

**Zeitschrift:** Physioactive  
**Herausgeber:** Physioswiss / Schweizer Physiotherapie Verband  
**Band:** 45 (2009)  
**Heft:** 5

**Artikel:** Ein Instrument, das die Schulterbewegungen präzise misst = Une instrument qui mesure les mouvements de l'épaule avec précision  
**Autor:** Jolles, Brigitte  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-928834>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Ein Instrument, das die Schulterbewegungen präzise misst

### Un instrument qui mesure les mouvements de l'épaule avec précision

PROF. BRIGITTE JOLLES ET AL.

Einem Forschungsteam in Lausanne ist es gelungen, ein Gerät zu entwickeln, das die Schulterbewegungen präzise misst und diese zudem auch über mehrere Stunden im Alltag aufzeichnen kann. Ärzte und Physiotherapeuten können dadurch gezielter behandeln und die Ergebnisse objektiv überprüfen.

Ein Instrument zu entwickeln, welches die funktionellen Schulterbewegungen in realen Situationen misst, dies war das Ziel eines grossen interinstitutionellen Forschungsprojekts in Lausanne (*siehe Kasten*). In der Regel werden die funktionellen Fähigkeiten des Schulter-Gelenkkomplexes hauptsächlich anhand von Fragebögen beurteilt, mit denen Parameter wie Schmerz, Aktivitäten oder Partizipation des Patienten<sup>1</sup> erfasst werden. Dabei können die Ergebnisse beeinflusst werden, etwa durch die Interpretation der Fragen durch den Patienten, durch dichotome Antworten (ja/nein) oder auch durch die psychische Verfassung des Patienten beim Ausfüllen des Fragebogens.

Die subjektiven Angaben werden durch so genannt objektive Messwerte ergänzt, wie etwa den Bewegungsumfang der Gelenke oder die Muskelkraft, welche der Kliniker (Arzt oder Physiotherapeut) erhebt.

Dieses Vorgehen hat grundsätzliche Nachteile: Die subjektiven und semi-objektiven Daten können nur schwierig miteinander in Korrelation gesetzt werden, je nach verwendetem Score ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse und es fehlt ein international anerkannter Goldstandard-Test [1]. Darüber hinaus berücksichtigt keins dieser Instrumente den Parameter «Zeitdauer» bei der Ausführung der Bewegungen.

Un groupe de chercheurs de Lausanne a réussi à développer un appareil qui mesure les mouvements de l'épaule avec précision et qui peut même les enregistrer pendant plusieurs heures au cours de la journée. Ainsi, médecins et physiothérapeutes peuvent proposer des traitements plus ciblés et mieux en mesurer les résultats.

Developper un instrument qui mesure l'activité fonctionnelle de l'épaule en situation réelle, tel était l'objectif d'un important projet de recherche interinstitutionnel mené à Lausanne (*cf. encadré*).

Habituellement, les capacités fonctionnelles liées au complexe articulaire de l'épaule sont évaluées à l'aide de questionnaires explorant des dimensions comme la douleur, les activités ou la participation du patient à la vie sociale. Dans ce



Abb. 1: Der Physilog® mit seinen drei Inertialsensoren. | Fig. 1: Le Physilog® et ses 3 capteurs inertiels.

<sup>1</sup> Im vorliegenden Text wurde die männliche Form verwendet. Diese impliziert jedoch auch die weibliche Form.

#### Ein Projekt des Interinstitutionellen Zentrums für translationale Biomechanik

Das Projekt «Messung der funktionellen Bewegungsabläufe der Schulter bei Tätigkeiten des täglichen Lebens» im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «NFP 53 – Muskuloskelettale Gesundheit – chronische Schmerzen» wurde von April 2004 bis Juli 2009 am CBT (Interinstitutionelles Zentrum für translationale Biomechanik EPFL-CHUV-DAL) in Lausanne unter der Leitung von Professorin Brigitte Jolles durchgeführt. Es ist eine Zusammenarbeit zwischen dem Labor für Bewegungsanalyse und -messung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne LMAM-EPFL (Prof. K. Aminian), der Abteilung Orthopädische Chirurgie und Traumatologie am Universitätsspital des Kantons Waadt CHUV-DAL (Prof. A. Farron) und der Kantonalen Fachhochschule Waadt für Gesundheit – Fachbereich Physiotherapie (Profs. FH C. Pichonnaz und J.-Ph. Bassin).

#### Un projet du Centre interinstitutionnel de biomécanique translationnelle

Le projet «Mesure de l'activité fonctionnelle de l'épaule au cours des activités de la vie quotidienne» a été mené dans le cadre du Programme national de recherche «PNR 53 – Santé musculo-squelettique – douleurs chroniques» entre avril 2004 et juillet 2009.

Ce projet a été conduit au sein du CBT (Centre interinstitutionnel de biomécanique translationnelle EPFL-CHUV-DAL) (Prof. B. Jolles) dans le cadre d'une collaboration entre le Laboratoire de Mesure et d'Analyse des Mouvements de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (LMAM-EPFL) (Prof. K. Aminian), le Service de Chirurgie Orthopédique et de Traumatologie du Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV-DAL) (Prof. A. Farron) et la Haute Ecole Cantonale Vaudoise de la Santé – Filière Physiothérapie (MM. C. Pichonnaz et J.-Ph. Bassin, Professeurs HES).

Seit mehreren Jahren wird daran geforscht [2–7], ein Instrument zur wirklich objektiven Evaluation der funktionellen Bewegungen der Schulter (ohne Einfluss des Patienten oder des Klinikers) zu entwickeln, das nicht auf einem Fragebogen beruht.

