

Kalibrierte Accelerometrie von Körperlage, Bewegung und Tremor im 24-Stunden-Monitoring

J. Fahrenberg, F. Foerster

Psychologisches Institut der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.

Zusammenfassung

Vorgelegt wird eine neue Methode zur kontinuierlichen Erfassung von Tremor, Körperlage und -bewegung mit Hilfe von Bewegungssensoren. Eine Zeit-Frequenz-Analyse liefert Häufigkeit, Amplitude und Frequenz des Tremors, die DC-AC-Dekomponierung der Mehrkanal-Accelerometrie an geeigneten Körperstellen erkennt die aktuelle Körperlage und Bewegung. Auf diese Weise ist es möglich, Tremor auch außerhalb des Labors im täglichen Leben ohne große Beeinträchtigung der Bewegungsfreiheit zu erfassen. Langzeit-Messungen erlauben außerdem eine klinische Evaluation von Tremor im Tagesverlauf sowie der Zusammenhänge zwischen Tremoraktivität, Körperlage und Verhalten des Patienten.

Schlüsselwörter: Ambulantes Monitoring, Accelerometrie, Körperlage, Tremor, Zeit-Frequenz-Analyse

Calibrated accelerometry of posture, motion, and tremor in 24-h-monitoring

J. Fahrenberg, F. Foerster

Abstract

A new method is described which allows continuous quantification of tremor activity, posture, and motion on the basis of accelerometer recordings. The occurrence, amplitude and frequency of tremor were derived by joint time-frequency analysis. In particular, the DC and AC components of multi-channel accelerometry from certain body segments allowed the detection of posture and motion. Tremor activity, therefore, may be assessed outside the laboratory in daily life without impairing free movement. Long-term recordings provide representative data for the clinical evaluation of tremor activity, diurnal changes and, furthermore, relationships between tremor activity and posture and behavior.

Key words: ambulatory monitoring, accelerometry, posture, tremor, joint time-frequency analysis

Neurol Rehabil 2000; 6 (1): 16-18

Einleitung

Die Accelerometrie hat in den letzten Jahren methodische Fortschritte gemacht. Zu den interessanten praktischen Anwendungen gehören die automatische Detektion von Körperlage, von typischen Bewegungsmustern und von Dyskinesien wie dem Tremor. Portable kleine Rekorder ermöglichen kontinuierliche Aufzeichnungen unter Alltagsbedingungen – wie beim ambulanten Monitoring von Blutdruck oder EKG. So kann z. B. die Tremoraktivität während 24 Stunden hinsichtlich Frequenz, Amplitude und zeitlicher Dauer erfaßt und hinsichtlich verschiedener Bedingungen analysiert werden.

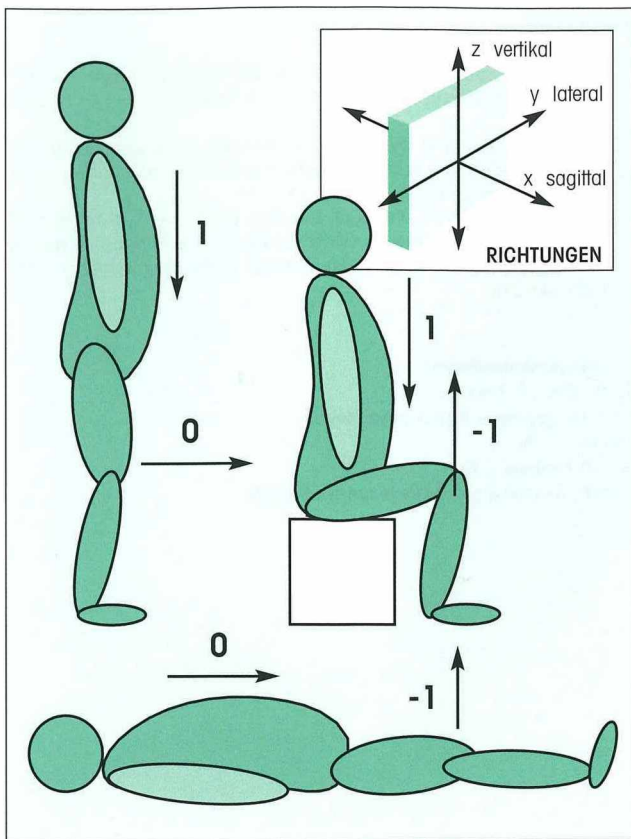
Der methodische Fortschritt hat drei Gründe: Die Einführung piezoresistiver Beschleunigungssensoren und digitaler Meßwertspeicher sowie die Entwicklung spezieller Software, welche dank der hohen Rechenleistung heutiger PC aufwendige Analysetechniken erlaubt.

