

Development of innovative training solutions in the field of functional evaluation aimed at updating of the curricula of health sciences schools



MODUL BIOMECHANIK DER WIRBELSÄULE

Didaktische Einheit D: INSTRUMENTIERTE ANALYSE DER WIRBELSÄULE

D.5 Wie interpretiere ich einen Bericht über eine biomechanische instrumentelle Analyse bei einem Fall von Wirbelsäulenpathologie?



Index

1. ZIELE2	
2. PATHOLOGISCHE BEFUNDE BEI DER BEURTEILUNG DER HALSWIRBELSÄULE	3
Beurteilung des zervikalen Bewegungsumfangs (ROM)	3
Kinematische Beurteilung der Halswirbelsäule	4
Beurteilung der zervikalen Muskelkraft	6
3. PATHOLOGISCHE BEFUNDE BEI DER BEURTEILUNG DER LENDENWIRBELSÄULE	7
Beurteilung des lumbalen Bewegungsumfangs (ROM)	7
Beurteilung bei Aktivitäten des täglichen Lebens	8
Aktivität: Aufstehen von einem Stuhl	9
Aktivität: Heben eines Gewichts	11
Kraftbeurteilung. Isokinetik	12
Beurteilung der Muskelaktivität. Oberflächen-Elektromyographie	14
4. ZERVIKALE BEURTEILUNG. KLINISCHER FALL	16
5. LUMBALE BEURTEILUNG. KLINISCHER FALL	21
6. WICHTIGE IDEEN	30
7. REFERENZEN	31

1. Ziele

- Sich mit der Interpretation der Ergebnisse einer zervikalen kinematischen Beurteilung in einer normalen Population vertraut machen.
- Die Interpretation der Ergebnisse, die aus einer Beurteilung der zervikalen Muskelkraft in einer pathologischen Population gewonnen wurden, zu verstehen.
- Die Interpretation der Ergebnisse aus einer lumbalen kinematischen Beurteilung in einer pathologischen Population kennen.
- Die Interpretation der Ergebnisse aus der Beurteilung der Lendenkraft in einer pathologischen Population zu verstehen.
- Erlernen des Umgangs mit den pathologischen Ergebnissen einer biomechanischen Beurteilung der Hals- und/oder Lendenwirbelsäule anhand klinischer Fälle.

In den vorherigen Lektionen wurden die Protokolle und die verschiedenen biomechanischen Analysetechniken besprochen, die zur Durchführung einer biomechanischen Analyse der Wirbelsäule verwendet werden können. In dieser Lektion werden einige der Ergebnisse gezeigt, die bei der biomechanischen Analyse einer Person, die an Wirbelsäulenschmerzen leidet, erzielt wurden. Zusätzlich werden diese Ergebnisse in Relation zu einem normalen Muster gezeigt, damit der Student lernt, die Unterschiede zu erkennen. Schließlich werden die Ergebnisse eines klinischen Falles besprochen, damit der Student mit den Ergebnissen vertraut wird und ihre Nützlichkeit versteht.

2. Pathologische Befunde bei der Beurteilung der Halswirbelsäule

Nackenschmerzen sind einer der häufigsten Gründe, einen Arzt aufzusuchen. Es wird davon ausgegangen, dass ein hoher Prozentsatz der Menschen irgendwann in ihrem Leben Nackenschmerzen haben wird. Es ist der Arzt, der den Patienten beurteilt und die Ursache (Diagnose) dieser Schmerzen bestimmen muss, wobei er potenziell schwerwiegende Ursachen ausschließen muss. Da Nackenschmerzen mehrere Ursachen haben können, ist eine gute Anamnese und Untersuchung hilfreich, um eine Diagnose zu stellen. Ergänzt wird eine solche Diagnose durch eine funktionelle Beurteilung der Halswirbelsäule. Für diese Beurteilung werden biomechanische Tests verwendet, die Aufschluss über die Beweglichkeit und die Muskelkraft in diesem Bereich geben. Daher ist die Verwendung von biomechanischen Tests im klinischen Prozess der Beurteilung eines Patienten gut, um die Diagnose zu ergänzen und eine umfassendere Sicht auf den Zustand des Patienten zu erhalten.

Beurteilung des zervikalen Bewegungsumfangs (ROM)

Die Beurteilung des zervikalen Bewegungsumfangs ist einer der wichtigsten Aspekte bei der Untersuchung des Patienten. Mit biomechanischen Analysemethoden ist es möglich, neben der exakten Messung des Bewegungsumfangs und dem Vergleich mit normalen Mustern, ausgeprägte Einschränkungen oder signifikante Asymmetrien zu erkennen. Ein mechanischer Prozess, der die Halswirbelsäule betrifft, neigt dazu, asymmetrische Einschränkungen zu verursachen. Es gibt zervikale Pathologien, die mit biomechanischen Analysetechniken beurteilt werden können, bei denen signifikante Abweichungen der zervikalen Mobilität in Bezug auf ein normales Bewegungsmuster festgestellt werden können.¹ Zum Beispiel Trauma-Bedingungen, die das Skelett- und Bandsystem der Halswirbelsäule betreffen und das Rückenmark nicht gefährden, wie eine zervikale Verstauchung, degenerative und rheumatische Erkrankungen wie zervikale Arthrose und Spondylitis ankylosans oder schmerzbedingte Einschränkungen der zervikalen Bewegung, wie einige Bedingungen im Zusammenhang mit Körperhaltung, Arbeit oder Stress.

Hinsichtlich des Bewegungsumfangs zeigen die durchgeführten Studien, dass dieser im Vergleich zu gesunden Personen abnimmt. Die Ergebnisse variieren in Abhängigkeit von der verwendeten Messtechnik und dem angewandten Protokoll. Einige Arbeiten^{2,3,4,5,6} konzentrieren sich auf die Untersuchung des Bewegungsumfangs bei Patienten, die eine einzelne maximale aktive Bewegung ausführen. Andere Arbeiten⁷ verwenden die Technik, den Patienten zu zwingen, den maximalen Bereich auf passive Weise auszuführen. Schließlich können in einigen Studien⁸, wie im nächsten Unterabschnitt zu sehen ist, die Patienten aufgefordert werden, die Bewegung in einer kontinuierlichen und zyklischen Weise bis zum Maximum ihrer Möglichkeiten auszuführen.

Die nachstehenden Diagrammbeispiele zeigen veränderte Ergebnisse in Bezug auf den mit biomechanischen Analysetechniken gemessenen Bewegungsbereich der Halswirbelsäule. Durch die Analyse dieser Beispiele wird der Kursteilnehmer in der Lage sein, die Art der

verwendeten biomechanischen Technik zu identifizieren, die Grafik zu interpretieren und die Ergebnisse anhand der gezeigten Funktionseinschränkungen zu verstehen.

Test: Beurteilung des Bewegungsumfangs der Halswirbelsäule in den drei anatomischen Ebenen.



Abbildung 1. Zervikaler Bewegungsbereich.

Messtechnik: Photogrammetrie, Inertialsysteme oder Inklinometer.

Art der Analyse: Kinematisch.

Grafische Darstellung: Zervikaler Bewegungsumfang (°) in den drei Ebenen (frontal, sagittal und transversal). Der äußere Rand der Grafik stellt die Normalitätszone dar.

Interpretation der Ergebnisse: **Links:** Gute Beweglichkeit der Halswirbelsäule in allen Ebenen. **Rechts:** Die Beweglichkeit der Halswirbelsäule ist in verschiedenen Achsen eingeschränkt. Besonders auffällig ist die Einschränkung der Flexion-Extension, gefolgt von der rechten Lateralflexion und der Linksrotation, wobei letztere eine deutliche Asymmetrie gegenüber der Rechtsrotation aufweist.

Kinematische Beurteilung der Halswirbelsäule

Die zervikale Mobilität ist die am häufigsten verwendete Maßnahme, die funktionelle Ergebnisse zur Beurteilung des Zustands von Patienten mit zervikalen Pathologien bietet. Sie liefert objektive Informationen über den Schweregrad einer Einschränkung der zervikalen Bewegungen. Sie kann auch zur Überwachung des Patienten während und nach therapeutischen Eingriffen verwendet werden.

Wenn der Untersucher nicht nur am Bewegungsumfang der Halswirbelsäule interessiert ist, sondern auch an den Eigenschaften oder genaueren Details der ausgeführten Bewegung, sollte eine kinematische Analyse durchgeführt werden. Diese Art der Analyse liefert sowohl

numerisch als auch grafisch genauere Informationen über die Geschwindigkeit und den Bewegungsumfang der Halswirbelsäule. Die verwendeten Systeme erfassen die Bewegung im Raum und analysieren sie detaillierter und liefern Informationen wie Bewegungsumfang, Winkelgeschwindigkeit, Winkelbeschleunigung, Gleichmäßigkeit der Bewegung oder deren Wiederholbarkeit. Zu diesen Messsystemen gehören 3D-Photogrammetrie oder Inertialsysteme, die derzeit in diesen Studien eingesetzt werden. Die untersuchte Person muss wiederholte oder zyklische Bewegungen in einer bestimmten Achse während einer im verwendeten Protokoll festgelegten Zeitspanne (normalerweise 30s) durchführen. Diese Messungen umfassen die Winkelbewegungen des Kopfes in Bezug auf den Rumpf in Bezug auf die drei anatomischen Ebenen, sie können aber auch Informationen über die Geschwindigkeit, die Beschleunigung der Bewegung und gekoppelte Bewegungen liefern. Beachten Sie, dass sich diese Art der Auswertung meist auf eine aktive und nicht auf eine passive Bewegung bezieht.

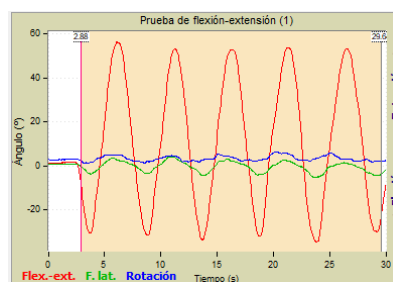
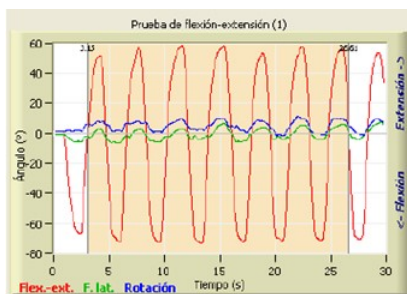
Im Hinblick auf die Ergebnisse, die bei einem pathologischen Muster aufgrund von Halswirbelsäulenschmerzen erzielt werden, wird eine Einschränkung des Bewegungsumfanges beobachtet. Darüber hinaus stellten Ohberg et al. ⁴ fest, dass die Winkelgeschwindigkeit die diskriminierendste Variable zur Unterscheidung zwischen einem normalen und einem pathologischen Bewegungsmuster ist, wobei die Winkelgeschwindigkeit in der pathologischen Gruppe geringer ist. Im Hinblick auf die Glätte und Wiederholbarkeit der Bewegung analysierten einige Autoren⁵⁻⁹ die Glätte und Wiederholbarkeit der zervikalen Bewegung und stellten fest, dass die Bewegung weniger glatt und weniger wiederholbar war als die Bewegung bei Personen ohne jegliche Pathologie oder Schmerzen in der Halswirbelsäule.