#### Minisensoren registrieren die Bewegungen der Schulter

Bei dem hier vorgestellten Verfahren kommt ein tragbares Gerät mit dreidimensionalen kinematischen<sup>2</sup> Mini-Sensoren zur Anwendung. Es hat den Vorteil, über einen Zeitraum von mehreren Stunden wirklich objektive Messwerte der Bewegungen der Schulter während der Alltagsaktivitäten des Patienten zu liefern. Anschliessend werden verschiedene Parameter berechnet, um den funktionellen Einsatz der Schulter quantitativ zu erfassen [8, 9].

Das Projekt wurde in mehreren Phasen umgesetzt:

- In einer ersten Phase im Labor wurden aus neun Bewegungstests auf der Basis des Simple Shoulder Tests (SST)<sup>3</sup> drei kinematische Scores erarbeitet [8, 9].
- In einer zweiten Phase wurden über einen ganzen Tag Langzeitmessungen unter Alltagsbedingungen durchgeführt, ohne spezielle Anweisungen in Bezug auf die Bewegung. Diese Aufzeichnungen hielten die *alltäglichen und spontanen funktionellen Bewegungsabläufe* des Patienten fest. Mithilfe der gewonnenen Daten war es möglich, den Einsatz der oberen Extremitäten des Patienten quantitativ zu erfassen und unter anderem präzise die bei den Alltagsaktivitäten *dominante Seite* zu bestimmen [10].

cas, le résultat peut être influencé par la manière dont le patient<sup>1</sup> interprète l'item, par des réponses dichotomiques (oui/non) ou encore par l'état psychologique du patient au moment de compléter le questionnaire. Ces données sont complétées de mesures dites objectives telles que les amplitudes articulaires ou la force musculaire, effectuées par des cliniciens (médecin ou physiothérapeute). Les inconvénients principaux de ces approches résident dans la difficulté de corréler ces données subjectives et semi-objectives, l'apport de résultats différents selon le score utilisé et l'absence de test «gold standard» reconnu au niveau international [1]. De plus, aucun de ces outils ne prend la notion de durée de réalisation des mouvements en compte.

Depuis plusieurs années, des recherches [2–7] on été menées afin d'évaluer les mouvements fonctionnels de l'épaule de manière vraiment objective (sans influence du patient ou du clinicien), en utilisant d'autres outils que des questionnaires.

#### Des mini-senseurs enregistrent l'activité de l'épaule

La méthode proposée ici utilise un appareil portable équipé de capteurs cinématiques<sup>2</sup> tridimensionnels miniaturisés. Elle présente l'avantage de fournir des mesures réellement objectives des mouvements de l'épaule, effectués durant plusieurs heures et au cours des activités quotidiennes du patient. Différents paramètres sont alors calculés pour quantifier l'utilisation fonctionnelle de l'épaule [8, 9].

<sup>2</sup> Die Kinematik (gr.: *kinema*, Bewegung) ist die Lehre der Bewegung von Punkten und Körpern im Raum.

<sup>3</sup> Der «Simple Shoulder Test» nach Matsen [14] ist ein Selbstbeurteilungsfragebogen zur Schulter. Zwölf Fragen zu den Aktivitäten des täglichen Lebens ermöglichen es, die Funktion der Schulter zu evaluieren.

<sup>1</sup> La forme masculine a été utilisée dans ce texte mais elle sous-entend également la prise en considération de la forme féminine.

<sup>2</sup> La cinématique (gr.: *kinema*, mouvement) est l'étude du mouvement de points et de corps dans l'espace.

Auch die *Arbeitshöhe* [11] wurde anhand der Gelenk-amplitude beim Anheben des Humerus bestimmt. Schliesslich wurde die am Humerus gemessene Winkelgeschwindigkeit genutzt, um die *Art der ausgeführten Bewegung* (Flexion/Extension, Abduktion/Adduktion, Innen-/ Aussenrotation) sowie deren *Frequenz* und *relative Geschwindigkeit* (langsam, mittel, schnell) zu ermitteln [12, 13].

- Die derzeit noch laufende dritte Phase beinhaltet elektromyographische Messungen (EMG) zur Betrachtung der Muskelaktivität, die der Proband während einer Bewegung entwickelt (zum Beispiel Tragen einer Last). Die elektromyographischen Ergebnisse werden dann zu den kinematischen Parametern in Beziehung gesetzt.

### Hightech in einer «Zigaretenschachtel»

Das verwendete Gerät, ein Physilog® (BioAGM SA), besteht aus drei kleinen Inertialmodulen, die am Sulcus jugularis (Drosselrinne), am Acromion und am distalen Humerus befestigt werden (Abbildung 1 und 2). Die Module enthalten jeweils ein kleines 3D-Gyroskop und einen kleinen 3D-Beschleunigungssensor<sup>4</sup>, welche die Beschleunigung und die Winkelgeschwindigkeit der Knochenabschnitte messen (Abbildung 3). Es werden gleichzeitig zwei Geräte eingesetzt, um die Bewegungen beider Schultern messen und in Korrelation setzen zu können.

Für die laufende dritte Phase wird ein tragbares EMG-Gerät mit sechs Sensoren verwendet. Die Oberflächenelektroden werden bilateral am oberen Trapezius, am Deltoideus und am Bizeps angebracht.

