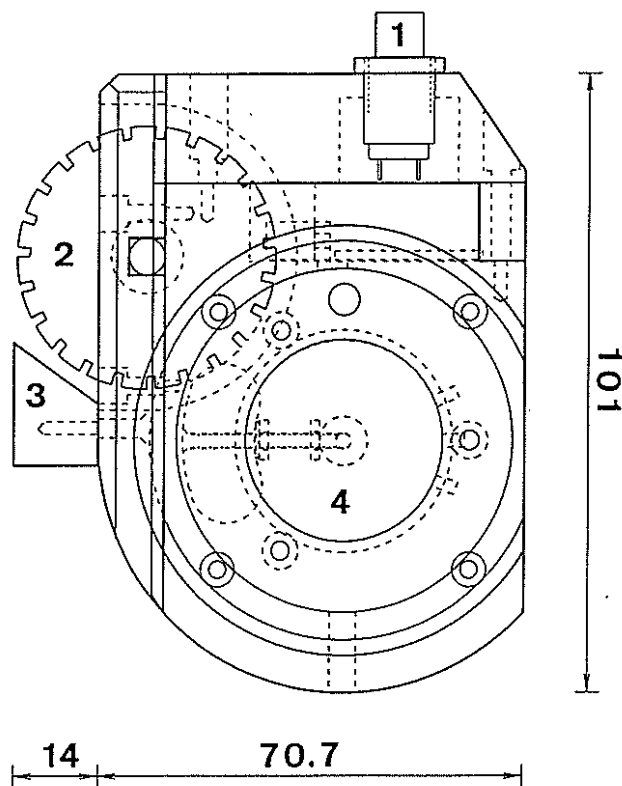


Abb. 1 Schnittbild der Rückenmaus. 1 = Meßtaste, 2 = Laufrad mit Lichtschranke, 3 = Gleitkufe, 4 = Pendelpotentiometer (Längenangaben in mm).

delpotentiometer. Gemäß der Neutral-Null-Methode wird der Vertikalen der Meßwert „0°“ zugeordnet; Abweichungen nach vorne (Anteflexion) zählen positiv, Retroflexion negativ. Der Meßbereich ist größer als 340°, so daß Messungen in nahezu beliebiger Körperstellung möglich sind. Die Winkelauflösung liegt bei 0,1°; als Kompromiß zwischen Empfindlichkeit/Hysterese und hoher Auflösung wurde die Dämpfung der Potentiometerachse auf eine Ansprechgenauigkeit von $\pm 1^\circ$ optimiert. Durch eine einfache Schaltung wird der neigungsproportionale Widerstand des Potentiometers in eine Spannung zwischen 0 und +3 Volt umgesetzt, die als analoger Meßwert über Leitung #1 zur ADW-Karte gelangt. Aus den vom ADW an den PC weitergegebenen digitalen Spannungswerten berechnet die Software die zugehörigen Winkel in Bogenmaß und Winkelgraden. Die erforderlichen Umrechnungsfaktoren bestimmt das Programm automatisch anhand von Kalibrierwerten, die mit einem Kalibrierprogramm beliebig oft, mindestens jedoch einmal bei Systeminstallation festgelegt werden.

2. Die *Wegstrecke* oder *Rückenlänge* als Anzahl der vom Laufrad erzeugten Lichtschrankenimpulse, die der abgerollten Strecke proportional ist. Diese digitalen Meßwerte werden auf Leitung #2 über den ADW an den PC geschickt. Die Auflösung kann gemäß der Anzahl der Schlitze des Laufrades dem Bedarf angepaßt werden, als Kompromiß zwischen Datenmenge und Auflösung haben sich 5,2 mm pro Schrittschritt bewährt, entsprechend 24 Schlitze bei 40 mm Durchmesser des Laufrads. Bei der Messung ist zu beachten, daß die Haut in Abhängigkeit vom Anpreßdruck unterschiedlich stark gedehnt wird, was die gemessene Rückenlänge direkt

Funktionsschema "Sagittale Rückenmaus"

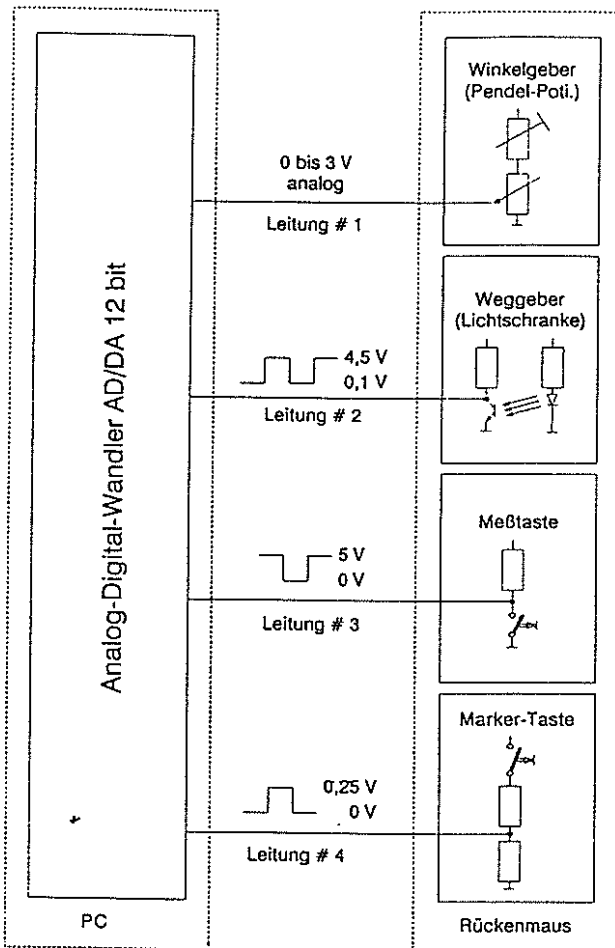


Abb. 2 Blockschaltbild zum Funktionsprinzip der Rückenmaus.