Zusammenfassend lässt sich aus klinischer Sicht sagen, dass eine Verletzung auf der Ebene der Halswirbelsäule, unabhängig davon, ob sie Weichteile betrifft oder nicht, eine Einschränkung des Bewegungsumfanges der Halswirbelsäule und/oder ihrer Eigenschaften verursachen kann, die langsamer, weicher und weniger wiederholbar wird.

Einige der grafischen Ergebnisse, die bei dieser Art der Beurteilung gefunden werden können, sind unten dargestellt. Ein normales Ergebnis wird mit dem einer Person mit Halswirbelsäulenschmerzen verglichen, die die Funktion der Halswirbelsäulenbewegung verändern.

Test: Beurteilung der Beweglichkeit der Halswirbelsäule in der Sagittalebene.

NORMAL PATHOLOGISCH



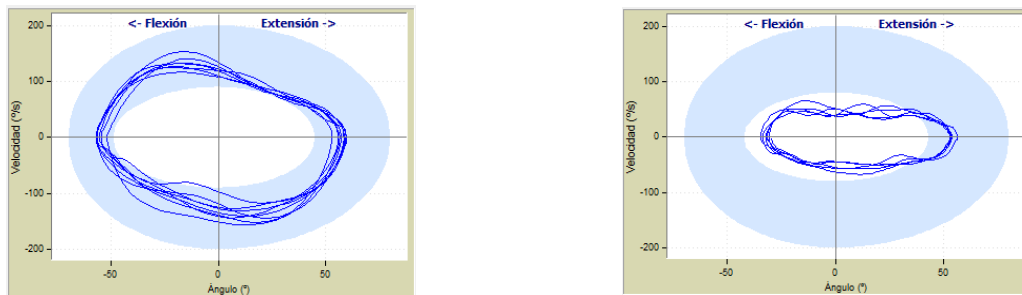


Abbildung 2. Extension-Flexion-Mobilität der Halswirbelsäule.

Messtechnik: Photogrammetrie, Inertialsysteme oder Neigungsmesser.

Art der Analyse: kinematisch.

Ergebnisse (Grafik): Oben: unterschiedliche Zyklen der Flexions-Extensions-Beweglichkeit der Halswirbelsäule in Abhängigkeit von der Testzeit. **Unten:** unterschiedliche Zyklen der Winkelgeschwindigkeit der HWS-Bewegung in Abhängigkeit vom Bereich der Flexions-Extensions-Bewegung. Das blaue Band zeigt an, wo sich ein normales Bewegungsmuster der Halswirbelsäule befinden würde.

Interpretation der Ergebnisse: Oben links: die Flexions-Extensionsbewegung der Halswirbelsäule ist weit und schnell. **Oben rechts:** langsame Bewegung der Halswirbelsäule mit eingeschränkter zervikaler Flexion. **Unten links:** adäquate Geschwindigkeit und Reichweite der HWS-Bewegung in der Sagittalebene innerhalb der Referenzwerte (das blaue Band stellt Normalwerte dar). **Unten rechts:** Langsame Bewegung mit begrenzter Flexion der Halswirbelsäule, während die Extension innerhalb der Normalwerte liegt.

Beurteilung der zervikalen Muskelkraft

Die Beurteilung der Kraft der Halswirbelsäulenmuskulatur ist nützlich, um ihren Funktionszustand zu untersuchen. Der am häufigsten verwendete Krafttest zur Beurteilung dieses Bereichs der Wirbelsäule ist die Beurteilung der isometrischen zervikalen Kraft.

Das Spitzendrehmoment der Halsmuskulatur nimmt bei Menschen mit Nackenschmerzen ab, sowohl in der Beuge- als auch in der Streckmuskulatur.¹⁰ Alle konsultierten Autoren sind sich einig, dass die Streckmuskeln bei chronischen Nackenschmerzen schwächer werden. Es besteht jedoch keine Einigkeit darüber, was in der zervikalen Beugemuskulatur passiert.

3. Pathologische Befunde bei der Beurteilung der Lendenwirbelsäule

Kreuzschmerzen sind ein Syndrom, das durch das Vorhandensein von Schmerzen in der Lendenwirbelsäule oder der lumbalen paravertebralen Muskulatur definiert ist, die von ausstrahlenden Schmerzen begleitet sein können. Das Ziel des Arztes ist es, die Ursache des Schmerzes zu identifizieren, den pathologischen Prozess, der ihn verursacht, und eine Entscheidung über die Behandlung, den Fortschritt und den funktionellen Status des Patienten zu treffen, sowie zu bestimmen, was die Person tun kann oder nicht, um zur Arbeit oder zu einem normalen Lebensmodell zurückzukehren.

Kreuzschmerzen sind also häufig und weltweit verbreitet. Etwa 80 % der Bevölkerung werden irgendwann in ihrem Leben von Kreuzschmerzen betroffen sein; sie betreffen alle Altersgruppen mit einem Häufigkeitsgipfel bei beiden Geschlechtern im Alter von etwa 45 Jahren. Chronische Kreuzschmerzen können eine hohe Behinderung verursachen, die das Arbeitsleben und die sozialen Beziehungen beeinträchtigt. Die Ziele der Behandlung sind die Linderung der Symptome und die Verbesserung der Funktion des Patienten durch Reduzierung der Einschränkungen. Zu diesem Zweck ist es notwendig, die Chancen für eine Verbesserung mit Hilfe biomechanischer Analysetechniken zur Beurteilung der Funktion zu bewerten.

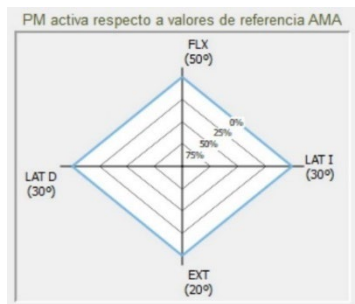
Im Folgenden werden sowohl die normalen als auch die veränderten Ergebnisse der biomechanischen Beurteilungen gezeigt, die üblicherweise bei Patienten mit Kreuzschmerzen durchgeführt werden. Diese Ergebnisse wurden mit Techniken bereitgestellt, die Bewegung und Kraft analysieren.

Beurteilung des lumbalen Bewegungsumfangs (ROM)

In diesem Abschnitt können die klinischen Aspekte, die über die Möglichkeiten der Beurteilung des zervikalen Bewegungsumfangs diskutiert wurden, auf die Lendenwirbelsäule übertragen werden. Im Hinblick auf den Bewegungsumfang ist daher bei einem pathologischen Muster eine Abnahme dieses Bereichs im Vergleich zum Bewegungsumfang gesunder Personen zu erwarten.

Test: Beurteilung des Bewegungsumfangs der Lendenwirbelsäule in der sagittalen und frontalen Ebene.

NORMAL



PATHOLOGISCH

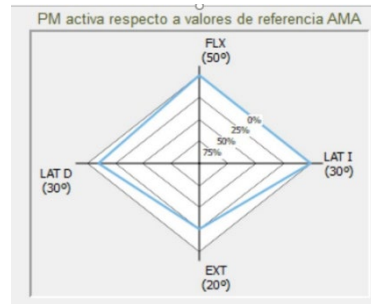


Abbildung 3. Lumbaler Bewegungsbereich.

Messtechnik: Photogrammetrie, Inertialsysteme oder Inklinometer.

Art der Analyse: Kinematisch.

Graphische Ergebnisse: Lumbaler Bewegungsbereich in der sagittalen und frontalen Ebene. Der äußere Rand der Grafik stellt den Bereich der Normalität dar. Es wurden die AMA-Referenzwerte verwendet.

Interpretation der Ergebnisse: Links: Gute Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule in allen Ebenen. Rechts: Eingeschränkter Bewegungsumfang der Lendenwirbelsäule. Besonders auffällig ist die Einschränkung in der Extension, gefolgt von der rechten Flexion.

Beurteilung bei Aktivitäten des täglichen Lebens

Die Geschwindigkeit, mit der eine Bewegung ausgeführt wird, oder die Zeit, die dafür benötigt wird, sind wesentliche Aspekte in jeder Studie über die Mobilität von Menschen mit Wirbelsäulenschäden oder -verletzungen. Bereits 1986 wurde die Bewegungsgeschwindigkeit als quantitatives Maß bei Menschen mit Rückenbeschwerden betrachtet, das helfen könnte, den Verlauf einer Erkrankung oder Behandlung zu überwachen.¹¹ Ein interessanter Parameter in der Beziehung zwischen Bewegungsgeschwindigkeit und funktioneller Beeinträchtigung ist die Bestimmung der Zeit, die eine Person benötigt, um eine Aktivität auszuführen, wie z. B. das Aufstehen von einem Stuhl. Da viele Arbeiten^{12,13,14} darin übereinstimmen, dass es weniger als 2s dauert, werden wir diesen Referenzwert nehmen. Es sollte noch einmal betont werden, wie wichtig es ist, das verwendete Messprotokoll zu kennen, da, wie bereits erwähnt, die Werte, die wir finden werden, von diesem Protokoll abhängen.

Wenn die Ergebnisse der Aktivitätsausführungsgeschwindigkeit einer normalen Gruppe mit denen einer Gruppe mit Kreuzschmerzen verglichen werden, erhöht sich die Gesamtzeit, die zur Ausführung der Bewegung benötigt wird, deutlich, wenn Schmerzen vorhanden sind. Schmerzen im unteren Rückenbereich sind ein Symptom, das die Person dazu veranlasst, eine langsame und ungenaue Bewegung auszuführen; dieses Ergebnis ist jedoch manchmal auf die Angst zurückzuführen, dass der Schmerz wieder auftritt oder sich verschlimmert. Dieser Aspekt der Bewegung kann durch Parameter wie die Gesamtzeit, die für die

Ausführung der Bewegung benötigt wird, oder andere spezifischere Parameter wie die Winkelgeschwindigkeit und/oder die Beschleunigung des Rumpfes analysiert werden.

Die vertikale Reaktionskraft ist ein weiteres interessantes Ergebnis bei der biomechanischen Beurteilung von Lendenwirbelsäulenschmerzen. Diese Kraft steht im Zusammenhang mit der Energie und dem notwendigen Schwung, um vom Stuhl aufzustehen oder ein Gewicht zu heben. Je größer der Schwung ist, desto höher ist die maximale Spitze dieser Reaktionskraft, die mit einer dynamometrischen Plattform aufgezeichnet wird. Wie von Kralj et al.¹⁵ beschrieben, führen normale Probanden eine schnelle und energische Bewegung aus, die ihnen hilft, vom Stuhl aufzustehen. Im Gegensatz dazu wurde in Studien, die an Probanden mit Schmerzen im unteren Rückenbereich durchgeführt wurden, eine Abnahme der maximalen vertikalen Kraft festgestellt. Dies könnte auch bei Patienten mit anderen neuromuskulären Störungen auftreten, wie in der Studie von Yoshida et al.¹² mit neurologischen Patienten oder sogar bei Personen mit einem Defizit in der Quadrizepskraft gezeigt wurde.