Die Geräte haben jeweils etwa die Grösse einer Zigaretten-schachtel. Sie werden in einer um die Taille befestigten Tasche unter der Kleidung getragen. Die Geräte zeichnen die Daten auf Speicherkarten. Die Betriebsdauer erlaubt, einen ganzen Tag lang aufzuzeichnen.

### Studie an Patienten mit operativ behandelten Rotatoren-manschetten-Läsionen

Das Verfahren wurde zunächst an einer Kontrollgruppe aus 10 gesunden Probanden mit verschiedenem beruflichem Hintergrund sowie 10 Patienten mit einer dokumentierten Läsion der Rotatorenmanschette validiert. Anschliessend wurde es bei einer Kontrollgruppe aus 31 gesunden Probanden<sup>5</sup> und bei einer Gruppe mit 12 Patienten mit einer Läsion der Rotatorenmanschette angewendet, welche operativ behandelt wurde.<sup>6</sup>

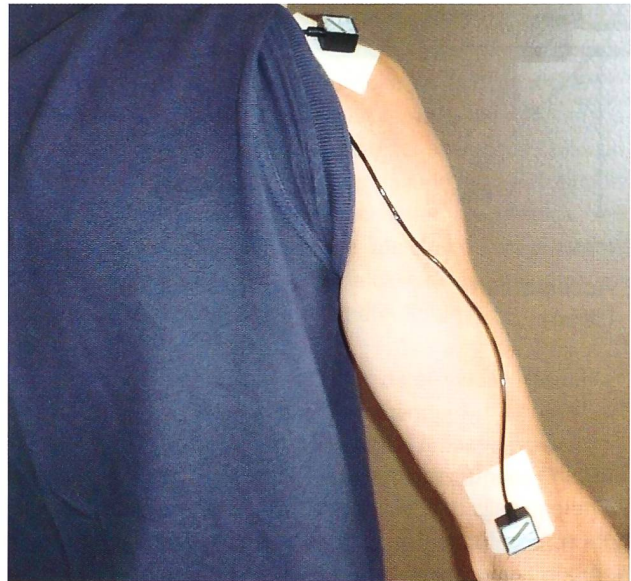


Abb. 2: Die Acromion- und Humerus-Sensoren. | Fig. 2: Capteurs sur l'acromion et l'humérus.

Ce projet a été réalisé en plusieurs phases:

- Une première partie, réalisée en laboratoire, a consisté à élaborer trois scores cinématiques [8, 9] à partir de neuf mouvements-tests basés sur le Simple Shoulder Test (SST)<sup>3</sup>.
- Une seconde phase a consisté à effectuer des mesures de longue durée, représentative des *gestes fonctionnels quotidiens et spontanés* durant toute une journée de vie habituelle du patient, sans consigne particulière de mouvement. Les données obtenues ont permis de quantifier l'utilisation des membres supérieurs du sujet et par conséquent de déterminer avec précision *le côté dominant* dans les activités quotidiennes [10]. *Le niveau d'activité* [11] a également été déterminé selon l'amplitude articulaire d'élévation de l'humérus dans l'espace. Finalement, la vitesse angulaire mesurée sur l'humérus a été utilisée pour identifier *le type de mouvement réalisé* (flexion/extension, abduction/adduction, rotation interne/externe), ainsi que *sa fréquence et sa vitesse relative* (lent, moyen, rapide) [12, 13].
- Une troisième phase, en cours de réalisation, inclut des mesures électromyographiques (EMG) afin de prendre en compte le paramètre d'activité musculaire développée par le sujet lors de la réalisation d'un mouvement (port de charge par exemple) et à les mettre en relation avec les paramètres cinématiques.

<sup>4</sup> Die Beschleunigungssensoren messen die lineare Beschleunigung, Gyroskope die Winkelbeschleunigung.

<sup>5</sup> Alter: 38 Jahre  $\pm$  10, Geschlecht: 17 ♂ und 14 ♀, Lateralisation: 23 Rechtshänder und 8 Linkshänder.

<sup>6</sup> Alter: 57 Jahre  $\pm$  8, Geschlecht: 9 ♂ und 3 ♀, 11 Rechtshänder und 1 Linkshänder, pathologische Seite: 6 auf der dominanten Seite und 6 auf der nichtdominanten Seite

<sup>3</sup> Le Simple Shoulder Test (SST) de Matsen [14] est un questionnaire autoadministré d'évaluation subjective de l'épaule, reposant sur 12 questions concernant les activités de la vie quotidienne, qui permet d'évaluer la fonction de l'épaule du patient.

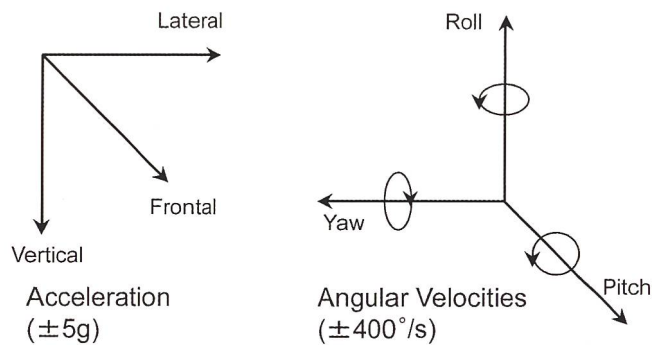


Abb. 3: Die Achsen der Beschleunigungssensoren und Gyroskope. | Fig. 3: Les axes des accéléromètres et gyroscopes.

Bei den Patienten wurden eine Messung präoperativ und drei weitere jeweils drei, sechs und zwölf Monate nach dem Eingriff durchgeführt. Bei den gesunden Probanden wurden in der Validierungsphase jeweils zwei Messungen im zeitlichen Abstand von einem Jahr vorgenommen.