beeinflusst. Das System ist auf einen „mittleren“ Anpreßdruck kalibriert, dann entspricht die berechnete Rückenlänge der mit einem Maßband gemessenen. Bei abweichendem Anpreßdruck kann im Extremfall eine Längenabweichung von ± 3 cm resultieren. In der Praxis zeigte sich, daß unabhängige Benutzer nach wenigen Meßvorgängen weitgehend übereinstimmende mittlere Anpreßdrücke wählten, so daß die intra- bzw. inter-observer-Reproduzierbarkeit bei etwa ± 1 cm bzw. ± 2 cm liegt.

- Der Zustand der digitalen „Meßtaste“. Während der Messung muß diese Taste gedrückt gehalten werden. Die Messung beginnt mit der Drehbewegung des Laufrades bei gedrückter Meßtaste und endet mit der ersten Lichtschrankenschaltung (= kurze Drehbewegung des Laufrades) nach Loslassen der Meßtaste. Bei Betätigung schaltet die Meßtaste zwischen 0 und +5 Volt; der jeweilige Spannungswert gelangt auf Leitung #3 über den ADW an den PC. Die Software „Meßmodul“ enthält eine Logik zur kompletten Steuerung des Meßvorganges in Abhängigkeit dieses digitalen Signals.
- Der Zustand der digitalen „Markertaste“ auf Leitung #4. An beliebigen Stellen des Rückens kann durch Betätigen dieser Taste eine Markierung gesetzt werden; die entsprechende Position wird am Bildschirm und in der Druckerausgabe gra-

phisch hervorgehoben. Dabei muß die Taste während mindestens einer Lichtschrankenschaltung gedrückt werden; bei mehreren Schaltschritten definiert der erste den Markierungsort. Funktion und Datenfluß der Markierungstaste entsprechen der Beschreibung bei „Meßtaste“. Zweck dieser Taste ist die Erleichterung einer Beziehung zwischen graphischer Darstellung und realer Anatomie; so können hervorzuhebende Wirbelkörper oder besondere Merkmale auf verschiedener Höhe in die Darstellung mit aufgenommen werden.

Die Software – das Meß- und Steuerprogramm

Der logische Ablauf des Programms ist dem Flußdiagramm (Abb. 3) zu entnehmen. Die ADW-Karte paßt zu allen MS-DOS-kompatiblen Rechnern der PC-XT und -AT-Klasse, die in den meisten Arztpraxen und Kliniken vorhanden sind. Für ein voll mobiles System empfiehlt sich ein tragbarer PC, ein sogenannter Laptop. Die Graphikfunktionen der bekanntesten Graphikkarten (HCG, CGA, EGA, VGA) werden unterstützt. Die Hardcopy auf unterschiedliche Druckermodelle wird vom kommerziellen Programm PizzazPlus (Application Techniques, Inc., USA) übernommen, das in den Programmablauf mit eingebunden ist.

Die Rückenmaus-Software besteht aus zwei Modulen:

Das Modul „Meßprogramm“ ist komplett in Assembler (Microsoft-MASM) geschrieben, um auch an langsamen Prozessoren (Intel 8086/8088 und Kompatible) eine hohe online-Geschwindigkeit zu ermöglichen. Es steuert und kontrolliert den kompletten Meßvorgang, erstellt online, d.h. bereits während der Messung, eine vorläufige graphische Darstellung der Rückenkurve am Bildschirm und übergibt bei Beendigung des Meßvorgangs alle Meßwerte und die Programmkontrolle an das Modul „Hauptprogramm“. Der PC muß mit einem numerischen Coprozessor der Intel-80X87-Familie ausgerüstet sein, da zwecks Erhöhung der Rechengeschwindigkeit spezielle Funktionen dieses Prozessors verwendet werden.

Das Modul „Hauptprogramm“ ist im Hinblick auf Flexibilität und Anpassung an unterschiedliche Hardware und Peripherie in einer Compiler-Hochsprache (Microsoft-QuickBasic) geschrieben. Als menuegesteuerte Schnittstelle zwischen Benutzer und Rückenmaus ermöglicht es die gesamte Programmführung mit Eingabe der Patientendaten, Berechnung, Darstellung und Speicherung der Ergebnisse sowie Ausgabe an Bildschirm und Drucker. Besonderer Wert wurde auf eine extrem einfache Handhabung des Programms gelegt, dessen Bedienung in etwa dem Schwierigkeitsgrad eines automatischen Blutdruckmeßverfahrens entspricht.