Einige der grafischen Ergebnisse, die mit diesem Test nach der Beurteilung einer Aktivität bei einer Person mit Schmerzen im unteren Rückenbereich erhalten wurden, sind unten aufgeführt. Der Schüler kann lernen, die Unterschiede in Bezug auf ein normales Leistungsmuster zu erkennen.

Aktivität: Aufstehen von einem Stuhl

Test: Biomechanische Beurteilung der Aktivität des Aufstehens von einem Stuhl.

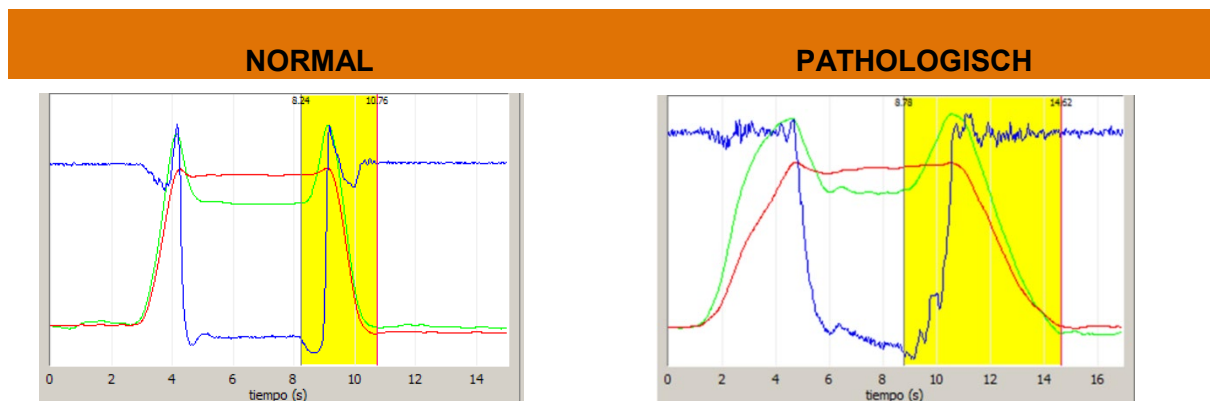


Abbildung 4. Reaktionskraft und Beweglichkeit des Rumpfes und des Knies bei der Sitz-Steh-Aktivität.

Messtechnik: Photogrammetrie, Inertialsysteme oder Neigungsmesser in Verbindung mit dynamometrischen Plattformen.

Art der Analyse: Kinematisch und dynamisch.

Graphische Ergebnisse: Reaktionskraft (blaue Linie) und Beweglichkeit von Knie (rote Linie) und Rumpf (grüne Linie) während der Sitz-Steh-Bewegung (gelbes Band).

Interpretation der Ergebnisse: Links: Geschmeidige und schnelle Bewegung mit gutem Schwung zur Ausführung. **Rechts:** Erhöhte Ausführungszeit. Schwierigkeit, den notwendigen Schwung zum Aufstehen zu erzeugen. Diese Daten befinden sich in den Schwingungen am Anfang der Steigung der Reaktionskraft.

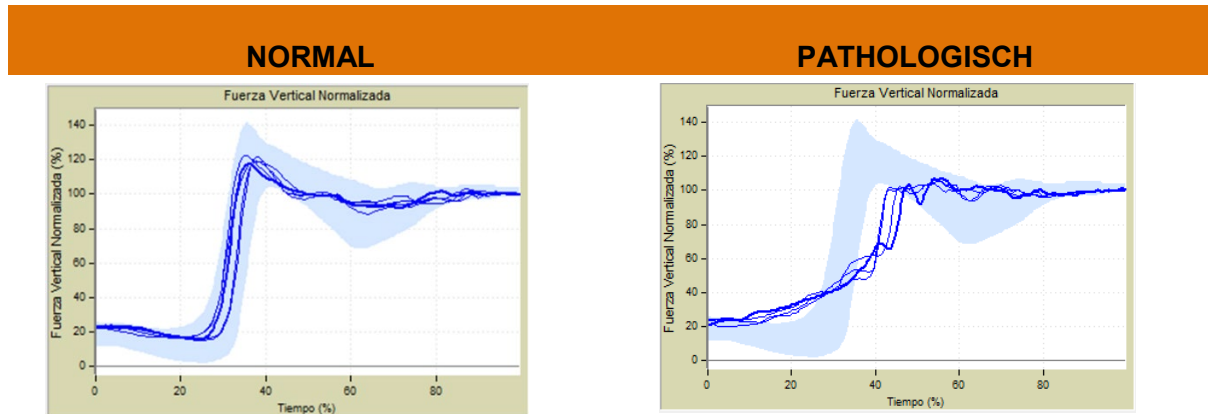


Abbildung 5. Reaktionskraft bei der Durchführung der Sitz-Steh-Aktivität.

Messtechnik: Dynamometrische Plattform.

Art der Analyse: Dynamisch.

Graphische Ergebnisse: Verschiedene aufgezeichnete Wiederholungen der Reaktionskraft während der Sitz-Steh-Aktivität.

Interpretation der Ergebnisse: Links: Wiederholbares und normales Kraftmuster (das blaue Band stellt das normale Muster dar), was einen ausreichenden Schwung zur Ausführung der Bewegung bedeutet (gute Kraft und Koordination des Rumpfes und der unteren Gliedmaßen). **Rechts:** Wiederholbares, aber verändertes Kraftmuster. Die Steigung der Kurve ist horizontal, wobei die Spitze niedriger und zeitlich verzögert ist. Dies bedeutet, dass der erzeugte Schwung nicht ausreicht, um aufzustehen, was mit Schmerzen, Kraftdefizit oder mangelnder Koordination verbunden sein kann.

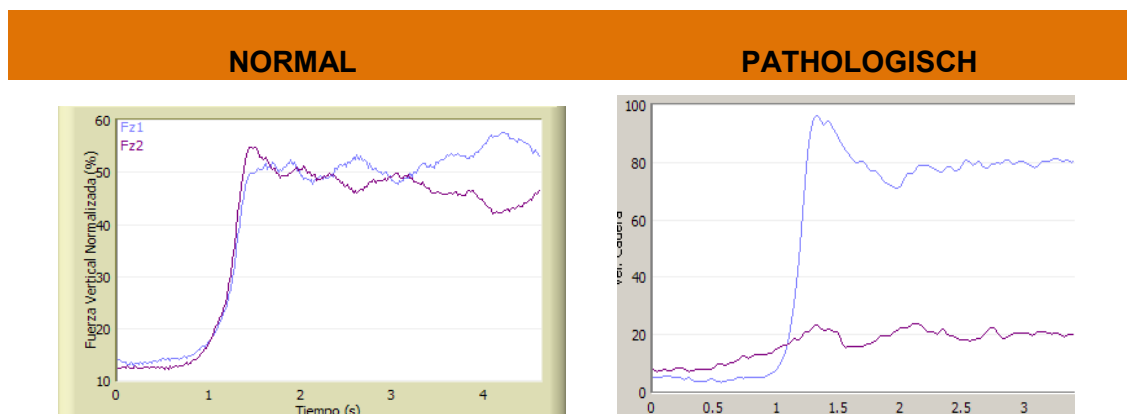


Abbildung 6. Reaktionskraft der einzelnen Fußstützen beim Aufstehen vom Stuhl.

Messtechnik: Dynamometrische Plattform.

Art der Analyse: Dynamisch.

Graphische Ergebnisse: Reaktionskraft, die durch die Stütze an jeder unteren Extremität bei der Ausführung der Sitz-Steh-Aktivität erzeugt wird.

Interpretation der Ergebnisse: **Links:** Symmetrisches Kraftmuster. Gleiche Gewichtsbelastung beider unterer Extremitäten bei der Ausführung der Sitz-Steh-Bewegung. **Rechts:** Asymmetrisches Kraftmuster. Größere Gewichtsbelastung der rechten unteren Extremität (hellblaue Linie) beim Aufstehen vom Stuhl, was eine asymmetrische Bewegung impliziert, die mit der Ausstrahlung von Kreuzschmerzen auf das linke Bein zusammenhängen kann.

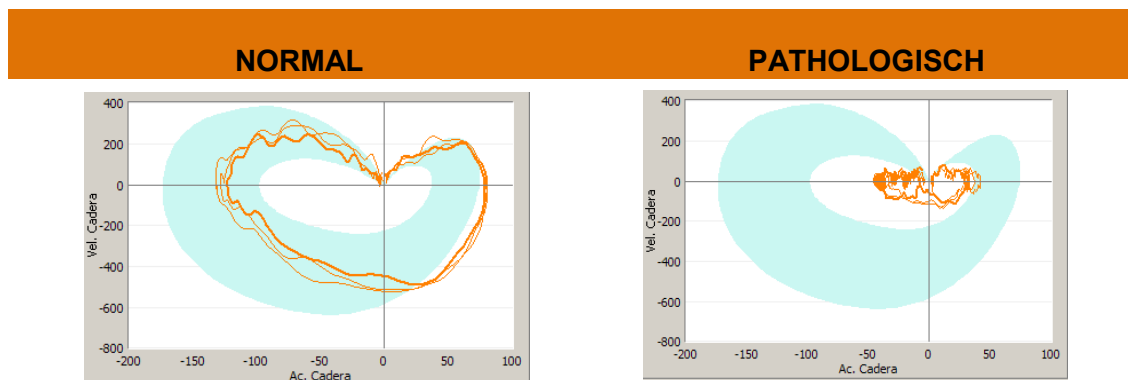


Abbildung 7. Winkelgeschwindigkeit mit gegenüber der Winkelbeschleunigung der Wirbelsäule während der Sitz-Steh-Aktivität.

Messtechnik: Photogrammetrie, Inertialsysteme oder Inklinometer.

Art der Analyse: Kinematisch.

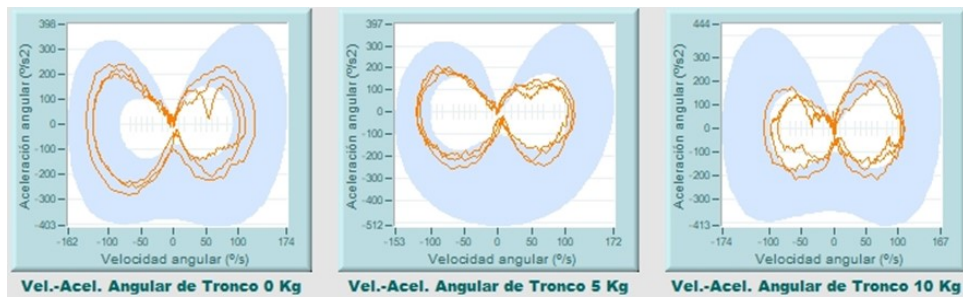
Graphische Ergebnisse: Stellt die Winkelgeschwindigkeit gegenüber der Winkelbeschleunigung des Rumpfes während der Analyse der Sitz-Steh-Aktivität dar.

