

Diagnose an der Wirbelsäule per Knochenkino¹

Stephen Ferguson^a, Paul Thistlethwaite^a, Patrick Roth^b, Anne Mannion^c

^a Institut für Chirurgische Technologien und Biomechanik, Universität Bern, Bern

^b Competence Center for Medical Technology, Bern

^c Schulthess Klinik, Zürich



Nationales Forschungsprogramm NFP 53
«Muskuloskeletale Gesundheit –
chronische Schmerzen»

Hintergrund

Kreuzschmerzen gehören zu den am häufigsten diagnostizierten medizinischen Problemen unserer Gesellschaft. Laut Schätzungen leiden 50% bis 85% der Bevölkerung mindestens einmal im Leben an Problemen im unteren Rückenbereich. Solche Beschwerden sind oft mit Einschränkungen der Bewegungs- und Arbeitsfähigkeit verbunden und führen zu hohen finanziellen Belastungen des Gesundheitssystems. Allein in den USA werden die jährlichen Kosten auf 15 bis 50 Mrd. Dollar geschätzt. Chronische Kreuzschmerzen stellen ausserdem ein komplexes Phänomen dar, an dem mechanische, biochemische und psychosoziale Faktoren beteiligt sind. Als eigentliche Auslöser des Schmerzes gelten insbesondere mechanische Einflüsse.

Entstehen chronische Rückenschmerzen aufgrund mechanischer Wirkungen spricht man oft von «klinischer Instabilität» [1]. Definiert wird dieses Krankheitsbild als Verlust der normalen Bewegungsfähigkeit der Wirbelsäule unter Belastung, ohne dass gleichzeitig neurologische Störungen, von aussen sichtbare Deformationen oder paralyisierende Schmerzen festzustellen sind [2]. Die anatomische Ursache dieser «Instabilität» ist unklar. Und wirksame Methoden zur Identifikation von Risikogruppen sowie angemessene Behandlungsstrategien müssen noch weiter entwickelt werden. Für die Diagnostik wurden Verfahren auf der Basis von Messungen der Wirbelsäulenbewegung in drei Dimensionen vorgeschlagen. Derzeit gibt es aber keine nichtinvasive Methode, die für eine Anwendung bei der Mehrheit der Patienten in Frage käme.

Zielsetzung

Um die Beweglichkeit der Wirbelsäule zu messen, kann man heute auf verschiedene Verfahren zurückgreifen:

- die Beurteilung herkömmlicher Röntgenbilder,
- die Ermittlung des Bewegungsumfanges durch Winkelmessgeräte anhand von Markern auf der Haut oder von Pins, die auf den Knochen chirurgisch befestigt worden sind,
- CT- und MRI-Bildgebung,
- dynamische Fluoroskopie basierend auf bildverstärkten Röntgenaufnahmen.

Der Nachteil dieser Methoden ist, dass sie meistens auf Analysen in zwei Dimensionen beschränkt sind [3]. Ausserdem erfassen sie nur die Endpunkte der Bewegung und sind oft mit erheblichen Fehlern behaftet.

Im vorliegenden Projekt – durchgeführt im Rahmen des NFP53 – haben wir primär zwei Ziele verfolgt:

- die Entwicklung und Validierung einer präzisen, nichtinvasiven *In-vivo*-Messmethode zur dynamischen Er-

fassung der dreidimensionalen Bewegung der Wirbelsäule mittels Video-Fluoroskopie,

- Zusammenhänge aufzeigen zwischen der Abnutzung oder Verletzung individueller anatomischer Wirbelstrukturen und Schmerz-Mechanismen, die möglicherweise durch eine Übermobilität der Wirbelsäule verursacht werden.