Im Unterschied zu den herkömmlichen, kaum zu eichenden Sensoren haben die piezoresistiven Beschleunigungssensoren (z. B. ICS 3031 oder ADXL 202) Vorzüge. Es gibt einen breiten Frequenzbereich mit linearer Übertragung.

Wichtiger noch ist, daß am Signaloutput die Lage des Sensors relativ zur Gravitationsachse zu erkennen ist (Inklination 0 Grad +1, 90 Grad 0, 180 Grad -1). Das Signal, das also Informationen über Lage und Beschleunigung enthält, kann im Kliniklabor oder unter Alltagsbedingungen mit einem Meßsystem bzw. einem Monitoringsystem aufgezeichnet werden. Je nach Anzahl der Kanäle, Speicher- rate und Medium (PCMCIA Disk oder Flash Card) kann die Aufzeichnung über 24 Stunden oder länger vorgenommen werden.

Die automatische Detektion von allgemeiner Bewegungsaktivität, Körperlage und bestimmten Bewegungsmustern ist für viele Fragestellungen in der Medizin und Verhaltenswissenschaft wichtig. Mit der herkömmlichen Aktimetrie war nur ein Index der generellen Bewegungsaktivität, z. B. am Arm oder am Unterschenkel, zu gewinnen. Durch kalibrierte Accelerometrie können dagegen die jeweilige Körperlage und typische Bewegungsmuster erkannt werden. Die Meßtechnik ist einfacher als beim EMG.

Die nur wenige Gramm schweren Sensoren werden in einer bestimmten Anordnung auf die Haut geklebt, z. B. am Brustbein (Sternum), am Handrücken und am Oberschen-



kel. Dabei können die einachsig empfindlichen Sensoren kombiniert werden, um sagittale (vorwärts), vertikale und laterale Bewegungskomponenten optimal abzubilden (s. Abb. 1). Die Anordnung hängt vom Untersuchungszweck ab. Die Registrierung erfolgt mit einem ca. 700 Gramm schweren digitalen Meßsystem (Vitaport 2, Vitaport GmbH), das in einer Tasche am Körper getragen wird.

Erst durch die Entwicklung der Software kann dieses Meßsystem richtig genutzt werden, um Körperlage und Bewegungstypen wie Liegen, Sitzen, Stehen, in Bewegung, d. h. Gehen, Treppensteigen, Fahrradfahren, automatisch zu unterscheiden. Diese Detektion von Bewegungsmustern kann durch die Festlegung bestimmter Parameter erfolgen, wie es eine holländische Arbeitsgruppe (Busmann et al.) versucht hat. In Freiburg wurde ein anderer Weg beschritten. Zu Beginn einer Registrierung wird ein Standardprotokoll aufgenommen. Die wichtigsten Positionen und Bewegungsmuster werden hintereinander, jeweils ca. 30 Sekunden lang, aufgezeichnet und später als Referenz für die automatisch erfolgende, *hierarchische Klassifikation* der im Alltag aufgezeichneten Bewegungsabläufe, z. B. mit einer Segmentlänge von 60 Sekunden, verwendet (Abb. 2).