Erfasste und dargestellte Meßgrößen

Obwohl es in der Literatur keine Übereinstimmung betreffend die notwendigen und hinreichenden Parameter zur Beschreibung der sagittalen Rückenkontur gibt, haben sich doch bestimmte Meßgrößen und Verhältnisse hinsichtlich ihrer Aussagekraft und Praktikabilität bei verschiedenen Autoren (Matthiass 1979, Senn 1987) bewährt. In Anlehnung an diese Erfahrungen mißt und protokolliert die Rückenmaus nachge-

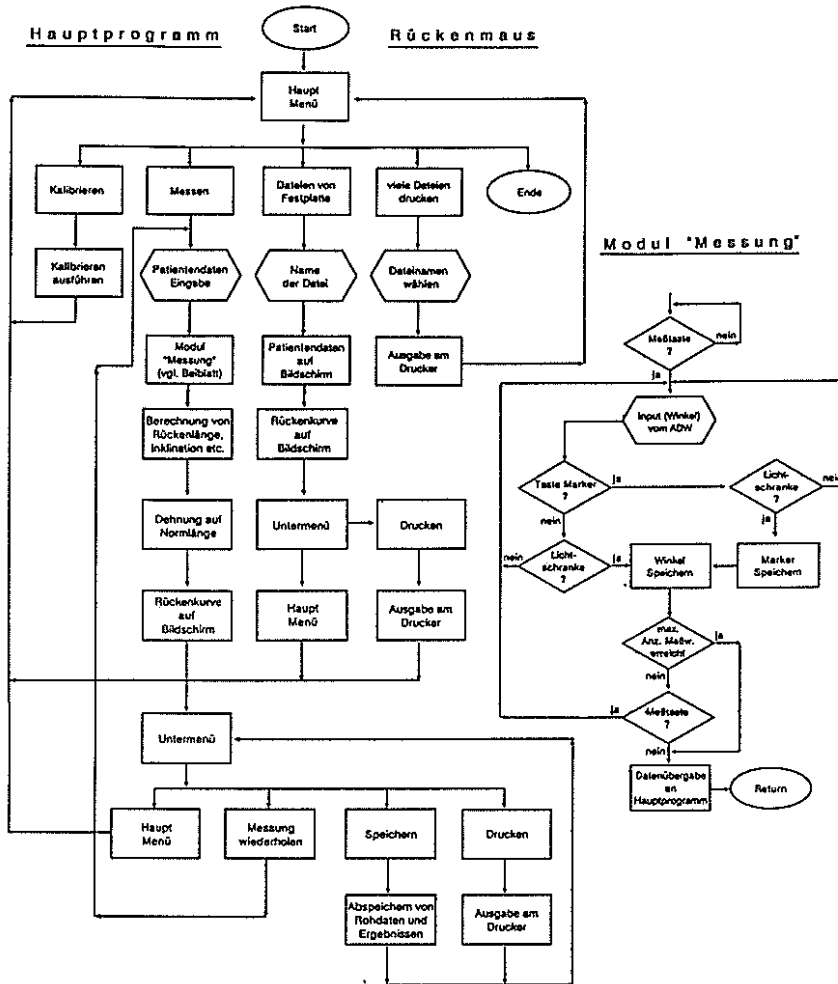


Abb. 3 Flußdiagramm des Steuer- und Meßprogramms.

nannte Meßgrößen als standardisierte Erhebungen einer sagittalen Rückenvermessung; diese Werte schlagen wir auch als vorläufigen Standard einer solchen Haltungsmessung vor.

Im einzelnen handelt es sich um folgende numerische Werte, die im Meßprotokoll neben der graphischen Darstellung der Rückenkontur angegeben werden (vgl. die Originalregistrierung einer Messung in Abb. 4):

- Die *Rückenlänge* in mm, standardisiert gemessen von HWK7 bis zum Beginn der Rima ani, entsprechend SWK3; im Beispiel 500 mm. Als weiterer mit der Rückenlänge korrelierter Wert wird die Länge der geraden Verbindungslinie G vom Anfangs- bis zum Endpunkt des Rückenprofils berechnet (481 mm). Das Verhältnis der „wahren“ Rückenlänge zu dieser Verbindungslinie ist ein qualitatives Maß für die Krümmung: Je „gerader“ der Rücken gehalten wird, desto mehr nähert sich das Verhältnis der Eins. Alle Längenangaben können neben den absoluten Werten in mm auch als relative Größen in Prozent der Körpergröße berechnet werden, was den Vergleich von Messungen an verschiedenen Personen sehr vereinfacht.

Die *Inklination* der Haltung, das ist der Winkel (in Winkelgraden) zwischen der Verbindungsgeraden G und der Vertikalen, die als Lot von C7 mit eingezeichnet wird. Bei vorgebeugter Haltung enthält man positive Inklinationswerte; bei

Retroflexion entsprechend negative. Die „aufrechte“ Haltung entspricht der Inklination 0°.

Die *Tiefe* und die *Länge* der *Kyphose*. Mit „Länge“ (287 mm) ist dabei die Strecke vom Meßbeginn bis zum ersten Schnittpunkt von Rückenkurve und Linie G gemeint. Als „Tiefe“ (36 mm) bezeichnen wir die längste aller Senkrechten zu G, welche diese mit der Rückenkurve im kyphotischen Teil verbinden. Als relatives Maß der Kyphose schlagen wir das Verhältnis von Tiefe zu Länge in Prozent vor. Ein letzter, mit der Kyphose zusammenhängender Wert ist der Ort der maximalen Kyphosierung (130 mm), das ist der Teil der Verbindungsgeraden von C7 bis zur Stelle, bei der die maximale Kyphose lokalisiert wurde.