Methode

Unsere neuen nichtinvasiven *In-vivo*-Messungen der Wirbelsäulenbewegung basieren auf der Analyse dynamischer Videofluoroskopie-Bildsequenzen. Diese werden registriert, während der Patient vorgeschriebene Bewegungsabläufe vollzieht. Meistens werden für die Bewegungsanalyse von Gelenkprothesen biplanare Röntgenaufnahmen verwendet. Demgegenüber nutzt die neue Methode einen einzigartigen 2D-3D-Bildverarbeitungsprozess, der den Bewegungsablauf mit einem einzigen Bildverstärker erfasst. Es war uns ein besonderes Anliegen, die Methode so weit zu optimieren, dass die Bewegungsabläufe praktisch in Echtzeit evaluiert werden können. Damit das möglich ist, vergleicht ein Mustererkennungssystem die Umrisse der Wirbelkörper in den Fluoroskopiebildern mit einem dreidimensionalen CT-Datenset der Wirbelsäule jedes Patienten (Abb. 1 .

Resultate

Die neue Analysemethode läuft weitgehend automatisiert ab. Sie liefert erstmals eine dynamische, vollständig dreidimensionale Beschreibung der Wirbelsäulenbewegung – Rotation und Verschiebung der Wirbelkörper gegeneinander. Ein vergleichbares Ergebnis konnte bisher nur mit Hilfe von Markern erzielt werden, die chirurgisch auf den Wirbeln befestigt waren. Um die Genauigkeit der kinematischen Analyse zu validieren, führten wir Experimente an Kadavern durch. Dank der neuen Methode konnte die kinematische Genauigkeit gegenüber dem Goldstandard – den knochenverankerten Referenzmarkern – erheblich gesteigert werden (rund $\pm 0,4^\circ$, $\pm 0,4$ mm). Die durchschnittliche Analysezeit betrug weniger als 1,2 Sekunden pro Bild.

Bei zusätzlichen Untersuchungen verglichen wir den Bewegungsspielraum von normalen und geschädigten Kadaver-Wirbelsäulen. Daraus ergaben sich Ansatzpunkte für weiterführende kinematische Messungen. Zudem

1 Analyse der Wirbelsäulenbewegung für die Behandlung von Rückenschmerzen. Projektnummer: 405340-104681.

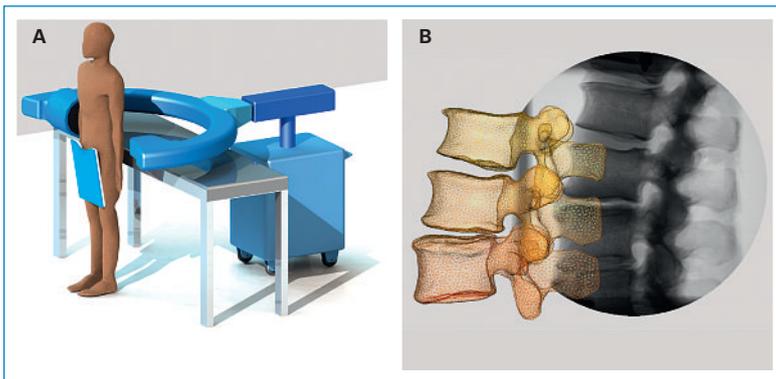


Abbildung 1

Nichtinvasive In-vivo-Messungen der Wirbelsäulenbewegung basieren auf der Analyse dynamischer Videofluoroskopie-Bildsequenzen, die während vorgeschriebenen Bewegungsabläufen aufgenommen werden (A). Ein Mustererkennungssystem vergleicht die Umrisse der Wirbelkörper in den Fluoroskopiebildern mit einem dreidimensionalen CT-Datensatz der gesamten Wirbelsäule jedes Patienten und liefert eine dynamische, vollständig dreidimensionale Beschreibung der Wirbelsäulenbewegung (B).

prüfen wir das Potential zukünftiger dynamischer Wirbelimplantate, die zum Erhalt und zur Kontrolle der Wirbelbeweglichkeit eingesetzt werden könnten. Dazu vergleichen wir die Qualität und den Grad der erreichten Stabilität mit den Werten heutiger Implantate.

Es stellte sich heraus, dass verletzte Wirbel unter Druck «blockieren» und abnormale, uneinheitliche Bewegungsachsen aufweisen. Hohe Scherkräfte führten zu starken Verschiebungen insbesondere bei Streckbewegungen. Diese Bewegungsmuster üben mit hoher Wahrscheinlichkeit schmerzhaften Druck auf periphere Nervenstrukturen aus. Deshalb bilden sie die Grundlage, um krankhafte Wirbelbewegungen identifizieren zu können.