Abb. 1 (links): Die Pfeile kennzeichnen die für die kinematische Analyse wichtigen Richtungen (rechts oben) und die Inklination der empfindlichen Achse des Sensors mit dem erhaltenen Signalwert (links unten)

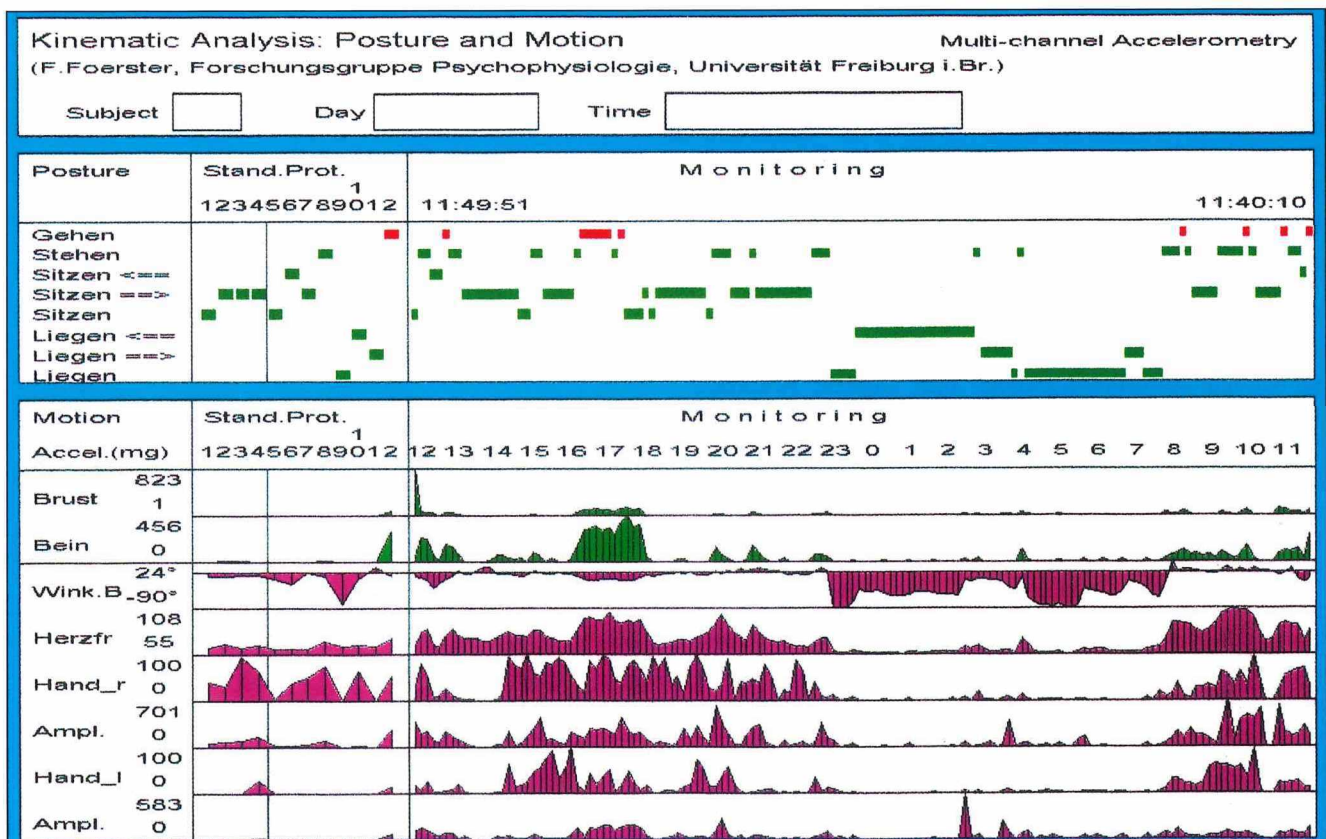


Abb. 2: Das 24-Stunden Protokoll eines Patienten mit Parkinsonkrankheit. Rechts das Standardprotokoll, daran anschließend die Segmente der 24-Stunden-Registrierung, nach Körperlage und Bewegungsmuster klassifiziert. In den Zeilen des Protokolls sind Beschleunigungssignale, Herzfrequenz, Frequenz und Amplitude des Tremors der rechten und der linken Hand dargestellt