Interpretation der Ergebnisse: **Links:** Schnelle Bewegung zur Durchführung der bewerteten Aktivität. Sie liegt innerhalb eines normalen funktionellen Bewegungsmusters. **Rechts:** Langsame Bewegung weg von einem normalen Muster in der Gesamtausführung der Bewegung, die mit Schmerzen im unteren Rückenbereich verbunden sein kann.

Aktivität: Heben eines Gewichts

Test: Biomechanische Bewertung der Aktivität des Hebens eines Gewichts.

NORMAL



PATHOLOGISCH

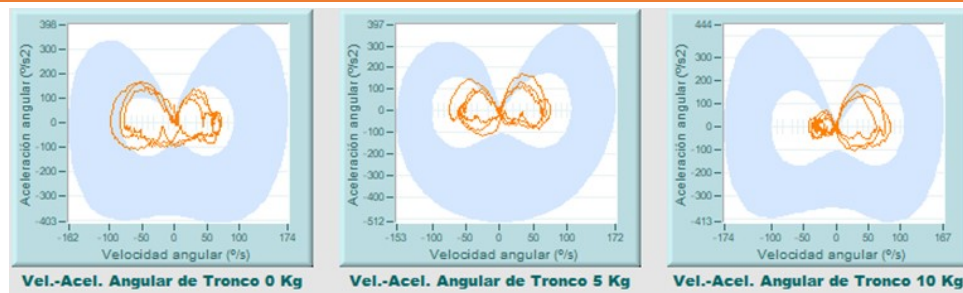


Abbildung 8. Winkelgeschwindigkeit gegenüber der Winkelbeschleunigung der Wirbelsäule während der Aktivität des Hebens eines Gewichts.

Messtechnik: Photogrammetrie, Inertialsysteme oder Inklinometer.

Art der Analyse: Kinematisch.

Graphische Ergebnisse: Winkelbeschleunigung gegen Winkelgeschwindigkeit des Rumpfes in verschiedenen aufgezeichneten Wiederholungen der Bewegung des Hebens eines Gewichts. Das Ergebnis für steigende Gewichte ist von links nach rechts dargestellt.

Interpretation der Ergebnisse: **Oben:** Normale Winkelbeschleunigung und Geschwindigkeit des Rumpfes für alle gehobenen Gewichte (das blaue Band repräsentiert das normale Muster von Beschleunigung und Geschwindigkeit in dieser Bewegung), was eine gute Beweglichkeit und Geschwindigkeit in der ausgeführten Bewegung impliziert. **Unten:** Niedrige Beschleunigung und Geschwindigkeit in allen Bewegungen, was eine langsame Rumpfbewegung bedeutet. Langsamere Bewegungen werden beobachtet, wenn das Gewicht erhöht wird, daher wird die Bewegung schlechter, wenn die gehandhabte Last steigt.

Kraftbeurteilung. Isokinetik

Eine weitere Körperfunktion, die mit einer biomechanischen Analysetechnik und einem gut etablierten Protokoll analysiert werden kann, ist die Muskelkraft. Die Beziehung zwischen der Rumpfmuskelstärke und Kreuzschmerzen ist wichtig. Darüber hinaus ist bekannt, dass Bewegung und Rückentraining sowohl bei der Behandlung als auch bei der Vorbeugung von Kreuzschmerzen helfen.

Die am weitesten verbreitete Methode zur Beurteilung der Kraft bei Menschen mit Kreuzschmerzen ist eine isokinetische Analyse. Der Nachteil ist, dass sich die meisten Publikationen zur Lendenwirbelsäulen-Isokinetik auf normale Menschen konzentrieren, sehr wenige auf Menschen mit Kreuzschmerzen.

Auf einer allgemeinen Ebene zeigen die Ergebnisse dieser Arbeiten eine signifikante Abnahme des Drehmoments sowohl für die Beuger- als auch für die Streckermuskeln bei allen Patienten mit Kreuzschmerzen, unabhängig vom Geschlecht. Darüber hinaus ist das Verhältnis zwischen Extensoren und Flexoren im Vergleich zur gesunden Bevölkerung umgekehrt, es besteht also eine allgemeine Schwäche der Extensoren im Vergleich zu den Flexoren.

Eine weitere Erkenntnis beim Vergleich der normalen Ergebnisse mit denen von Personen mit Schmerzen im unteren Rückenbereich ist, dass die Geschwindigkeit der Bewegung während der Beurteilung den Grad der Abnahme der Muskelkraft im Vergleich zu einer gesunden Bevölkerung beeinflusst.

Bislang haben wir die Ergebnisse in der Frontalebene diskutiert. Wenn wir auch die axiale Ebene betrachten, ist die Rotationskraft bei Personen mit Schmerzen im unteren Rückenbereich im Vergleich zur Rotationskraft von Personen ohne Schmerzen ebenfalls eingeschränkt. Dennoch ist die Abnahme der aufgezeichneten Kraft viel geringer als die Abnahme, die in der Sagittalebene gefunden wurde. Es sollte nochmals darauf hingewiesen werden, dass die Ergebnisse keine Unterschiede nach Geschlecht aufwiesen.

Die Arbeit von Dvir et al.¹⁶ enthält verschiedene Arbeiten über Isokinetik und Kreuzschmerzen von Mayer et al.^{17,18,19}, die von den Studenten, die an diesem Test und seinen Ergebnissen bei Pathologien der Lendenwirbelsäule interessiert sind, durchgesehen werden sollten. Diese Referenzen sind unten aufgeführt. Sie sollten jedoch vom Lehrer überprüft werden, bevor er sie den Schülern empfiehlt.

- Smith, S. S., Mayer, T. G., Gatchel, R. J., & Becker, T. J. (1985). Quantifizierung der lumbalen Funktion. Teil 1: Isometrische und multispeed-isokinetische Rumpfkraftmessungen in sagittaler und axialer Ebene bei normalen Probanden. *Spine*, 10(8), 757-764.
- Mayer, T. G., Smith, S. S., Keeley, J. A. N. I. C. E., & Mooney, V. E. R. T. (1985). Quantifizierung der lumbalen Funktion. Teil 2: Rumpfkraft in der Sagittalebene bei Patienten mit chronischen Schmerzen im unteren Rückenbereich. *Spine*, 10(8), 765-772.
- Mayer, T. G., Smith, S. S., Kondraske, G., Gatchel, R. J., Carmichael, T. W., & Mooney, V. E. R. T. (1985). Quantifizierung der lumbalen Funktion. Teil 3: Vorläufige Daten zu isokinetischen Torso-Rotationstests mit myoelektrischer Spektralanalyse bei normalen Personen und Personen mit Schmerzen im unteren Rückenbereich. *Spine*, 10(10), 912-920.

Beurteilung der Muskelaktivität. Oberflächen-Elektromyographie

Das Flexions-Relaxations-Phänomen (FRP) ist einer der am besten untersuchten physiologischen Indikatoren für Schmerzen im unteren Rückenbereich. Die Analyse der Muskelreaktion durch Oberflächen-Elektromyographie-Signale deutet darauf hin, dass es Veränderungen im EMG-Signal während Rumpfbeugeaufgaben gibt.²⁰ Bei gesunden Menschen gibt es ein spezifisches Aktivierungsmuster des M. erector spinae, das mit einer ebenfalls spezifischen Interaktion von Lenden- und Beckenbewegung während der Rumpfbeugung und -streckung gekoppelt ist. Diese Wirbelsäulen-Becken-Interaktion wird als "lumbopelviner Rhythmus" bezeichnet.²¹

Die klassischen Studien von Floyd et al.^{22,23} zeigten das Fehlen des Flexions-Relaxations-Phänomens bei Patienten mit Kreuzschmerzen, was später in zahlreichen Studien beobachtet wurde.^{20,21,24,25,26} Diese Autoren beobachteten unter anderem auch eine höhere durchschnittliche Aktivität des Erector spinae am Ende der Flexion bei Patienten mit Kreuzschmerzen. Ähnlich beobachteten Nouwen et al.²⁴ eine Abnahme der durchschnittlichen Aktivität des Erector spinae in der Extension, während Sihvonen²¹ und Shirado²⁵ eine Abnahme der maximalen Amplitude des EMG in der Extension feststellten.

Eine anhaltende Aktivierung der Lendenwirbelsäulenaufrechter Muskeln während der vollen Rumpfbeugung wird typischerweise bei Personen mit Kreuzschmerzen als schützende "Schiene"-Reaktion beobachtet, um die lumbale Stabilisierung als Reaktion auf Schmerzen oder Gewebeerletzungen zu erhöhen.²⁷ Es wurde festgestellt, dass das FRP-Defizit bei Patienten mit Kreuzschmerzen mit Schmerzen²⁸, selbstberichteter Behinderung²⁰ und Angst vor Schmerzen oder erneuter Verletzung assoziiert ist.²⁹

Das Fehlen von FRP bei Patienten mit Schmerzen im unteren Rückenbereich wurde auch mit Muskelspasmen³⁰, reduziertem Bewegungsumfang und verstärkten Dehnungsreflexen in Verbindung gebracht.³¹

Allerdings sind die Ergebnisse nicht einheitlich, was es schwierig macht, schlüssige Vorstellungen zu entwickeln. Die Gründe, die zur Erklärung dieser mangelnden Homogenität der Ergebnisse angegeben werden, sind²⁵:

- **Vielfalt in den Einschlusskriterien**, die Variationen in den Charakteristika der Schmerzanamnese aufweisen und Patienten mit unterschiedlichen klinischen Diagnosen innerhalb der gleichen Gruppe einschließen, oder andere Einflussfaktoren wie z.B. die Gelenkklaxität.
- Unterschiede in den **Bedingungen der dynamischen Tests zur Beurteilung der Funktion des Rückens** (Kadenz/Koordination der Rumpf-/Hüftbewegungen, Leistungsgeschwindigkeit und die Messtechnik selbst).
- Unterschiede in der **Homogenität der Gruppen** (Kondition, Kraft, Alter, Geschlechterverteilung).

Test: Beurteilung des Flexions-Relaxations-Phänomens der Lendenwirbelsäule.

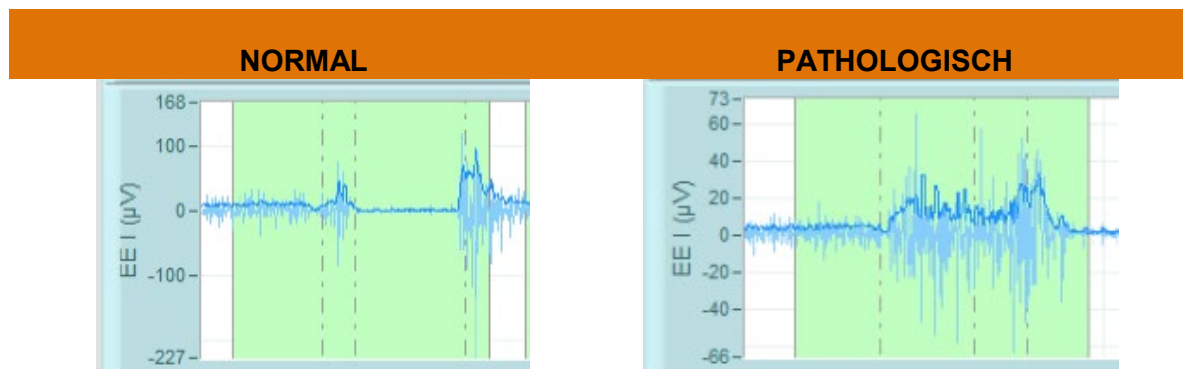


Abbildung 9. Elektromyographisches Signal des linken spinalen Erektors.

