

Echtzeit- und nichtinvasive Messung und 3D-Darstellung der Bewegung eines menschlichen Gelenks mit sechs Freiheitsgraden

Mesqui, F. (Zürich), Palla, S., Kaeser, F., Fischer, P.

Zahnärztliches Institut und Institut für Biomedizinische Technik, Universität Zürich

EINLEITUNG

Die Kenntnis der Relativbewegungen von artikulierten Körperteilen während motorischer Aktivität nimmt in der Biomechanik immer mehr an Bedeutung zu. Aus den Bewegungen sollen klinisch brauchbare Parameter gefunden werden, welche die diagnostische Unterscheidung zwischen einer normalen und einer anormalen motorischen Funktion sowie die Quantifizierung der Fortschritte einer Therapie ermöglichen.

Ein zentrales Problem der Zahnheilkunde ist die Erfassung der Unterkieferbewegungen. Zwar existieren seit vielen Jahren verschiedene Registrierungsverfahren, die jedoch recht invasiv und für den klinischen Einsatz problematisch sind. Ferner können mit den meisten Messmethoden die Bewegungen eines beliebigen Unterkieferpunktes nicht registriert werden, was somit beispielsweise die Charakterisierung der Kiefergelenkbewegungen verunmöglicht. Eine Ausnahme bildet das in (1) beschriebene Messverfahren, welches aber wegen der Messumformerfixierung an den oberen und unteren Zähnen die Zahnbeweglichkeit und Unterkieferdeformierbarkeit beeinträchtigt.

Mit dem Fortschreiten der Sensorik und der elektronischen Technik ist es möglich geworden, die Registrierung eines beliebigen Unterkieferpunktes unter minimaler Beeinträchtigung der Funktion zu registrieren.

REGISTRIERUNG EINES UNTERKIEFERPUNKTES

Die Beschreibung der Lage eines starren Körpers im Raume erfordert die Messung seiner sechs Freiheitsgrade, die aus den Koordinaten von mindestens drei Körperpunkten bestimmt werden können. Durch Messung von drei Referenzpunkten am Unterkiefer ist es also möglich, die Bewegung eines beliebigen Unterkieferpunktes zu berechnen, wenn dessen Abstand zu den drei Referenzpunkten bekannt ist. Da die Bewegungsfreiheit des Kopfes nicht beeinträchtigt werden darf, müssen dessen sechs Freiheitsgrade ebenfalls erfasst werden. Dies erlaubt die Registrierung der Unterkieferbewegung in einem

kopffesten Koordinatensystem. Dieses Messverfahren wurde ursprünglich in (2) mit je drei an den Kiefern befestigten extraoralen Leuchtdioden ausprobiert, deren Lage mittels Stereokineematographie registriert wurde. Das Verfahren war aber durch die Filmentwicklung und -auswertung in seiner klinischen Anwendbarkeit sehr begrenzt. Ausgehend von diesen Erfahrungen entwickelten wir ein ähnliches Messverfahren mit einem kommerziell erhältlichen optoelektrischen Mess-System (SELSPOT I), das die Gangbarkeit der Methode ohne Film zeigte. Jedoch erwies sich auch dieses Registrierungsverfahren aufgrund der sehr rechenintensiven und zeitaufwendigen Auswertung der Signale für die Klinik als unbrauchbar (3). Es wurden daher neue Wege gesucht, um diese an und für sich kaum invasive Methode zu vereinfachen.

Im neuen Pflichtenheft wurden neben der Bedienungsfreundlichkeit und Zuverlässigkeit die Echtzeitauswertung und -darstellung eines beliebigen Unterkieferpunktes angestrebt. Bei diesem Messverfahren trägt der Patient zwei an den labialen Flächen zweier Frontzähne fixierte, sehr leichte Bügel (2g), die als Halterung für je drei Leuchtdioden dienen. Drei selbstentwickelte eindimensionale Videokameras, die aus je einer Zylinderlinse und einem Optosensor mit 2048 linear angeordneten Photodioden (CCD) bestehen, registrieren die Position der Leuchtdioden. Die Photodioden liefern ein zu der eintreffenden Lichtmenge proportionales Videosignal. Durch Detektion des Maximums im Videosignal jeder Kamera kann die Lage der durch die Zylinderlinse auf den Sensor fokussierten Objektklinie einer Leuchtdiode bestimmt werden. Um Verwechslungen zwischen den zu jeder Leuchtdiode gehörigen Maxima zu vermeiden, werden die Dioden kurzzeitig (2ms) und nacheinander gepulst. Die drei Maximalagen jeder Leuchtdiode werden einer Rekonstruktionseinheit zugeführt, die innert 800µs die dreidimensionale Lage der entsprechenden Diode berechnet. Nachdem die räumlichen Lagen der sechs Dioden ermittelt wurden, errechnet eine zweite Einheit die sechs Freiheitsgrade des Kopfes und des Unterkiefers und transformiert die Koordinaten eines vorgewählten Unterkieferpunktes in einem kopffesten Koordinatensystem innert 14 ms. Eine

dritte Einheit sorgt für die perspektivische dreidimensionale Darstellung der Bahnen auf einem Bildschirm. Die dargestellte Information kann beliebig rotiert und vergrößert werden. Jede Einheit ist um einen 16bit Mikroprozessor TMS9995 aufgebaut, wobei die erste zusätzlich mit einer 64bit Multiplizier- und Dividiereinheit und die zweite mit einem Gleitkommaprozessor arbeitet.

Die Präselektionierung des zu registrierenden Unterkieferpunktes kann mittels zwei grundsätzlich verschiedenen Verfahren erfolgen, und zwar entweder direkt am Patienten mittels einer Markierspitze, welche einen Bügel mit drei Leuchtdioden trägt, oder mittels einer dreidimensionalen Abtastvorrichtung auf einem Abdruck des Patienten. Diese Art von Punktvorwahl hat den Vorteil, dass jegliche Koordinateneingabe entfällt und somit allfällige Fehlerquellen vermieden werden.

RESULTATE

Die theoretische Auflösung des beschriebenen Messgerätes beträgt 0,07 mm. Genauigkeitsuntersuchungen ergaben einen maximalen Fehler von 0,1 mm auf einem Feld von 14 cm. Das System weist eine sehr hohe Linearität auf, die durch die Wahl der Sensoren bedingt ist. Es ist vollständig autonom und, trotz der Komplexität der Mess- und Darstellungsmethode, preisgünstig und sehr einfach zu handhaben.

LITERATURQUELLEN

(1) Cannon, D.C., Reswick, J.B., and Messer-mann, T.: Instrumentation for the Investigation of Mandibular Movements. Engineering Design Center Report, EDC-4-64-8, Cleveland, 1964, Case Western Reserve University.

(2) Erdman, A.G.: Experimental Motion Analysis via a Stereo-Photography Technique: Application to the Human Jaw and Mechanical Linkages. ASME Paper No. 75-DET-58.

(3) Mesqui, F.: Optoelectronic (SELSPOT) Mandibular Movement Measurement and Description with 6 Degrees of Freedom of the Human Jaw Motion. Proceedings of the Fourth Meeting of the European Society of Biomechanics, Davos, Sept. 1984.