Dieses Verfahren ist leicht an die Fragestellung einer Untersuchung anzupassen und wird der *großen Individualität der Bewegungsabläufe* besser gerecht als feste Parameter der Klassifikation. Die kalibrierte Accelerometrie hat sich in drei Validierungsstudien mit mehr als 80 Personen im Vergleich zur Verhaltensbeobachtung sowie bei mehrfacher Wiederholung der Standardprotokolle sehr gut bewährt. Es gab bei einer Konfiguration mit drei Sensoren nur wenige Prozent Fehlklassifikationen. So waren Gehen und Treppensteigen bei einigen Personen nicht gut zu unterscheiden. Die neue Methodik wurde inzwischen erweitert, um eine der häufigsten Bewegungsstörungen, den *Tremor der Parkinsonkranken*, zu messen. Das am Dorsum der rechten und linken Hand abgeleitete Signal wird mit einem modernen Verfahren der Frequenz-Zeit-Analyse (Short Time Fourier Transform) ausgewertet, so daß kontinuierlich Frequenz und Amplitude des Tremors gemessen werden können. Die 24-Stunden Aufzeichnung ermöglicht es dann, die Dynamik des Tremors im Alltag, in Abhängigkeit von Tageszeit, Körperlage, bestimmten Tätigkeiten und anderen Bedingungen zu messen. Abbildung 2 zeigt den typischen Tagesverlauf eines Patienten mit großer Dynamik der rechtsdominanten Tremoraktivität.

Die Freiburger Forschungsgruppe ist auch an den *psychophysiologischen Zusammenhängen* interessiert, denn mentale und emotionale Beanspruchung führt bei vielen Patienten zu einer zeitweiligen Zunahme des Tremors. Deswegen wird hier auch die Herzfrequenz als Indikator körperlicher und psychophysischer Belastung mitregistriert, und die Patienten notieren besondere Ereignisse in einem Tagesprotokoll. Weitere Anwendungen der kalibrierten Accelerometrie sind absehbar:

- genaue kinematische Analyse von Bewegungsabläufen,
- Objektivierung der Effekte tremorlytischer Medikamente,
- Messung und trainingsbezogene Rückmeldung von Bewegungsstörungen in der Rehabilitation bewegungsge störter Patienten.

Langzeitregistrierungen des Tremors wurden von mehreren Autoren publiziert. Verwendet wurden das EMG oder Beschleunigungssensoren, analoge oder digitale Rekorder. Bisher gab es jedoch keine simultane Registrierung von Körperlage und Bewegungsmustern oder von Indikatoren der psychophysischen Beanspruchung als wichtigen Bedingungen.

Die geschilderte Methodik ist für andere Fragestellungen der kinematischen Analyse und für klinische Fragestellungen leicht anzupassen. Das 24-Stunden-Monitoring der Tremoraktivität könnte diagnostisch oder – mit wiederholter Messung – zur Einstellung der Medikation verwendet werden. Da der technische und finanzielle Aufwand sehr viel geringer ist als bei einer Untersuchung im Schlaflabor, eignet sich die Methodik z. B. auch zur Diagnostik und Verlaufskontrolle des restless legs-Syndroms. Im Bereich der neurologischen Rehabilitation bieten sich viele Anwendungsmöglichkeiten, in denen die automatische Detektion und, falls zweckmäßig, Rückmeldung von Bewegungsabläufen nützlich sein könnte.

Literatur

1. Foerster F, Smeja M: Joint amplitude and frequency analysis of tremor activity. *Electromyography Clinical Neurophysiology* 1999; 39: 11-19
2. Foerster F, Smeja M, Fahrenberg J: Detection of posture and motion by accelerometry: a validation study in ambulatory monitoring. *Computers in Human Behavior* 1999; 15: 1-13
3. Smeja M, Foerster F, Fuchs G, Emmans D, Hornig A, Fahrenberg J: 24 hr assessment of tremor activity and posture in Parkinson's disease by multi-channel accelerometry. *Journal of Psychophysiology* 1999; 13: 245-256

Korrespondenzadresse:

Dipl.-Math. F. Foerster
 Forschungsgruppe Psychophysiologie
 Belfortstr. 20
 79085 Freiburg i. Br.
 e-mail: foerster@psychologie.uni-freiburg.de