### Momentaufnahme und Langzeitmessung

Die Messungen bestehen aus jeweils zwei Teilen: Zunächst werden verschiedene analytische (Flexion, Abduktion, laterale Rotation, Hände auf dem Rücken) und funktionellen Bewegungen (sich kämmen, eine Jacke anziehen, eine Glühbirne wechseln, Bücher in ein Bücherregal einordnen, gehen oder auch Gegenstände auf einem Tisch verschieben) gemessen. Auf der Basis dieser Messungen wurden die folgenden kinematischen Scores ermittelt:

- RAV (Range of Angular Velocity): bestimmt die Winkelgeschwindigkeit und -grösse der Bewegung
- P (Power): bestimmt die Kraft der Bewegung
- M (Moments): bestimmt die Drehmomente

Anschliessend erfolgt eine Langzeitmessung (7 Stunden) im Tagesverlauf des Patienten. Dieser verlässt das Labor mit den befestigten Sensoren und trägt sie bis zum Abend.

Aus den Messwerten wird der Quotient für die Nutzung der beiden oberen Extremitäten in den Alltagsaktivitäten sowie dessen Entwicklung über die prä- und postoperative Phase im Verlauf der Monate ermittelt. Ferner wird die Arbeitshöhe der oberen Extremität des Patienten eruiert, das heisst die Bewegungsamplitude des Humerus (Abbildung 4), sowie die Dauer, während der die Arbeitshöhe aufrecht erhalten wird. Schliesslich wird die Geschwindigkeit der Bewegungsausführung gemessen. Dabei werden die beiden Gruppen anhand von Flexion, Abduktion und lateraler/medialer Rotation miteinander verglichen.

### Du hightech dans un «paquet de cigarettes»

L'appareil utilisé, un Physilog® (BioAGM SA), comprend trois petits modules inertiels, apposés sur la fourchette sternale, sur l'acromion et sur la palette humérale (Fig. 1 & 2). Les modules contiennent chacun un gyroscope 3D<sup>4</sup> et un accéléromètre 3D miniatures permettant de capter l'accélération et la vitesse angulaire des segments osseux (Fig. 3). Deux appareils sont utilisés simultanément afin de mesurer les mouvements des deux épaules et de pouvoir les corrélérer.

Pour la troisième phase en cours, on utilise en plus un appareil EMG portable comprenant 6 capteurs. Les électrodes de surface sont placées bilatéralement sur les muscles trapèze supérieur, deltoïde et biceps brachial.

Chaque appareil a la taille approximative d'un paquet de cigarettes. Il est porté par le sujet dans une sacoche ventrale fixée sous ses vêtements, autour de la taille. Les appareils enregistrent les données sur des cartes mémoires et disposent d'une autonomie permettant un enregistrement d'une journée entière.

### Etude de patients opérés suite à une rupture de la coiffe des rotateurs

La méthode a d'abord été validée sur un groupe contrôle de 10 personnes saines exerçant différentes professions ainsi que sur 10 patients souffrant d'une lésion documentée de la coiffe des rotateurs. Elle a ensuite été appliquée à un groupe contrôle de 31 sujets sains<sup>5</sup> et un groupe de 12 patients opérés d'une rupture de la coiffe des rotateurs.<sup>6</sup>

<sup>4</sup> Les accéléromètres permettent de mesurer des accélérations linéaires, les gyroscopes les accélérations angulaires.

<sup>5</sup> âge: 38 ans  $\pm$  10, genre: 17  $\sigma$  et 14  $\varphi$ , latéralisation: 23 droitiers et 8 gauchers.

<sup>6</sup> âge: 57 ans  $\pm$  8, genre: 9  $\sigma$  et 3  $\varphi$ , 11 droitiers et 1 gaucher, côté pathologique: 6 du côté dominant et 6 du côté non-dominant.

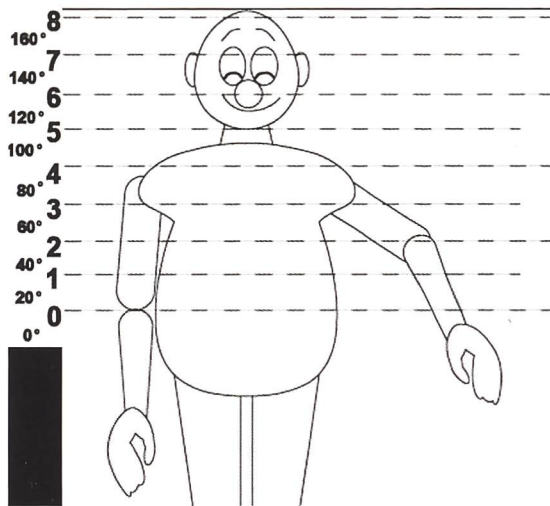


Abb. 4: Die acht Arbeitshöhen des Humerus. | Fig. 4: Les huit niveaux de travail de l'humérus.

## Resultate

Die kinematischen Scores RAV, P und M zeigten eine gute Korrelation mit den klinischen Scores DASH<sup>7</sup>, SST und Constant<sup>8</sup>, was die Validierung der kinematischen Scores ermöglichte [9].