Praktische Schlussfolgerung

Die neu entwickelte Methode kann in jeder Klinik eingesetzt werden, die über ein Fluoroskopiegerät verfügt. Im Vergleich zu den gebräuchlichen biplanaren Röntgenverfahren ist unser Ansatz mit einer deutlich reduzierten Strahlenbelastung verbunden. Ausserdem erlaubt er einen höheren Bewegungsumfang während Messung und Evaluation.

Weil die Messmethode nichtinvasiv ist, können mehr Patienten untersucht und in Kohortenstudien mit gesunden Menschen verglichen werden. Schmerzhaftes Bewegungsmuster und wirksame Behandlungsmethoden lassen sich so besser identifizieren, klinische Folgeuntersuchungen werden erleichtert.

Bereits war ein ähnlicher Ansatz erfolgreich bei der 3D-Ganganalyse von Patienten mit künstlichen Gelenken, insbesondere bei der Diagnose und der Nachfolgebe-

handlung. Zudem dürfte die Identifikation der charakteristischen Bewegungsmuster einer «durchschnittlichen Bevölkerung» das Design und die Evaluation neuer Disc-Prothesen begünstigen.

Ausblick

Es ist anzunehmen, dass die von uns entwickelte Methode in Zukunft immer seltener angewendet werden kann. Und zwar deshalb, weil in der Diagnose von Erkrankungen an der Wirbelsäule zunehmend MRI- statt CT-Bildgebung zum Einsatz kommt. Deshalb passen wir das Prozedere nun in einer Kollaboration mit der University of British Columbia so an, dass anstatt der CT-Daten dreidimensionale MRI-Datensätze verwendet werden können. Dadurch wird die Strahlenbelastung des Patienten noch viel stärker reduziert – wenn auch die Bearbeitung der MRI-Daten aufwendiger ist.

Eine vollständig nichtinvasive Messmethode zur Bestimmung der 3D-Wirbelbewegung wird das Verständnis des komplexen Wechselspiels zwischen Bewegung, Schmerzen und klinischen Ergebnissen verbessern. Weiterführende klinische Studien sind denkbar. So könnte zum Beispiel erforscht werden, wie Veränderungen der Wirbelsäulenbeweglichkeit und Erkrankungen der lumbalen Wirbelsäule zusammenhängen (z.B. Bandscheibengeneration oder Arthrose der Facettengelenke).

Geplant ist auch die Erforschung von Methoden für den Nachweis von Pseudarthrosen oder der Hypermobilität angrenzender Segmente nach einer Fusion. Von Nutzen ist auch die genaue Quantifizierung der Restbewegung nach der Implantation eines dynamischen Fixateurs oder einer Disc-Prothese. Diesen letztgenannten Ansatz haben wir zu einer separaten Applikation entwickelt. Er wird derzeit anhand von klinischen Daten validiert und soll im nächsten Jahr eingeführt werden.

Die wichtigste Botschaft

Um die Beweglichkeit der Wirbelsäule zu messen, kommen heute meistens zweidimensionale Verfahren der Bildgebung zum Einsatz. Eine neue, nichtinvasive Methode stellt die Wirbelsäulenbewegung dreidimensional, präzise und fast in Echtzeit dar – und das erst noch bei geringerer Strahlenbelastung für den Patienten.

Korrespondenz:

PD Dr. Stephen J. Ferguson
Institut für Chirurgische Technologien
und Biomechanik
Universität Bern
CH-3014 Bern
stephen.ferguson@artorg.unibe.ch

Literatur

- 1 Nachemson AL. Advances in low-back pain. Clin.Orthop. 1985;200:266–78.
- 2 White AA, Panjabi MM. In: White AA, Panjabi MM, eds. Clinical Biomechanics of the Spine. 2nd ed. Philadelphia: JB Lippincott; 1991.

- 3 Liu F, Cheng J, Komistek RD, Mahfouz MR, Sharma A. In vivo evaluation of dynamic characteristics of the normal, fused, and disc replacement cervical spines. Spine. 2007;32:2578–84.