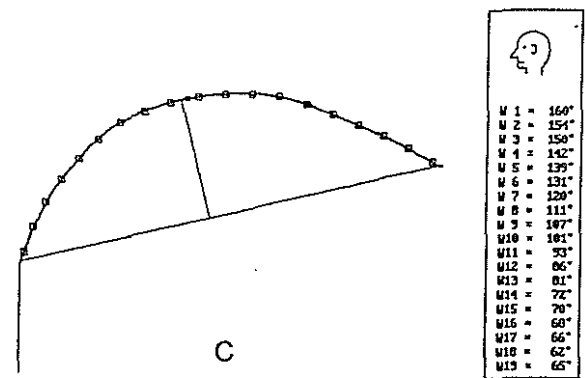
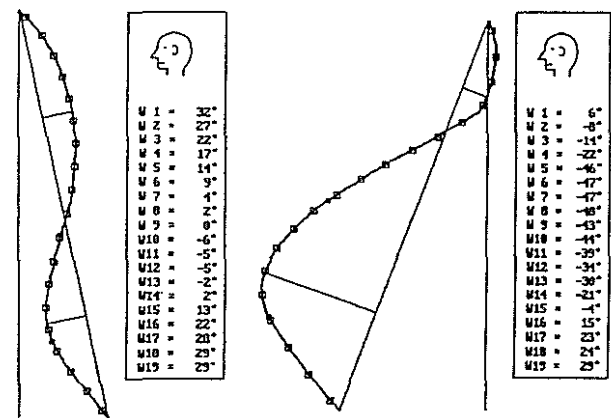
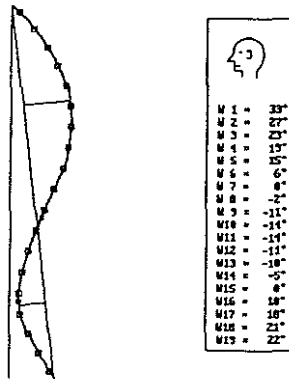
Alle für die Kyphose definierten Größen werden ganz analog auch für die Lordose bestimmt, falls eine solche existiert. Als Länge der Lordose wird dabei die Strecke auf der Verbindungsgeraden vom ersten bis zum zweiten Schnittpunkt mit der Rückenkurve bezeichnet, wobei letzterer häufig mit dem Endpunkt der Rückenkurve identisch ist.

Um eine segmentale Winkelangabe zu ermöglichen, sind 19 äquidistante Quadrate in die Rückenkurve eingezeichnet. In einer neben der Rückenkurve abgedruckten Tabelle sind die dem Zentrum dieser Markierungsquadrate zugeordneten tangentialen Winkel angegeben. Hervorzuheben sind

Rücken - Vermessung

Nachname: Mustermann
 Vorname: Georg
 Alter (Jahre): 14
 Größe (cm): 166
 Gewicht (kg): 52
 Datenname: must746
 Datum der Messung: 14.10.93
 Haltung: stehend aufrecht
 Rückenlänge: 500 mm bzw. 481 mm
 Inklination: 6.5 Grad
 Kyphose: 36 mm / 287 mm = 13 %
 Lordose: 20 mm / 194 mm = 11 %
 Max. Kyph, Lord: 130 mm, 384 mm

Abb. 4 Originalausdruck einer Messung im aufrechten Stand (14-jähriger Junge mit unauffälliger Rückenkontur; Krümmungen zur Verdeutlichung um den Faktor 1,5 gespreizt; Details vgl. Text).



die sakralen Winkel W18 und W19, da diese ein Maß der sagittalen Beckenneigung im Raum sind (im Beispiel 22°).

Zur weiteren Orientierung werden die mittels der Markertaste definierten „anatomischen Bezugspunkte“ als schwarze Quadrate zusätzlich in die Kurve eingezeichnet. Es sind beliebig viele Positionen markierbar, im Sinne der Übersichtlichkeit wurde die maximale Anzahl auf 20 Markierungen beschränkt. In Abb. 4 sind drei Positionen markiert: die obere und untere entsprechen der klinisch gefundenen maximalen Kyphose und Lordose; die mittlere definiert den Ort, bei dem klinisch der Wechsel von Kypho- zu Lordosierung lokalisiert wurde.

Bei der graphischen Darstellung wird die Rückenkurve nicht maßstabsgetreu zur tatsächlichen Rückenlänge gezeichnet, vielmehr wird sie auf eine formatfüllende Normlänge gestreckt, wobei die wahre Rückenlänge numerisch angegeben wird. Dies erleichtert den direkten Vergleich der Rückenkurve verschiedener Personen z.B. durch einfaches Übereinanderlegen. Darüber hinaus werden alle sagittalen Krümmungen um den Faktor 1,5 vergrößert dargestellt; auf diese Weise lassen sich auch kleinere Abweichungen und Konturvarianten besser erkennen.