### ■ Aktivitätsquotient dominante/nichtdominante Seite

Normalerweise wird die dominante obere Extremität bei alltäglichen Bewegungsabläufen am häufigsten eingesetzt. Dies ändert sich jedoch, wenn die dominante Schulter nur eingeschränkt funktionsfähig ist. Die gesunden Probanden der Kontrollgruppe zeigten ein Aktivitätsverhältnis von 58 Prozent auf der dominanten Seite gegenüber 42 Prozent auf der nichtdominanten Seite (Abbildung 5). Bei Patienten, bei denen die pathologische auch die dominante Seite ist, beträgt dieses Verhältnis sechs Monate nach dem Eingriff nur 54 zu 46 Prozent. Ist die pathologische Seite nicht dominant, steigt es auf 61 zu 39 Prozent [10].

### ■ Arbeitshöhe des Humerus

Die Werte der Arbeitshöhe drei Monate nach dem Eingriff zeigen eine signifikant geringere Belastung der pathologischen Seite und somit eine Kompensation durch die gesunde Seite. Sechs Monate postoperativ ist das Ungleichgewicht

Une mesure a été effectuée aux patients avant l'opération, une autre 3 mois, 6 mois et 12 mois après l'opération. Les sujets sains ont été mesurés deux fois, à 1 an d'intervalle.

Chaque séance de mesure était réalisée selon un scénario pré-établi de différents mouvements analytiques (flexion, abduction, rotation latérale, mains dans le dos) et fonctionnels (se coiffer, mettre une veste, changer une ampoule, ranger des livres sur une bibliothèque, marcher ou encore déplacer des objets sur une table). Sur la base de ces mesures, les scores cinématiques suivants ont été établis:

- RAV (Range of Angular Velocity): détermine la vitesse angulaire du mouvement et son étendue
- P (Power): détermine la puissance du mouvement
- M (Moments): détermine les moments de force

Dans un second temps, une mesure de longue durée (7 heures) a été effectuée au cours de la journée du patient. Celui-ci quittait le laboratoire avec les capteurs en place et les portait jusqu'au soir. Le ratio d'utilisation des deux membres supérieurs dans les activités quotidiennes a été calculé, de même que l'évolution de ce ratio entre les phases pré- et post-opératoires au fil des mois. Le niveau de travail du membre supérieur du patient (Fig. 4), c'est-à-dire l'amplitude de mouvement de l'humérus, et la durée pendant laquelle ce segment était maintenu à ce niveau d'amplitude, a aussi été déterminé. Finalement, la vitesse d'exécution des mouvements a été mesurée en comparant les deux groupes lors des mouvements de flexion, abduction et rotations médiales/latérales.

## Résultats

Les scores cinématiques RAV, P et M ont montré une bonne corrélation lorsqu'ils étaient corrélés avec les scores cliniques DASH<sup>7</sup>, SST et Constant<sup>8</sup>, permettant la validation des scores cinématiques [9].

### ■ Ratio d'activité côté dominant/non-dominant

Le membre supérieur dominant est supposé être le côté le plus utilisé dans les activités. Or, cette notion varie lorsque l'épaule dominante souffre d'une atteinte donnée. Dans le groupe contrôle, les sujets sains avaient un ratio d'activité de 58 % du côté dominant versus 42 % du côté non-dominant (Fig. 5).

<sup>7</sup> DASH: Der *Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand* (DASH) score [15] ist eine spezifische subjektive Selbstbeurteilung der oberen Extremität. Er umfasst die Aktivitäten des täglichen Lebens, die Freizeitaktivitäten und berufliche Beanspruchungen.

<sup>8</sup> Constant: Der *Constant-Score* [16] ist eine halb-objektive funktionelle Beurteilung der Schulter, welche eine Evaluation des Schmerzes, der ADL, der Beweglichkeit und der Muskelkraft beinhaltet.

<sup>7</sup> DASH: Le *Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand* (DASH) score [15] est un score autoadministré subjectif d'évaluation spécifique du membre supérieur. Il comprend 3 parties dédiées à l'évaluation de la capacité à faire les activités de la vie quotidienne, les activités de loisirs et les activités professionnelles.

<sup>8</sup> Constant: Le *score de Constant* [16] est un score fonctionnel semi-objectif de l'épaule qui comprend une évaluation de la douleur, du niveau d'activité quotidienne, de la mobilité active avec une mesure de la force musculaire.