Messverfahren: Oberflächen-Elektromyographie.

Graphische Ergebnisse: Muskelaktivität des linken spinalen Erektors während einer Aktivität mit maximaler Rumpfbeugung und -streckung.

Interpretation der Ergebnisse: Links: Signalaufzeichnung, die der myoelektrischen Stille bei maximaler Wirbelsäulenflexion ähnelt. **Rechts:** Abwesenheit von myoelektrischer Stille, die im biomechanischen Test der Flexions-Relaxation aufgezeichnet wurde, was mit einer fehlenden Entspannung der Wirbelsäulenaufrichter bei einem Prozess des niedrigen Rückenschmerzes vereinbar ist.

In der gesunden Bevölkerung ist die Oberflächen-EMG-Antwort des Flexions-Relaxations-Phänomens durch **drei** klar definierte **Phasen** gekennzeichnet; bei Patienten mit Kreuzschmerzen sind diese Grenzen jedoch viel weniger unterscheidbar.

4. Zervikale Beurteilung. Klinischer Fall

Fall: 49 Jahre alte Frau.

Beruf: Schulpsychologe. Leiterin eines Kindergartens.

Krankenakte: Nicht relevant.

Krankheitsbild, das zu einer Krankschreibung führt: Nackenschmerzen nach Verkehrsunfall, Auffahrunfall.

Durchgeführte diagnostische Tests und Ergebnisse: Das Röntgenbild in der Notaufnahme zeigte eine Zervikalrektifikation.

Die zervikale Kernspintomographie zeigte Bandscheibenvorwölbungen an C4-C5 und C5-C6 mit leichter biforaminaler und spinaler Kanalstenose vorwiegend an C5-C6.

Verordnete Behandlung: Rehabilitation.

Verlauf: Bei der ersten Beurteilung im Sprechzimmer berichtet sie über Schmerzen im Halsbereich, die ihre Aktivitäten einschränken.

Körperliche Untersuchung: Schmerzen bei der Palpation der paravertebralen Muskeln und eingeschränkte Beweglichkeit bei seitlichen Flexionen und Rotationen.

Angesichts dieses klinischen Bildes wurde ein biomechanischer Test durchgeführt, um ihren Behinderungsprozess zu überwachen. Der Test ermöglichte eine Objektivierung der Beweglichkeit der Halswirbelsäule unter Berücksichtigung sowohl der Bewegungsbereiche als auch der Geschmeidigkeit der Bewegungen, die durch Schmerzen beeinträchtigt sein können. Wie Sie später sehen können, zeigt die erste Bewertung ein Muster einer signifikanten Funktionsstörung mit einer deutlichen Einschränkung der zervikalen Mobilität. Der Patient begann eine rehabilitative Behandlung und eine weitere biomechanische Beurteilung wurde nach 19 Reha-Sitzungen durchgeführt, die eine deutliche Verbesserung der Einschränkung zeigte. Das Ziel dieser Tests war es, ein objektiveres Maß für diese Einschränkung zu haben, das als Kontrolle bei nachfolgenden Beurteilungen verwendet werden konnte.

Als nächstes werden die Ergebnisse der biomechanischen Beurteilung detaillierter besprochen, damit der Kursteilnehmer sich mit ihnen vertraut machen und ihre Nützlichkeit beurteilen kann.

Biomechanischer Bewertungstest: Beurteilung der Halswirbelsäule mit einem biomechanischen Test

Dieser Test analysiert kinematisch die Bewegung der Halswirbelsäule, um abnormale oder nicht funktionale Bewegungsmuster als Folge einer schmerzhaften Halswirbelsäulenerkrankung zu erkennen.

Das verwendete **Bewertungssystem** besteht aus einem 3D-Photogrammetriesystem. Für die Auswertung werden die erhaltenen Parameter mit denen einer Gruppe von Probanden verglichen, deren Eigenschaften mit denen des Patienten vergleichbar sind (Datenbanken aus normalen und pathologischen Daten, zusammengestellt vom IBV).

Das **verwendete Messprotokoll** besteht aus dem folgenden Test:

Limit-Test. Er analysiert die funktionellen Grenzen der Bewegung in jeder Raumrichtung. Bei jeder Messung wird der Patient aufgefordert, wiederholte Zyklen jeder Bewegung, die kontinuierlich analysiert wird, in einer schnellen, aber angenehmen Geschwindigkeit und unter Erreichen des maximalen Gelenkbereichs für 30 Sekunden auszuführen.

Ergebnisse des biomechanischen Bewertungstests

1. Ergebnisse der Zervikalbeurteilung zu Beginn des Krankenstandes

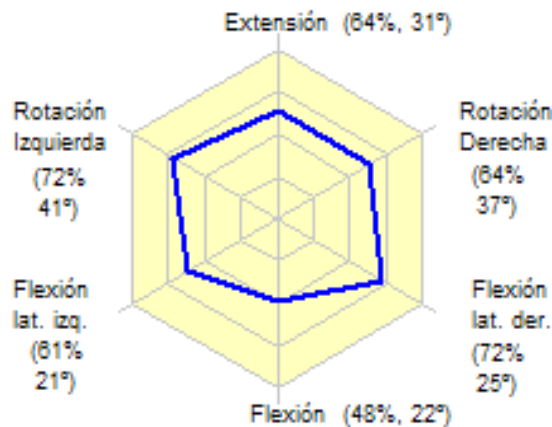


Abbildung 10. Visuelles Sechseck des Bewegungsbereichs zusammen mit seinem Prozentsatz der Normalität.

HINWEIS: Mobilitätswerte werden auch als Prozentwert angezeigt. Der Prozentwert gibt an, wie weit das erzielte Ergebnis vom normalen Bewegungsmuster des verwendeten Messsystems entfernt ist. So bedeuten Werte über 90 %, dass sie über dem normalen Muster liegen, während Werte unter 90 % anzeigen, dass sie sich von diesem Muster wegbewegen und folglich der Mangel größer ist.

Die erzielten Bewegungsbereiche in jeder Bewegungsachse der Halswirbelsäule sind global reduziert. Bei dieser Analyse ist die Abweichung von der Normalität des Flexions-Extensionsbereichs besonders auffällig, vor allem bei der zervikalen Flexion. Abbildung 13 zeigt, wie die Gelenkbereiche aller Bewegungen reduziert sind, wobei die Flexion die am meisten eingeschränkte Bewegung ist (22°).

Im Hinblick auf die Beweglichkeit der Halswirbelsäule in Bezug auf die Bewegungsgeschwindigkeit wurden folgende Ergebnisse erzielt:

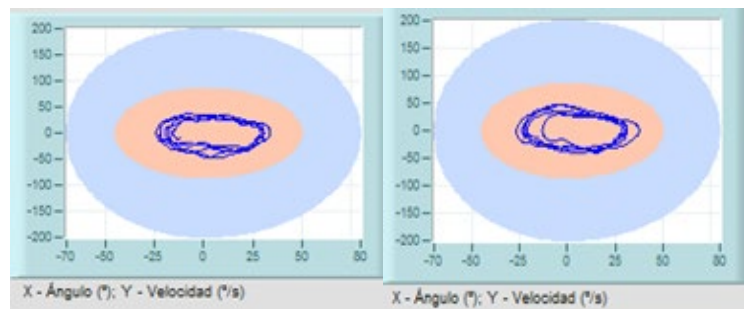


Abbildung 11. Flexions-Extensions-Test von zwei aufeinanderfolgenden Messungen.

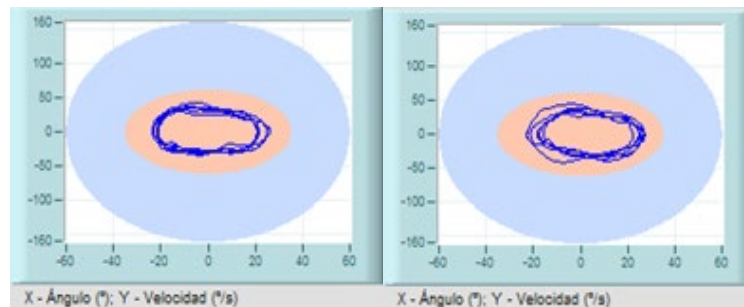


Abbildung 12. Lateralflexionstest von zwei aufeinanderfolgenden Messungen.

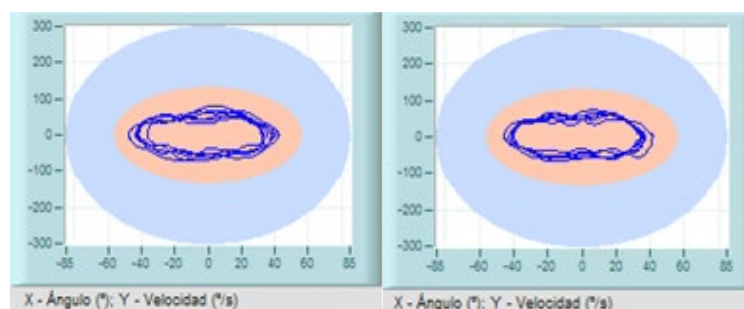


Abbildung 13. Rotationstest von zwei aufeinanderfolgenden Messungen.

In Abbildung 11, Abbildung 12 und Abbildung 13 sehen Sie die Geschwindigkeitswerte auf der Ordinatenachse und den maximal erreichten Winkel auf der Abszissenachse dargestellt. Das Wichtige an dieser Grafik ist das blaue Normalitätsband, das die Bewegung von Personen ohne jegliche Pathologie darstellt, die das gleiche Alter und Geschlecht wie der Patient haben. Dieses Bewegungsmuster wurde mit der gleichen Bewertungsausrüstung berechnet, die auch bei diesem Patienten verwendet wurde. Sie können sehen, dass sich die gesamte Aufzeichnung innerhalb des lachsfarbenen Bereichs befindet, was bedeutet, dass die Winkelgeschwindigkeiten und Bewegungen des Patienten weit vom normalen Muster entfernt und daher stark eingeschränkt sind, was mit einem durch Schmerzen eingeschränkten Bewegungsmuster vereinbar ist.

Die Wiederholbarkeit zwischen demselben Test war hoch, wie man an der Ähnlichkeit der Aufzeichnungen beim Vergleich derselben Bewegung sehen kann. Dieser Parameter ist einer der Aspekte, die bei der Analyse der Aufrichtigkeit der Anstrengung des Patienten während der Beurteilung berücksichtigt werden.

Mit diesem Ergebnis und in Übereinstimmung mit der körperlichen Untersuchung wird eine erhebliche Einschränkung der Mobilität der Patientin festgestellt, was bedeutet, dass sie sich noch in einer akuten Phase der Verletzung befindet und dass es notwendig ist, den Krankheitsverlauf fortzusetzen; deshalb muss die Patientin unter einem rehabilitativen Behandlungsprogramm bleiben.