Zur Veranschaulichung zeigt Abb. 4 den Originalausdruck einer Messung bei aufrechter Haltung im Stehen. Bei der Umsetzung der Meßwerte in diese graphische Darstellung wurde größter Wert auf eine möglichst unmittelbar anschauliche Präsentation bei gleichzeitig optimalem Informationsgehalt gelegt. Auf abstrakte Darstellungen der Winkel oder daraus abgeleiteter Größen wurde bewusst verzichtet. Selbstverständlich werden alle Meßwerte im ASCII-Format gespeichert und sind für die wissenschaftliche Auswertung frei abrufbar.

Abb. 5 Rückenkonturen eines gesunden 13-jährigen Mädchens im aufrechten Stand (A) sowie bei maximaler Retroflexion (B) und Antelexion (C) im Stehen (Krümmungen in A und B um den Faktor 1,5 gespreizt). Inklinationen: A = 12°, B = -20°, C = 104°. Rückenlängen: A = 517 mm, B = 462 mm, C = 576 mm. Kyphosierung (mm): A = 22/262, B = 15/119, C = 133/483. Lordosierung (mm): A = 29/239, B = 71/293, C = 0/0.

Ergebnisse bisheriger klinischer Messungen

Die Handhabung der Rückenmaus ist sehr einfach, ein Meßvorgang dauert etwa eine Minute; nach kurzer Übung erhält man valide und reproduzierbare Meßwerte. Die bisher durchgeführten Messungen von acht Untersuchern an ca. 200 Probanden lassen eine kleine intra- und inter-observer-Streubreite erwarten, die hohen Ansprüchen genügt. Der Vergleich mit dem klinischen Befund nach den Kriterien von *Stafel* (vgl. Einführung) ergibt eine befriedigende Korrelation. Der notwendige Vergleich mit den aus Röntgenbildern erhaltenen Rückenkonturen ist für die nahe Zukunft geplant. Da beide Verfahren unterschiedliche Strukturen erfassen (Haut und Weichteile über den Dornfortsätzen bzw. Projektion der knöchernen Wirbelkörper), wird es keine quantitative Übereinstimmung der gemessenen Winkel geben; wir erwarten jedoch vergleichbare Genauigkeit und Reproduzierbarkeit für beide Verfahren.

Zur Veranschaulichung zeigen Abb. 5 u. 6 einen Überblick über die gemessene sagittale Rückenkontur einer gesunden jugendlichen Probandin (13 Jahre) bei den von uns definierten Standardpositionen „stehend aufrecht“, „stehend

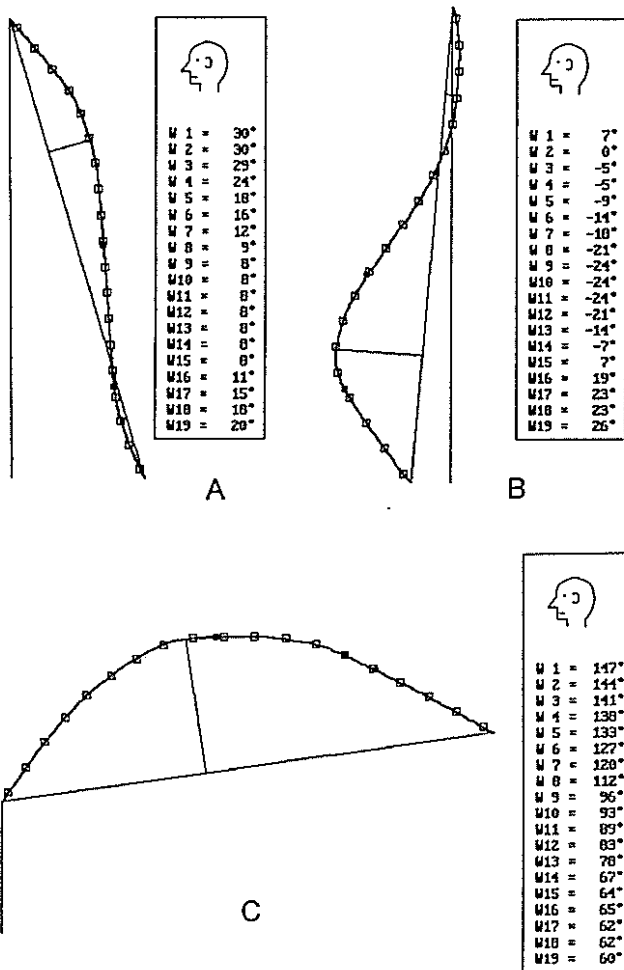


Abb. 6 Rückenkonturen entsprechend Abb. 5, aber im Sitzen auf einem Hocker. Inklinationen: A = 14,5°, B = -5°, C = 98°. Rückenlängen: A = 517 mm, B = 486 mm, C = 572 mm. Kyphosierung (mm): A = 22/262, B = 7/150, C = 131/487. Lordosierung (mm): A = 29/239, B = 51/312, C = 0/0.

retroflex“, „stehend anteflex“, „sitzend aufrecht“, „sitzend retroflex“ und „sitzend anteflex“. Die Beckenbewegung kann leicht von der Wirbelsäulenflexion unterschieden werden, weil der Sakralwinkel (Winkelwerte W18 und W19 in den Abbildungen) mit gemessen wird.