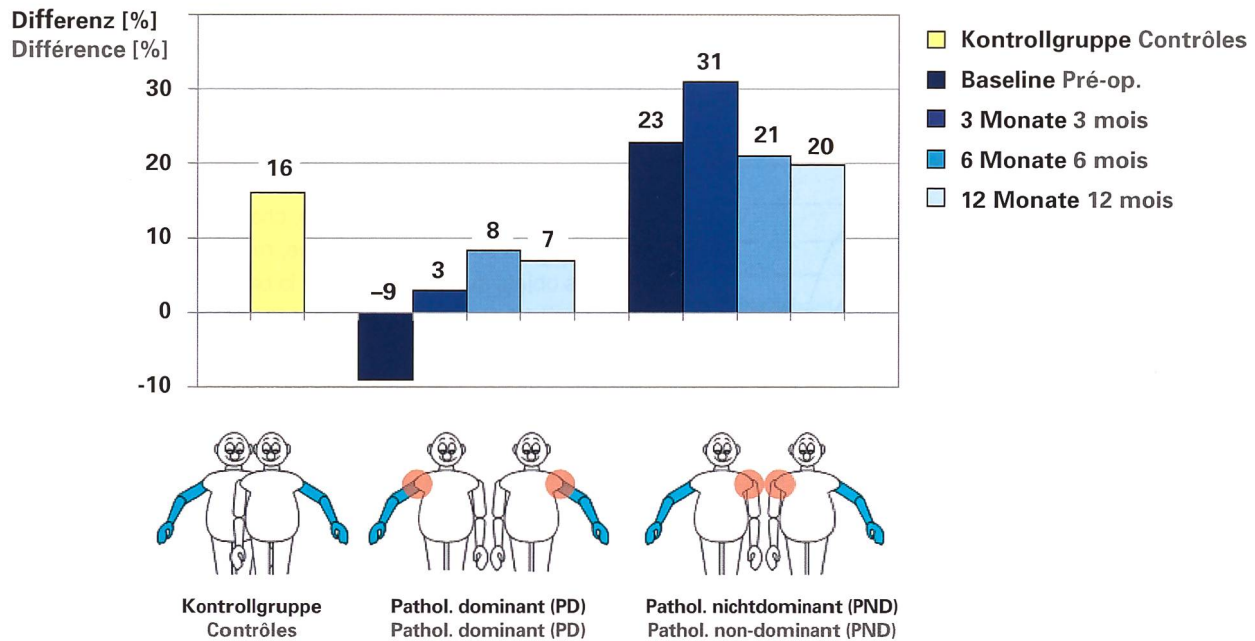


Abb. 5: Unterschiede beim Gebrauch zwischen dominantem und nichtdominantem Arm. In der Gruppe der Patienten, wo die pathologische Seite auch die normalerweise dominante ist, ist nach drei Monaten die pathologische dominante Seite im Mittel weniger aktiv als die gesunde (nichtdominante) Seite. Bei Patienten, wo die Pathologie den nichtdominanten Arm betrifft, ist die gesunde dominante Seite um 31 Prozent aktiver. I Fig. 5: Différence d'utilisation entre le bras dominant et non-dominant. A 3 mois, le côté pathologique dominant est en moyenne moins actif que le côté sain, alors que pour les patients PND, le côté dominant sain est 31 % plus actif.

zugunsten der gesunden Seite bereits weniger ausgeprägt, aber noch immer vorhanden. 12 Monate postoperativ zeigen die Ergebnisse eine Wiederannäherung an das Verhalten gesunder Menschen [11].

Andererseits ist jedoch zu beobachten, dass der Humerus während der Alltagsaktivitäten nur selten hohe Amplituden erreicht: In 96 Prozent der gemessenen Zeit werden 100° bis 120° nicht überschritten.

#### ■ Charakteristik und Ausführungsgeschwindigkeit der Bewegungen

Insgesamt weist das Patientenkollektiv für alle Bewegungen eine geringere Ausführungsgeschwindigkeit auf. Der deutlichste Unterschied ergab sich bei den Bewegungsebenen Flexion und Abduktion. Zwar ist die Ausführung langsamer Bewegungen in beiden Gruppen in etwa vergleichbar, jedoch wurden im Patientenkollektiv deutlich weniger schnelle Bewegungen beobachtet.

#### Nutzen für Klinik und Forschung

Die instrumentelle Messung der funktionellen Schulterbewegungen kann sowohl für die Klinik als auch für die angewandte Forschung genutzt werden und bietet viele Vorteile.

Die Geräte sind klein und leicht und erlauben somit die Aufzeichnung im Alltag, ausserhalb des Labors oder der Praxis. Die Aufzeichnungen der Alltagsaktivitäten über mehrere

Dans le groupe des patients, 6 mois après l'opération, lorsque le côté pathologique était également le côté dominant, le ratio chutait à 54 % vs 46 %. Lorsque le côté pathologique était le membre supérieur non-dominant, il augmentait à 61 % vs 39 % [10].

#### ■ Niveau de travail de l'humérus

Les données relatives au niveau de travail 3 mois après l'opération montraient une nette diminution des sollicitations du côté pathologique, et donc une compensation par le côté sain. A 6 mois, le déséquilibre était moins marqué, mais toujours en faveur du côté sain. Par contre, 12 mois après l'opération, le résultat se rapprochait à nouveau du comportement des sujets sains [11].

Durant les activités quotidiennes, l'humérus se trouvait rarement dans des amplitudes élevées. Dans plus de 96 % du temps mesuré, l'amplitude d'élévation ne dépassait pas les 100 à 120 degrés.

#### ■ Caractérisation et vitesse d'exécution des mouvements

Globalement, les résultats du groupe des patients ont montré une vitesse d'exécution moins élevée dans tous les mouvements. Plus précisément, la différence la plus marquée se situait dans les mouvements de flexion et d'abduction. Si l'exécution de mouvements lents était assez comparable entre les deux groupes, les mouvements rapides étaient nettement moins fréquents chez les patients.

Stunden hinweg sind möglicherweise repräsentativer als die Momentaufnahmen einzelner Tests.

Physiotherapeuten können damit die funktionellen Tätigkeiten von Patienten mit einer Schulterpathologie objektiv und detailliert quantitativ erfassen. Die funktionellen Bedürfnisse und das Ausmass der Einschränkungen können präziser bestimmt werden. Dies kann zur Definition der Behandlungsziele und als Grundlage der Validierung und erneuten Evaluation einer therapeutischen Intervention genutzt werden. Ein weiterer Pluspunkt ist, beispielsweise in der Neurologie, dass die Entwicklung eines Patienten über einen langen Zeitraum genau beobachtet werden könnte.