Nach 19 Sitzungen der physikalischen Behandlung ist eine neue Beurteilung vorgesehen. Bei der folgenden Beurteilung war die Patientin praktisch asymptotisch. Ihre zervikale Mobilität war normal und die Beurteilung zeigte keine signifikanten Daten. Eine neue biomechanische Beurteilung wurde durchgeführt, um die Verbesserung zu objektivieren. Die Ergebnisse sind unten dargestellt:

2. Ergebnisse der zervikalen Beurteilung am Ende der Rehabilitationsbehandlung

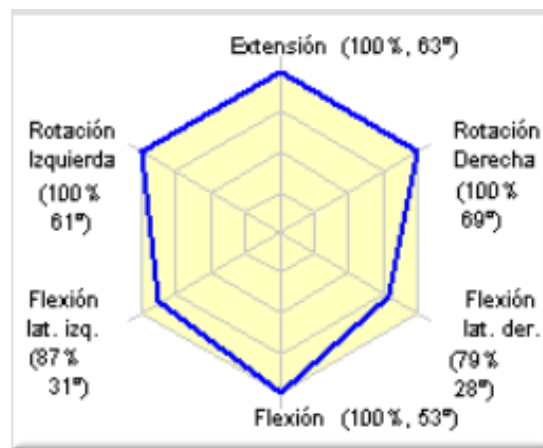


Abbildung 15. Visuelles Sechseck des Bewegungsumfangs nach einem 2-monatigen Fortschritt zusammen mit dem Prozentsatz der Normalität.

Die erzielten Bewegungsbereiche in jeder Bewegungsachse waren praktisch normal. In Flexion-Extension wurde ein Durchschnittswert von 106° erreicht. Bei der Lateralflexion wurde ein Wert von 59° erreicht. Schließlich betrug der Durchschnittswert für Rotationen 130° .

Besonders auffällig ist, dass der Bereich der seitlichen Beugungen leicht von der Normalität abweicht.

Hinsichtlich der Beweglichkeit der Wirbelsäule in Bezug auf die Bewegungsgeschwindigkeit waren die Ergebnisse wie folgt:

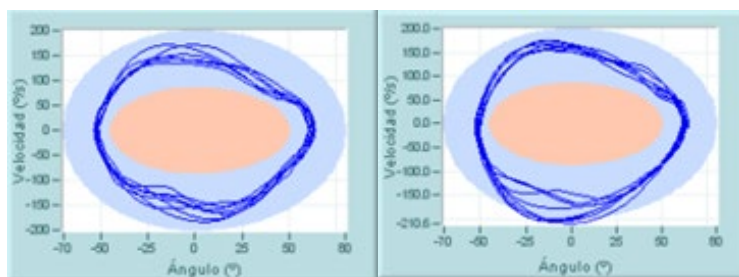


Abbildung 16. Zervikaler Flexions-Extensionstest von zwei aufeinanderfolgenden Messungen.

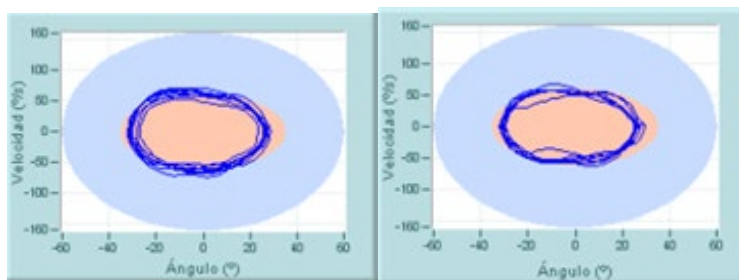


Abbildung 17. Zervikaler Lateralflexionstest von zwei aufeinanderfolgenden Messungen.

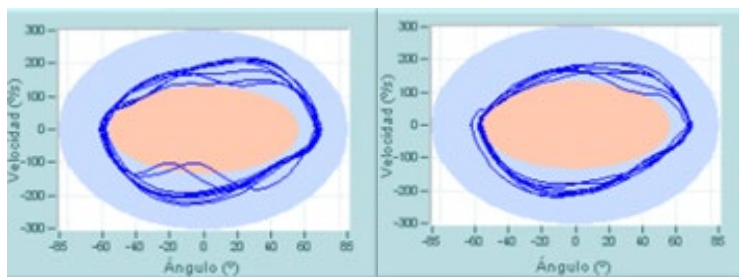


Abbildung 18. Zervikaler Rotationstest von zwei aufeinanderfolgenden Messungen.

Die Graphen zeigen nun, dass die gesamte Abtastung im normalen Bereich liegt (blaue Farbe). Dies bedeutet, dass der Patient die Bewegungen mit normalen Winkelgeschwindigkeiten und mit normaler Beweglichkeit ausführt, was darauf hinweist, dass der Schmerz die bewertete Funktion nicht mehr beeinträchtigt.

In Anbetracht der Ergebnisse der zervikalen Funktionsbeurteilung können wir schlussfolgern, dass die frühere Pathologie oder/und die berichteten Symptome keinen signifikanten aktuellen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit dieses Patienten haben, basierend auf den Werten, die für die verschiedenen analysierten Parameter erhalten wurden, was das Vorhandensein eines normalen Funktionsniveaus bestätigt.

Fortschritt: Er war günstig. Die Symptome sind verschwunden und am Ende der Behandlung ist der Patient genesen. Bei der körperlichen Untersuchung ist der Allgemeinzustand gut. Kein Schmerz bei Palpation der zervikalen Dornfortsätze. Vollständige Gelenkbeweglichkeit in allen Bewegungsbögen. Unbehagen bei der Palpation des linken Trapezius ohne Kontrakturen.

Der Patient kann zur Arbeit zurückkehren.

5. Lumbale Beurteilung. Klinischer Fall

Fall: 47-jähriger Mann.

Beruf: Schweißer.

Krankenakte: Frühere Ereignisse mit Kreuzschmerzen.

Krankheitsbild, das zu Krankschreibungen führt: Kreuzschmerzen nach Anstrengungen am Arbeitsplatz.

Durchgeführte diagnostische Tests und deren Ergebnisse: Die vorangegangene lumbale NMR zeigte eine degenerative Bandscheibenerkrankung bei L4-L5 und einen nach links lateralisierten Bandscheibenvorfall bei L5-S1 mit möglicher Beteiligung der S1-Wurzel.

Verordnete Behandlung: Rehabilitation.

Verlauf: Bei der ersten Konsultation berichtete der Patient über Schmerzen und eingeschränkte Bewegungen der Lendenwirbelsäule.

Körperliche Untersuchung: Zu Beginn betrug die Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule 45° bei der lumbalen Flexion und 5° bei der Extension. Er berichtete über Schmerzen bei lumbaler Extension und bei Palpation der lumbalen Dornfortsätze und des rechten Iliosakralgelenks. Beidseitig negatives Lasègue-Zeichen.

Aufgrund der eingeschränkten lumbalen Beweglichkeit des Patienten wurden während der Überwachung seines Krankenstandes zwei biomechanische lumbale Bewertungstests durchgeführt. Die erste Beurteilung, die nach 17 Tagen Krankenstand durchgeführt wurde, zeigt ein Muster einer leichten Funktionseinschränkung. Angesichts dieser objektivierten Einschränkung und der bei der körperlichen Untersuchung festgestellten Anzeichen setzt der Patient die Rehabilitationsprogramme fort und zeigt bei einer zweiten Bewertung 7 Wochen nach der Krankschreibung eine deutliche Verbesserung.

Die Ergebnisse der durchgeführten Tests werden im Folgenden näher erläutert:

Biomechanischer Bewertungstest: Beurteilung der Lendenwirbelsäule mittels eines biomechanischen Tests

Das **Ziel** dieses Tests ist es, sowohl dynamisch als auch kinematisch die Aktivität zu analysieren, die durch eine schmerzhafte Pathologie der Lendenwirbelsäule eingeschränkt sein kann, und abnormale oder nicht funktionelle Bewegungen zu erkennen.

Das verwendete **Bewertungssystem** besteht aus 2 dynamometrischen Plattformen und einem 3D-Fotogrammetriesystem. Zur Durchführung der Funktionsbeurteilung vergleicht das System automatisch die ermittelten Parameter mit denen einer Gruppe von Probanden, deren Merkmale mit dem Alter und Geschlecht des beurteilten Patienten vergleichbar sind.

Das **bei diesem Patienten verwendete Messprotokoll** beinhaltet die Durchführung von zwei Bewegungen:

Aufstehen von einem Stuhl - Diese Bewegung analysiert biomechanisch die Aktivität des Aufstehens aus einer sitzenden in eine stehende Position.



Abbildung 19. Biomechanischer und funktioneller Bewertungstest der Sitz-Steh-Bewegung unter Verwendung eines Photogrammetriesystems und dynamometrischer Plattformen.

Gewicht heben - Diese Bewegung analysiert biomechanisch die Aktion des Bückens, um ein Gewicht aufzunehmen, zu heben und von einer niedrigen Ebene auf eine höhere Ebene zu bewegen. Es werden Boxen von 0,5 kg und 10 kg verwendet.



Abbildung 20. Biomechanischer und funktioneller Bewertungstest unter Verwendung eines Photogrammetriesystems und dynamometrischer Plattformen zur Bewertung der Bewegung des Bückens, Aufnehmens und Hebens eines Gewichts.

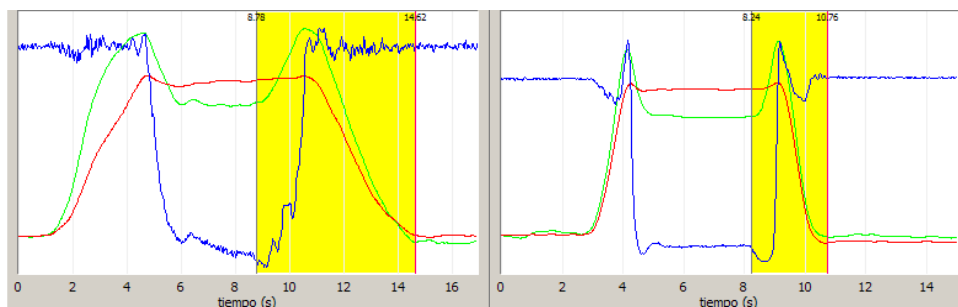
Ergebnisse des biomechanischen Bewertungstests

1. Ergebnisse der Lumbalbeurteilung nach 17 Tagen Krankenstand

Die Graphen, die die vom Patienten ausgeführte Bewegung darstellen, werden unten zusammen mit den Graphen einer normalen Bewegung (einer Person ohne Schmerzen oder Lumbalpathologie, deren Merkmale denen des Patienten ähnlich sind) gezeigt, damit Sie sie vergleichen können.