Abb. 5 zeigt deutlich, daß diese Probandin die Retroflexion im Stehen fast ohne Beteiligung der Hüftgelenke ausführt, da die Sakralwinkel und somit die Beckenstellung bei A und B sich kaum verändern. Da auch die BWS-Kyphosierung weitgehend erhalten bleibt, entsteht die Retroflexion von 32° (berechnet als Differenz der Inklinationen, vgl. Legende zu Abb. 5) überwiegend durch extreme Lordosierung der LWS. Die maximale Anteflexion im Stehen (Abb. 5C) beträgt 92° (Differenz der Inklinationen). Das Becken wird dabei um 35° gekippt; die restliche Flexion von 57° entsteht ganz überwiegend durch Kyphosierung der LWS.

Dieselben Messungen im Sitzen auf einem Hocker mit ebener Sitzfläche (Abb. 6) zeigen eine „gute“ aufrechte Sitzhaltung dieser Probandin mit aktiv muskulär gehaltener Lendenlordose. Die Retroflexion (Abb. 6B) ergibt bei

leichter Beckenaufrichtung von 6° eine zusätzliche LWS-Lordosierung von 14°, also deutlich weniger als im Stehen. Bei Anteflexion findet man 42° Beckenkipfung und 42° Wirbelsäulenkrümmung, also eine im Vergleich zum Stehen ebenfalls geringere LWS-Kyphosierung.

Interessant sind auch die gemessenen Rückenlängen (von C7 bis S3): Bei aufrechter Haltung im Stehen ergaben sich 517, bei Retroflexion 462 und bei Anteflexion 576 mm. Im Sitzen lauten die entsprechenden Zahlen 527, 492 und 572 mm. Da die gemessene Rückenlänge nur bei konstantem Anpreßdruck der Rückenmaus auf die Haut vergleichbare Werte ergibt, dürfen diese Zahlen nicht überinterpretiert werden. Falls sich im ausführlichen Methodenvergleich die Zuverlässigkeit auch der Rückenlängenmessung bestätigt, könnte diese in zeitsparender und vorteilhafter Weise herkömmliche Beweglichkeitstests (z. B. Schober, Ott) ersetzen.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel der Rückenmaus demonstriert Abb. 7, in der die Rückenkonturen eines 13jährigen Mädchens im aufrechten Stand und nach 30 Sekunden Stehen mit vorgestreckten Armen (Matthiass-Test) dargestellt sind. Diese Belastung bewirkt bei der Probandin eine deutlich verstärkte LWS-Lordosierung bei unveränderter Beckenstellung; dabei ändert sich die Inklination um 13°. Durch Standardisierung solcher oder ähnlicher Meßvorschriften läßt sich hoffentlich der wichtige Begriff der „Haltungsschwäche“ präzisieren und objektivieren.

Neben diesen diagnostischen Anwendungen bietet die Rückenmaus die einzigartige Möglichkeit der Berechnung und Dokumentation der „mittleren Rückenkontur“ einer Patienten- oder Probandengruppe. Hierzu wurde ein Programm geschrieben, das aus den Rohdaten der Einzelmessungen nach Normierung auf eine Standard-Rückenlänge den Mittelwert berechnet und diesen graphisch und numerisch darstellt. Abb. 8 zeigt diese Möglichkeit am Beispiel der mittleren Rückenkontur von jeweils 10 willkürlich ausgewählten 14jährigen Schülerinnen und Schülern. In diesem Alter sind die geschlechtsspezifischen Haltung Unterschiede bereits deutlich ausgeprägt, nämlich eine stärkere Beckenkipfung und damit eine ausgeprägtere Lordose bei Frauen. Deutlich sind auch die hochgezogene Lordose und die flache Brustkyphose bei den Mädchen zu erkennen. Bei Erwachsenen sind diese geschlechtsspezifischen Unterschiede noch deutlicher, insbesondere der „interskapuläre Flachrücken“ bei Frauen; bei 12jährigen fanden wir dagegen kaum geschlechtsspezifische Haltung Unterschiede.

Zwar handelt es sich hier um allererste Ergebnisse; zweifellos ist diese Mittelwertbildung jedoch von großem Wert für wissenschaftliche Fragestellungen, aber auch als wesentliches Hilfsmittel zur endgültigen Definition des Begriffs der „Haltung“. Damit wird erstmalig die „charakteristische Rückenkontur“ einer bestimmten Patientengruppe meß- und visualisierbar und kann mit dem „Normrücken“ gesunder Probanden verglichen werden.

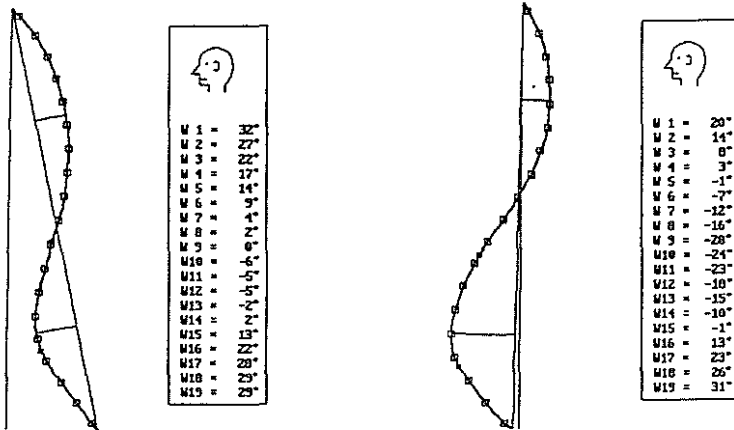
Ausblick

Die bisherigen Erfahrungen mit der Rückenmaus lassen erwarten, daß damit erstmalig ein einfach zu handhabendes System zur validen und objektiven, nichtinvasiven Erfassung der Rückenkontur sowie der globalen und segmentalen Wirbelsäulenbeweglichkeit realisiert wurde. Messungen mit