Der präzise und objektive Funktionsstatus kann Ärzten und Chirurgen als Grundlage zur Entscheidungsfindung für einen bestimmten chirurgischen Eingriff dienen. Die Daten können darüber hinaus Funktionsstörungen aufzeigen, die bei nur kurzer Beobachtungsdauer schwierig zu diagnostizieren sind, zudem scapulohumerale Bewegungsabläufe aufzeichnen oder die Lateralität des Patienten präzise ermitteln.

### Grosses Potenzial

Die nächste Gerätegeneration kommt ohne Kabel zur Verbindung mit dem Sensorgehäuse aus, wodurch sich der Anwendungskomfort für den Patienten noch deutlich verbessert. Daneben kann bei der Auswertung der EMG-Daten der laufenden dritten Phase die Muskelarbeit einbezogen werden, was eine verfeinerte Diagnose von Bewegungsdysfunktionen oder Kompensationen ermöglicht. Die Physiotherapeuten können diese Daten dazu nützen, das Training noch gezielter auf eine bestimmte Muskelgruppe oder Funktion auszurichten. Ferner wird ein sehr einfach zu bedienendes Analyseprogramm entwickelt, das dem Kliniker zusätzlichen Komfort bieten soll.

Die Studie umfasste bislang lediglich eine begrenzte Population. Eine weitere Studie an einem grösseren Studienkollektiv, das verschiedene Berufe mit hoher Schulterbelastung einschliesst, wird eine präzise Ausgangsbasis für weitere Forschungen bieten.

Bis anhin wurde ausschliesslich die Schulter mit dem neuen Verfahren untersucht, jedoch kann es auf weitere anatomische Bereiche ausgeweitet werden. Das Potenzial zum Einsatz im Gebiet der Bewegungsanalyse im weiteren Sinn, auch im Sport, ist beachtlich.

### Utilité pour la clinique et la recherche

Les intérêts de cette méthode sont exploitables aussi bien en clinique que dans le domaine de la recherche appliquée.

Les appareils sont peu volumineux et légers. Leur autonomie permet une mesure sur une journée, au cours des activités fonctionnelles du patient, et pas seulement en laboratoire ou en cabinet. L'enregistrement permanent des données permet d'avoir une vision d'ensemble des mouvements effectués par le sujet, au-delà des gestes isolés.

Pour les physiothérapeutes, cette méthode offre une possibilité de quantifier objectivement et en détails des activités fonctionnelles des patients présentant une pathologie de l'épaule. Les données obtenues permettent de déterminer avec plus de précision les besoins fonctionnels du patient, son niveau de limitation et de handicap et ainsi d'améliorer son traitement. Elle peut contribuer à la définition des objectifs thérapeutiques et être utilisée comme moyen de validation ou de réévaluation d'une intervention thérapeutique. Elle offre aussi la possibilité d'établir un status fonctionnel à intervalles réguliers dans le suivi à long terme de l'évolution d'un patient, dans le domaine de la neurologie par exemple.

Cette méthode permet aux médecins et aux chirurgiens de faire un status fonctionnel précis et objectif, qui peut servir de base décisionnelle pour l'indication à un certain type de chirurgie. Ils peuvent également exploiter ses résultats pour détecter des dysfonctions difficilement observables sur une courte durée, déterminer une voie de passage dans un mouvement scapulo-huméral ou affiner la latéralité d'un sujet selon ses mouvements et ses activités.

### Un gros potentiel

Techniquement, la prochaine génération d'appareils n'aura plus de fil reliant le boîtier aux capteurs, ce qui rendra son utilisation encore plus confortable pour le patient. D'autre part, l'exploitation des données EMG de la phase en cours de réalisation permettra d'intégrer le travail musculaire, et par conséquent de détecter plus finement des dysfonctions de mouvements ou des compensations résultant de pathologies. Cela apportera des données utiles au physiothérapeute, lui permettant de cibler le renforcement sur un groupe musculaire et une fonction précise. Un logiciel d'analyse très simple sera développé afin de rendre le système encore plus aisément utilisable par tout clinicien.

A ce jour, l'étude a été réalisée sur une population restreinte. Une étude ultérieure réalisée sur une plus large population, englobant diverses professions reconnues comme astreignantes pour les épaules, permettrait de poser une référence précise, utile à d'autres recherches.

Cette étude a été réalisée sur l'épaule, mais cette méthode pourra être étendue à d'autres régions anatomiques. Le potentiel dans le domaine de l'analyse du mouvement au sens large, est donc conséquent, entre autres pour les sportifs.

|                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p><b>harti</b><br/>FROTTIERMODEN<br/><a href="http://www.harti.de">www.harti.de</a></p> | <p><b>PROFI - FROTTIER-HANDTÜCHER</b><br/><b>STRETCH-BEZÜGE, SPANNBEZÜGE</b><br/><b>für Physioleugen + Lagerungshilfen</b></p> <p><b>hochfest, farbecht, viele Größen</b><br/><b>und Farben - Bestickungs-Service</b></p> |
| <p>Fachkatalog, Sparfibel und Musterhandtuch bis 50x100 cm - G R A T I S</p>                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                           |