Zeit, in Sekunden, die benötigt wird, um die aufgezeichneten Bewegungen auszuführen:

AUFSTEHEN VON EINEM STUHL



HEBEN EINES GEWICHTS

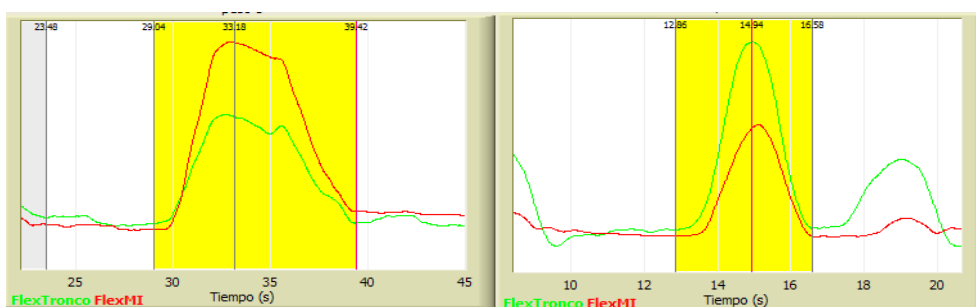


Abbildung 21. Der gelbe Streifen stellt die Gesamtzeit in Sekunden (Abszissenachse) dar, die für die vollständige Ausführung der Bewegung benötigt wird. Das Bild auf der linken Seite zeigt die Aufzeichnung des Patienten, während das Bild auf der rechten Seite eine Person ohne Pathologie oder Schmerzen zeigt.

Bei dieser ersten Beurteilung braucht der Patient viel Zeit, um die verschiedenen analysierten Bewegungen auszuführen. Sie können sehen, dass im Bild links der gelbe Streifen breiter ist als im Bild rechts (der Graph einer normalen Bewegung). Dieser Befund bedeutet, dass der Patient eine langsame Bewegung ausführt, sowohl um vom Stuhl aufzustehen (obere Graphen) als auch um sich zu bücken, ein Gewicht aufzuheben und es zu heben (untere Graphen). Diese Daten sind mit Schmerzen vereinbar.

Im Hinblick auf die **Geschwindigkeit und Beschleunigung der Bewegung bei diesen beiden Aktivitäten:**

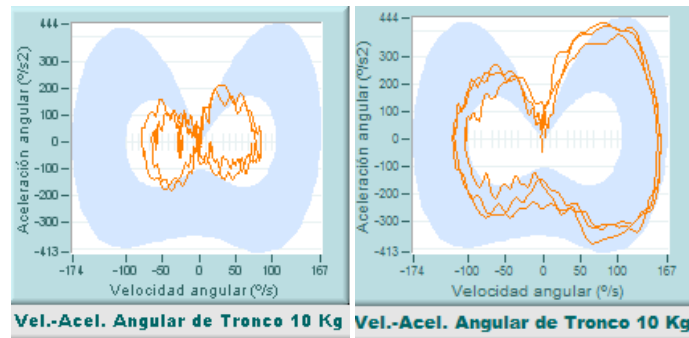


Abbildung 22. Darstellung der Winkelgeschwindigkeit/Beschleunigung des Rumpfes für die drei Wiederholungen der Bewegung des Hebens von 10 kg, zusammen mit den Normalitätsbändern (blaues Band). Das Bild auf der linken Seite zeigt die Aufzeichnung des Patienten, das auf der rechten Seite die Aufzeichnung einer Person ohne Pathologie oder Schmerzen.

Sowohl die Geschwindigkeiten als auch die Beschleunigungen nehmen ab, wenn sich der Patient bückt, das Gewicht aufnimmt und anhebt. In den Diagrammen sehen Sie die Geschwindigkeitswerte auf der Abszissenachse und die Beschleunigungen auf der Ordinatenachse dargestellt. Das Wichtige an dieser Grafik ist, dass das blaue Band, das die Normalität darstellt, die Bewegung von Menschen ohne Pathologie berücksichtigt, die das gleiche Geschlecht und Alter wie der Patient haben. Dieses Bewegungsmuster wurde mit denselben Messgeräten berechnet, die für diesen Patienten verwendet wurden. In der linken Grafik können Sie sehen, dass die Kurve im zentralen (weißen) Bereich gezeichnet wird. Dieser Bereich stellt die pathologischen oder funktionell veränderten Bewegungen dar. Das rechte Diagramm zeigt eine normale Bewegung: Sie können sehen, dass die orangefarbenen Linien, die die Wiederholungen darstellen, innerhalb des blauen Bereichs liegen, der die Bewegung einer normalen Bevölkerung oder von Menschen ohne Einschränkungen repräsentiert. Dieser Befund bedeutet, dass der Patient eine langsame Bewegung ausführt, sowohl beim Beugen des Rumpfes, um das Gewicht zu erreichen, als auch beim Heben des Gewichts. Diese Daten sind auch mit Schmerzen während der Bewegung vereinbar, in diesem Fall nehmen die Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Bewegungen ab.

Bezüglich der vertikalen Reaktionskraft jedes Fußes, die von jeder Plattform aufgezeichnet wird:

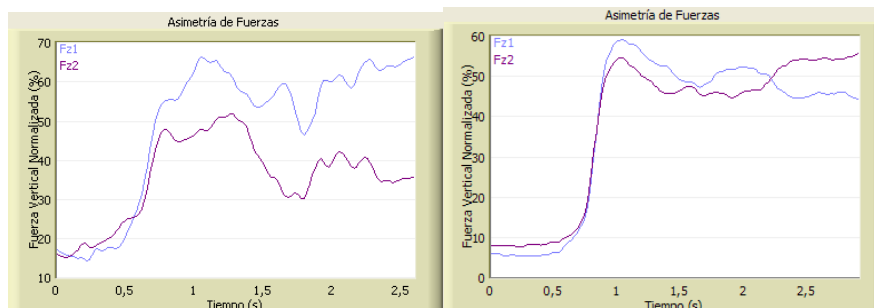


Abbildung 23. Gesamte normalisierte vertikale Kraft, die vom **rechten** Fuß (**Fz1**) und vom **linken** Fuß (**Fz2**) während der Ausführung der Sitz-Steh-Bewegung in einer der Wiederholungen ausgeführt wird. Das Bild auf der linken Seite zeigt die Aufzeichnung des Patienten, der bewertet wurde, während das Bild auf der rechten Seite eine Person ohne Pathologie oder Schmerzen zeigt.

Beachten Sie in dieser Grafik, dass die Kraft Fz1 (hellblau), die der Kraft entspricht, die der rechte Fuß beim Aufstehen ausübt, höhere Werte erreicht (ca. 60 %), während die Kraft Fz2, die vom linken Fuß ausgeübt wird, Werte um die 50 % erreicht. Normalerweise sind die Werte dieser Kräfte ähnlich, d.h. wir stehen auf und stützen und stabilisieren unseren Körper gleichmäßig auf beiden Beinen; wenn die Unterstützung eines der Glieder Schmerzen verursacht, vermeidet der Patient diese Unterstützung. Das Vorhandensein einer Asymmetrie der Kräfte, wobei die maximale vertikale Kraft in der rechten unteren Gliedmaße (hellblau in der Grafik) höher ist als in der gegenüberliegenden unteren Gliedmaße, könnte als Ergebnis der möglichen Radikulopathie des Patienten aufgrund des Bandscheibenvorfalles, der auf die linke Seite lateralisiert ist, interpretiert werden.

Zusätzlich wurde ein Test zur Bewertung der Muskelaktivität durchgeführt, indem das Flexions-Relaxations-Phänomen gemessen wurde. Das Ergebnis ist unten dargestellt:

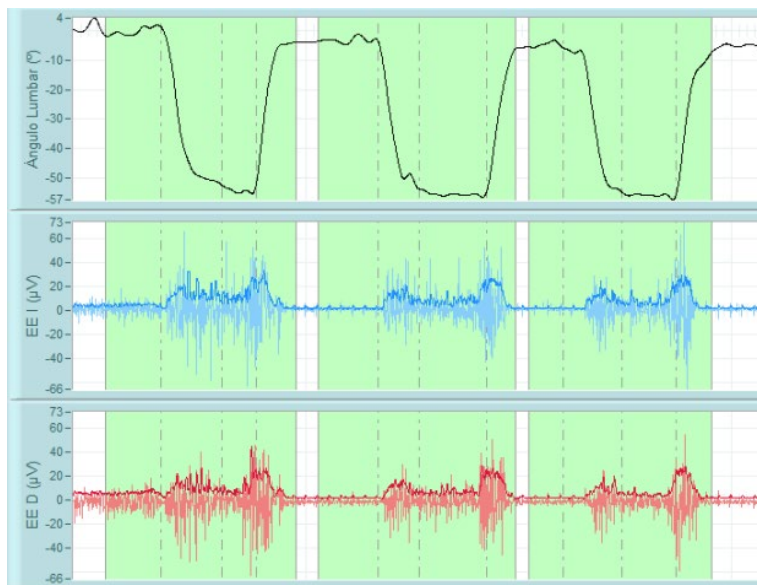


Abbildung 24. Kinematische und sEMG-Ergebnisse während des lumbalen Wirbelsäulen-Flexions-Relaxationstests.

Beim biomechanischen Test des Flexions-Relaxations-Phänomens wurde ein Fehlen der myoelektrischen Stille festgestellt, was mit der fehlenden Entspannung der Wirbelsäulenaufrichter bei Kreuzschmerzen vereinbar ist. Dieses Ergebnis stimmt mit den übrigen Ergebnissen der biomechanischen Beurteilung überein und deutet auf eine Veränderung der Bewegung aufgrund von Kreuzschmerzen hin.

Endgültige Entscheidung nach der biomechanischen Beurteilung

In Anbetracht der Ergebnisse der lumbalen Funktionsbeurteilung können wir schlussfolgern, dass die Pathologie oder die berichteten Symptome einen aktuellen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit dieses Patienten haben, basierend auf den objektiven Werten, die für die verschiedenen analysierten Parameter erhalten wurden, was die Existenz eines veränderten Funktionsniveaus bestätigt.

Angesichts dieser Ergebnisse und zusammen mit den Daten der körperlichen Untersuchung entscheidet der Arzt, der die vorübergehende Arbeitsunfähigkeit überwacht, über die Fortsetzung der Krankschreibung.

Der Patient setzte die Rehabilitationsbehandlung fort.

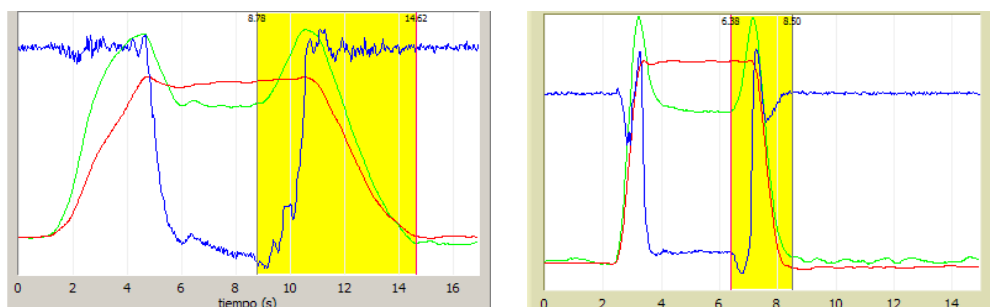
Sechseinhalb Wochen später wurde eine neue biomechanische Beurteilung durchgeführt. Bei der körperlichen Untersuchung der Lendenwirbelsäule zu diesem Zeitpunkt beträgt der Gelenkbewegungsbereich 80° Flexion und volle Extension. Beschwerden beim Abtasten der lumbalen Dornfortsätze und des rechten Iliosakralgelenks. Beidseitig negatives Lasègue-Zeichen.