Haltung: stehend aufrecht
 Rückenlänge: 517 mm bzw. 501 mm
 Inklination: 11.9 Grad
 Kyphose: 22 mm / 262 mm = 8 %
 Lordose: 29 mm / 239 mm = 12 %
 Max. Kyph, Lord: 134 mm, 378 mm

Haltung: Matthiass - Test
 Rückenlänge: 490 mm bzw. 465 mm
 Inklination: -0.8 Grad
 Kyphose: 20 mm / 212 mm = 9 %
 Lordose: 42 mm / 253 mm = 17 %
 Max. Kyph, Lord: 108 mm, 361 mm

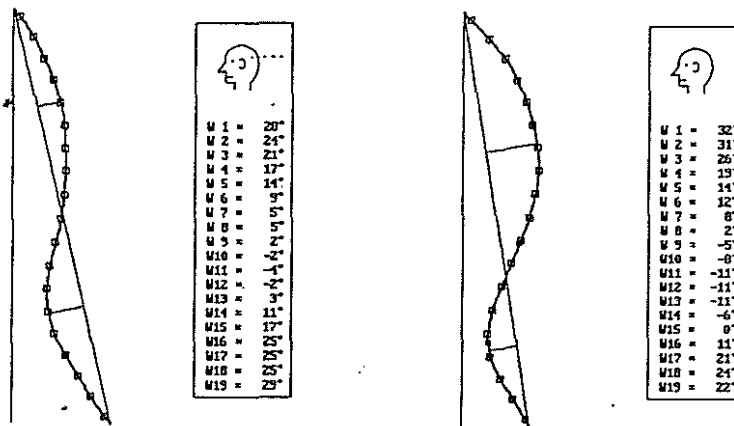
Abb. 7 Haltungsänderung eines 13jährigen Mädchens nach Vorstrecken der Arme für 30 Sekunden (Matthiass-Test).



Name: Mädchen 14 Jahre
 Rückenlänge: 446 mm bzw. 435 mm
 Inklination: 12.9 Grad
 Kyphose: 15 mm / 216 mm = 7 %
 Lordose: 22 mm / 219 mm = 10 %
 Max. Kyph, Lord: 102 mm, 313 mm

Name: Jungen 14 Jahre
 Rückenlänge: 473 mm bzw. 455 mm
 Inklination: 8.8 Grad
 Kyphose: 34 mm / 290 mm = 12 %
 Lordose: 18 mm / 162 mm = 11 %
 Max. Kyph, Lord: 151 mm, 366 mm

Abb. 8 Vergleich der mittleren sagittalen Rückenkontur von jeweils 10 willkürlich ausgewählten 14jährigen Schülerinnen (links) und Schülern. Die geschlechtsspezifischen Haltungsunterschiede sind deutlich erkennbar.



der Rückenmaus erfordern einen minimalen Aufwand, die Ausdrücke sind als dauerhafte, objektive Dokumentation des momentanen Ist-Zustandes von hohem diagnostischen Wert und somit zur Therapieerfolgs- und Verlaufskontrolle bei Patienten mit Rückenschmerzen hervorragend geeignet. Ein nach wie vor ungelöstes Problem ist dabei die Standardisierung des Haltungsauftrags; so reagieren verschiedene Probanden auf dieselbe Aufforderung „aufrecht stehen/sitzen“ individuell ganz unterschiedlich.

Mittels der beschriebenen Mittelwertbildung über Gruppen kann die Hypothese, daß Rückenschmerzpatienten bei sorgfältiger, einheitlicher Diagnose eine spezifisch-pathologische Haltung einnehmen, erstmalig einer validen Prüfung unterzogen werden. Daneben ist diese Möglichkeit der Mittelwertbildung auch für Screening-Untersuchungen der Haltung, z. B. in Schulen durch den Schularzt, äußerst wertvoll. Eine derartige Langzeitstudie an 150 Schülerinnen und Schü-

lern einer Münchner Schule im Alter zwischen 12 und 15 Jahren wird von uns gerade durchgeführt; erste Ergebnisse werden in Kürze publiziert.

Von großem praktischen Interesse sind auch „skoliotische“ Fehlhaltungen und -formen, also die gleichzeitige Erfassung der Wirbelsäulenkontur auch in der frontalen Ebene in einem einzigen Meßvorgang. Die Rückenmaus kann ohne großen Aufwand in diesem Sinne erweitert werden, erforderlich ist lediglich ein modifiziertes Wegstreckenmeßverfahren: Wird das derzeitige Laufrad durch eine Kugel ersetzt, die ganz analog dem bekannten „Trackball“ am PC arbeitet, so sind genaue Wegmessungen in zwei Richtungen möglich. Zusammen mit einer geeigneten Software kann damit ohne Verlust an Anschaulichkeit die zusätzliche Erfassung der Lateralflexion bzw. -deformation bei getrennter Darstellung der sagittalen und frontalen Rückenkontur erreicht werden.