## Literatur I Bibliographie

1. Fayad F, Mace Y, Lefevre-Colau MM. (2005) Shoulder disability questionnaires: A systematic review. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 48 (6): 298–306.
2. Oh JH, Jo KH, Kim WS, Gong HS, Han SG, Kim YH. (2009) Comparative Evaluation of the measurement properties of various shoulder outcome instruments. *The American Journal of Sports Medicine*, 37 (6):1161–1168.
3. Van Der Helm FCT. (1994) Analysis of the kinematic and dynamic behavior of the shoulder mechanism. *Journal of Biomechanics*. 27 (5): 527–550.
4. Karduna AR, McClure PW, Michener LA, Sennett B. (2001) Dynamic measurements of three-dimensional scapular kinematics: A validation study. *Journal of Biomechanical Engineering*. 123 (2):184–190.
5. De Groot JH, Rozendaal LA, Meskers CGM, Arwert HJ (2004) Isometric shoulder muscle activation patterns for 3-D planar forces: A methodology for musculo-skeletal model validation. *Clinical Biomechanics* 19 (8): 790–800.
6. Ludewig PM, Cook TM. (2000) Alterations in shoulder kinematics and associated muscle activity in people with symptoms of shoulder impingement. *Physical Therapy*, 80 (3): 276–291.
7. Kern DS, Semmler JG, Enoka RM. (2001) Long-term activity in upper- and lower-limb muscles of humans. *Journal of Applied Physiology*, 91 (5): 2224–2232.
8. Jolles BM, Aminian K, Bourgeois A, Coley B, Pichonnaz C, Dutoit M et al. Evaluation des résultats après chirurgie de l'épaule à l'aide de capteurs cinématiques tri-dimensionnels. *Rev Chir Orthop* 2006; 92(6): 3 S148.
9. Coley B, Jolles BM, Farron A, Bourgeois A, Nussbaumer F, Pichonnaz C, Aminian K. (2007) Outcome evaluation in shoulder surgery using 3D kinematics sensors. *Gait & Posture* 25 (4): 523–532.
10. Coley B, Jolles BM, Farron A, Pichonnaz C, Bassin JP, Aminian K. (2008) Estimating dominant upper-limb segments during daily activity. *Gait & Posture*; 27 (3): 368–375.
11. Coley B, Jolles BM, Farron A, Aminian K. (2008) Arm position during daily living. *Gait & Posture*; 28 (4): 581–587.
12. Coley B, Jolles BM, Farron A, Aminian K. Detection of the movement of the humerus during daily activity. *Journal of Medical & biological Engineering*: in press.
13. Jolles BM, Aminian K, Coley B, Duc C, Pichonnaz C, Bassin JP, Farron A. Des capteurs miniatures pour suivre objectivement les résultats des traitements de pathologies de l'épaule. *Swiss Medical Weekly*, in press.
14. Lippitt S, Matsen F. A practical tool for the evaluation of function: the simple shoulder test. In: Matsen F, Hawkins RJ, editors. *The Shoulder: a balance of mobility and stability*. Rosemont IL: The American Academy of Orthopedic Surgeons; 1993. p. 501–518.
15. Hudak PL, Amadio PC, Bombardier C. Development of an upper extremity outcome measure: the DASH (disabilities of the arm, shoulder and hand) [corrected]. *The Upper Extremity Collaborative Group (UECG)*. *Am J Ind Med* 1996; 29(6):602–608.
16. Constant CR, Murley AH. A clinical method of functional assessment of the shoulder. *Clin Orthop Relat Res* 1987;(214):160–164. |

## Zu den AutorInnen

Professorin **Brigitte Jolles**, FMH in orthopädischer Chirurgie, arbeitet am Universitätsspital in Lausanne (CHUV). Sie ist zudem Professorin an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne (EPFL) und leitet das Interinstitutionelle Zentrum für translationale Biomechanik CBT.

**Bassin Jean-Philippe**, Prof. FH, Kantonale Fachhochschule Waadt für Gesundheit – Fachbereich Physiotherapie

**Pichonnaz Claude**, Prof. FH, Kantonale Fachhochschule Waadt für Gesundheit – Fachbereich Physiotherapie

**Duc Cyntia**, MSc, Labor für Bewegungsanalyse und -messung, Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne (EPFL)

**Fleury Anthony**, PhD, Labor für Bewegungsanalyse und -messung, Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne (EPFL)

**Aminian Kamiar**, Prof., Leiter des Labors für Bewegungsanalyse und -messung, Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne (EPFL)

**Djahangiri Ali**, MD, Abteilung Orthopädische Chirurgie und Traumatologie am Universitätsspital des Kantons Waadt (CHUV-DAL)

**Farron Alain**, Prof., Leiter der Abteilung Orthopädische Chirurgie und Traumatologie am Universitätsspital des Kantons Waadt (CHUV-DAL)

## A propos des auteurs

La professeur **Brigitte Jolles**, spécialiste FMH en chirurgie orthopédique, travaille à l'Hôpital Universitaire de Lausanne (CHUV); elle est aussi professeure à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) et dirige le centre interinstitutionnel de biomécanique translationnelle (CBT).

**Bassin Jean-Philippe**, Prof. HES, Haute Ecole Cantonale Vaudoise de la Santé – Filière Physiothérapie

**Pichonnaz Claude**, Prof. HES, Haute Ecole Cantonale Vaudoise de la Santé – Filière Physiothérapie

**Duc Cyntia**, MSc, Laboratoire de Mesure et d'Analyse des Mouvements, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL-CBT-LMAM)

**Fleury Anthony**, PhD, Laboratoire de Mesure et d'Analyse des Mouvements, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL-CBT-LMAM)

**Aminian Kamiar**, Prof., Directeur du Laboratoire de Mesure et d'Analyse des Mouvements, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL-CBT-LMAM)

**Djahangiri Ali**, MD, Service de Chirurgie Orthopédique et de Traumatologie du Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV-DAL-OTR)

**Farron Alain**, Prof., Chef du Service de Chirurgie Orthopédique et de Traumatologie du Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV-DAL-OTR)