Im Sinne eines weiter reduzierten apparativen Aufwandes ist der Anschluß der Rückenmaus an die standardmäßig vorhandene serielle Schnittstelle des PC leicht realisierbar, so daß ohne Verlust an Kompatibilität auf die ADW-Karte verzichtet werden kann. Eine solche „serielle Rückenmaus“ sollte bei eventueller Serienproduktion, bei der ein ausgezeichnetes Preis-Leistungs-Verhältnis zu erwarten ist, bevorzugt werden.

Wir sind der Meinung, daß die Rückenmaus eine gelungene Synthese aus moderner, computergestützter Technologie und praxisrelevanter klinischer Fragestellung darstellt, die mit minimalem Aufwand und bei leichter Handhabung wichtige, bisher nicht erfaßbare klinische Aspekte der Haltung erschließt. Die Akzeptanz bei Untersuchern und Patienten war bisher ausgezeichnet, so daß die Rückenmaus ein wertvolles diagnostisches Hilfsmittel in Klinik und Praxis des Allgemeinmediziners, Orthopäden, Rheumatologen, Sportmediziners und des Arztes für Physikalische und Rehabilitative Medizin werden kann. Nicht zuletzt sei darauf hingewiesen, daß selbstverständlich auch Physio- und Bewegungstherapeuten die zusätzlichen Möglichkeiten nutzen sollten und daß auch Mitarbeiter der medizinischen Assistenzberufe – nach entsprechender Einweisung – mit den Messungen beauftragt werden könnten.

Es ist geplant, die Rückenmaus als kommerzielles Serienprodukt baldmöglichst der Allgemeinheit zugänglich zu machen. Nähere Informationen sind über den Erstautor erhältlich.

Literatur

- Adams, M. A., H. C. Hutton: The effect of posture on the lumbar spine. *J. Bone Joint Surg.* 67B (1985) 625–629
- Anderson, G. J. B.: The epidemiology of spinal disorders. In: Frymoyer, J. W.: *The Adult Spine: Principles and Practice.* Raven Press, New York (1991) 107–146
- Debrunner, H. U.: Vorrichtung zur Messung des Kyphosewinkels. Deutsches Patentamt, Auslegungsschrift 2303616, 25. 1. 1973
- Devo, R. A., Y. Tsui-Wu: Descriptive epidemiology of low back pain and its related medical care in the United States. *Spine* 12 (1987) 264–268
- Frymoyer, J. W.: Spine radiographs in patients with low back pain. *J. Bone Joint Surg. Am.* 66 (1984) 1040–1055
- Groeneveld, H. B.: Metrische Erfassung und Definition von Rückenform und Haltung des Menschen. *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis*, Bd. 16. Hippokrates, Stuttgart (1976)
- Marras, W. S., F. Fatahah: Accuracy of three dimensional lumbar motion monitor for recording dynamic trunk motion characteristic. *Int. J. Indust. Ergon.* 9 (1992) 75–87
- Matthias, H. H.: Klinische Meßmethoden an der Wirbelsäule. In: *Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis.* Hippokrates, Stuttgart 83 (1979) 23–29
- Milne, J. S., I. J. Lauder: Age effects in kyphosis and lordosis in adults. *Annals of Human Biology* 3 (1974) 327–337
- Murrell, G. A. C., R. W. Coonrad, C. T. Moorman, R. D. Fitch: An assessment of the reliability of the scoliometer. *Spine* 18 (1993) 709–712
- Nachemson, A., G. Elfström: Intravital dynamic pressure measurements in lumbar discs. *Scand. J. Rehab. Med.* 17 (1985) 121–127
- Neugebauer, H., G. Windischbauer: Die Moiré-Topographie: Landkarte des Rückens. *Österreichische Ärztezeitung* 18 (1991) 26–28
- Raspe, Universität Lübeck: Epidemiologie von Rückenschmerzen. Vortrag und persönliche Mitteilung am 2. 12. 1993, München
- Rosemeyer, B.: Die aufrechte Körperhaltung des Menschen. Eine vergleichende Untersuchung. *Z. Orthop.* 112 (1974) 151–159
- Sahlstrand, T.: The clinical value of Moiré topography in the management of scoliosis. *Spine* 11 (1986) 409–417
- Salisbury, P. J., R. W. Porter: Measurement of lumbar sagittal mobility: A comparison of methods. *Spine* 12 (1987) 190–193
- Schober, P.: Lendenwirbelsäule und Kreuzschmerzen. *MMW* 84 (1937) 336–338
- Schulthess, W.: Ein neuer Meß- und Zeichnungsapparat für Rückgratsverkrümmungen. *Zbl. Orth. Chir.* 4 (1887) 102 ff
- Senn, E.: Grundlegende Gedanken zur Haltungsuntersuchung. *Therapiewoche Österreich* 11 (1987) 1104–1112
- Staffel, F.: Die menschlichen Haltungstypen und ihre Beziehung zu den Rückgratsverkrümmungen. Bergmann, Wiesbaden (1889)

Dr. N. Seichert

Klinik für Physikalische Medizin und Rehabilitation
Ludwig-Maximilians-Universität
Marchioninistraße 15
D-81366 München

Weitere Informationen erhalten Sie bei:

Idiag

Chriesbaumstrasse 6, Postfach, CH-8604 Volketswil
Tel. 01-908 58 58, Fax 01-908 58 59