2. Ergebnisse der lumbalen Beurteilung bei der anschließenden Überwachung

Die folgenden Diagramme stellen die vom Patienten ausgeführte Bewegung dar. Diese Informationen werden durch die Graphen der vorherigen Sitzung ergänzt, damit Sie sie leichter vergleichen können.

Zeit, in Sekunden, die für die Ausführung der aufgezeichneten Bewegungen benötigt wird.

AKTIVITÄT: AUFSTEHEN VON EINEM STUHL



TÄTIGKEIT: HEBEN EINES GEWICHTS

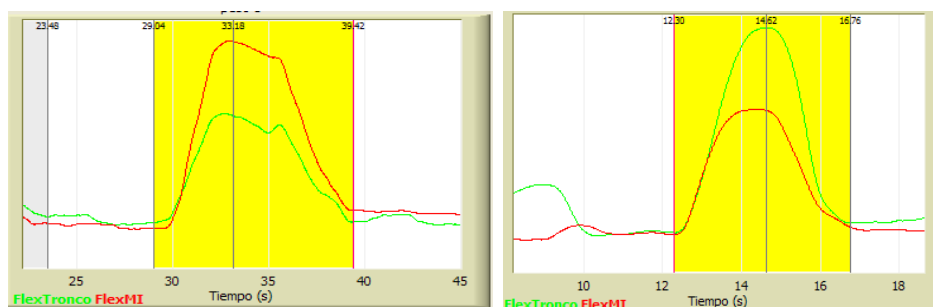


Abbildung 25. Der gelbe Streifen stellt die Gesamtzeit in Sekunden (Abszissenachse) dar, die für die Ausführung der kompletten Bewegungen benötigt wird. Das Bild auf der linken Seite zeigt die

Aufzeichnung des Patienten in der vorherigen Sitzung (funktionelle Veränderung) und das Bild auf der rechten Seite, den gleichen Patienten während der aktuellen Beurteilungssitzung.

Die Zeit, die der Patient benötigt, um die komplette Bewegung auszuführen, hat sich deutlich verbessert. Auf der linken Seite kann man sehen, dass der gelbe Streifen breiter ist, während er auf der rechten Seite deutlich reduziert ist; der Patient hat die Bewegung also schneller ausgeführt, was mit einer Verbesserung und weniger Schmerzen verbunden ist. Diese Verbesserung wurde sowohl bei der Aktivität des Aufstehens von einem Stuhl als auch bei der Aktivität des Bückens, des Aufnehmens eines Gewichts und des Hebens objektiviert.

Im Hinblick auf die **Geschwindigkeit und Beschleunigung der Bewegung bei diesen beiden Aktivitäten:**

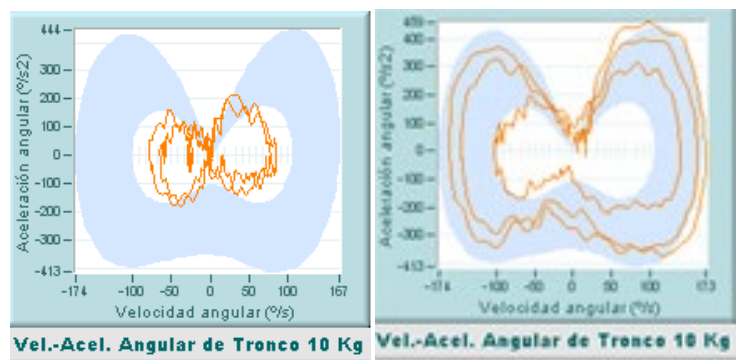


Abbildung 26. Darstellung der Winkelgeschwindigkeit/Beschleunigung des Rumpfes für die drei Wiederholungen der vom Patienten ausgeführten Bewegung zum Heben von 10 kg, zusammen mit ihren Normalitätsbändern. Das Bild auf der linken Seite zeigt die Aufzeichnung des Patienten aus der vorherigen Sitzung, das Bild auf der rechten Seite denselben Patienten während der aktuellen Sitzung.

Ein weiteres Ergebnis, das auf eine Verbesserung hindeutet, ist die Tatsache, dass der Patient nun in der Lage ist, die Bewegungen mit Geschwindigkeiten und Beschleunigungen auszuführen, die praktisch innerhalb der Normalität liegen. In der linken Grafik sahen wir, dass die grafische Darstellung vom blauen Band entfernt war (langsame Bewegung); im rechten Bild liegen diese Linien jedoch innerhalb des blauen Bandes, was bedeutet, dass sich die Bewegung in Bezug auf ihre Geschwindigkeitskomponenten normalisiert hat. Diese Daten unterstützen auch die Schlussfolgerung, dass der Patient nach der Behandlung adäquate Fortschritte und Verbesserungen erzielt hat.

Im Hinblick auf die **vertikale Reaktionskraft**, die mit zwei dynamometrischen Plattformen aufgezeichnet wurde:

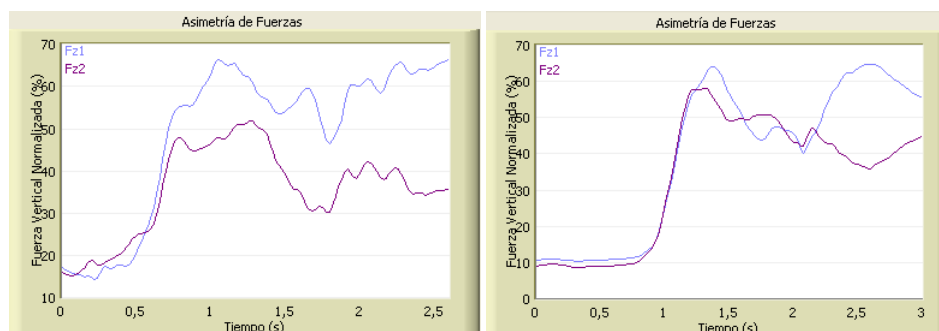


Abbildung 27. Die gesamte normalisierte vertikale Kraft, die vom **rechten** Fuß (**Fz1**) und vom **linken** Fuß (**Fz2**) während der Ausführung der Sitz-Steh-Bewegung in einer der Wiederholungen ausgeübt wird. Das Bild auf der linken Seite zeigt die Aufzeichnung des Patienten aus der vorherigen Sitzung, während das Bild auf der rechten Seite denselben Patienten während der aktuellen Sitzung zeigt.

Die Unterstützung hat sich auch an beiden unteren Gliedmaßen stabilisiert. Bei der vorherigen Bewertung gab es einen Unterschied in der Unterstützung beim Aufstehen vom Stuhl, wobei mehr Gewicht von der rechten Gliedmaße unterstützt wurde (hellblaue Linie Fz1), während bei der aktuellen Bewertung das von jedem Fuß unterstützte Gewicht praktisch gleich ist.

Die Gesamtbewertung dieses Tests lag bei 97 % der Normalität, was bedeutet, dass das aktuelle Bewegungsmuster dem von Menschen seines Alters und Geschlechts ohne jegliche Pathologie oder Schmerzen ähnelt. Daher deutet dieses Bewegungsmuster darauf hin, dass der Patient nicht funktionell eingeschränkt ist (mit dem angewendeten Protokoll betrachtet NedLumbar/IBV das Gesamtergebnis als funktionell normal, wenn es größer als 90 % ist).

Der Test zur Beurteilung der Wirbelsäulenbeugung und -entspannung wurde erneut durchgeführt, und das Ergebnis war wie folgt:

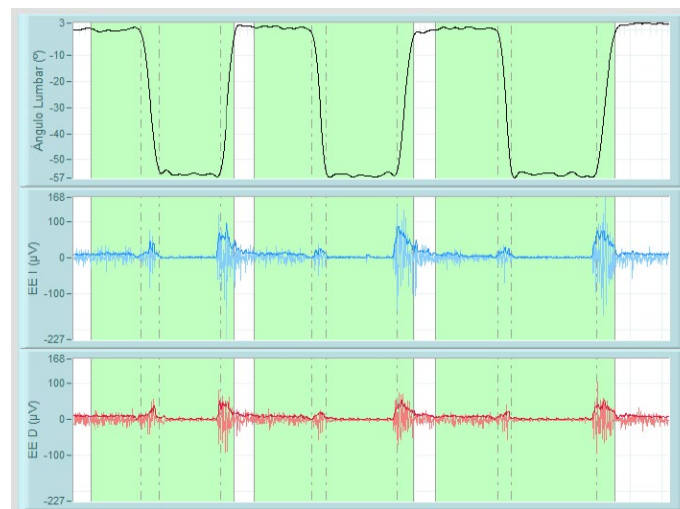


Abbildung 28. Kinematische und sEMG-Ergebnisse während des Flexions-Relaxations-Tests der Lendenwirbelsäule.

In Anbetracht der bei der lumbalen Funktionsbeurteilung erhaltenen Ergebnisse können wir schlussfolgern, dass die Pathologie oder die berichteten Symptome keinen aktuellen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit dieses Patienten haben, basierend auf den objektiven Werten, die für die verschiedenen analysierten Parameter erhalten wurden, was die Existenz eines normalen Funktionsniveaus bestätigt.

Verlauf: Bei der ersten Konsultation berichtete der Patient über Schmerzen und eingeschränkte Bewegung. Nach der verordneten Therapie und der erneuten Beurteilung berichtete er über eine Verbesserung, obwohl der Schmerz bei der Palpation des Lendenbereichs weiterhin besteht, aber seine Bewegungen nicht einschränkt. Am Ende der Behandlung berichtete der Patient über leichte Schmerzen bei der Palpation der lumbalen Dornfortsätze; das Iliosakralgelenk und die paravertebralen Muskeln sind jedoch bei der

Palpation nicht schmerzhaft. Die aktive lumbale Flexion beträgt 60° und volle Extension. Normale Lateralflexion und negatives Lasègue-Zeichen.

In Anbetracht der Tatsache, dass sich die Ergebnisse normalisiert haben und der Patient gute Fortschritte macht, entschied der Arzt, dass er wieder zur Arbeit gehen kann.

6. Wichtige Ideen

- Wirbelsäulenschmerzen haben eine hohe Prävalenz im klinischen Bereich und verursachen häufig eine Veränderung der Beweglichkeit der Wirbelsäule.
- Die biomechanischen Analysetechniken, die es uns ermöglichen, die Festigkeit und Beweglichkeit der Wirbelsäule zu kennen, liefern objektive Informationen über ihre Funktionalität.
- Der Bewegungsumfang sowohl der Lendenwirbelsäule als auch der Halswirbelsäule kann mit biomechanischen Analyseverfahren analysiert werden. Eingeschränkte Bewegungsbereiche sind ein häufiges Ergebnis bei Menschen mit Schmerzen.
- Die Kraft kann auch bei Personen mit Schmerzen im unteren Rückenbereich beurteilt werden, hauptsächlich mit isokinetischen Systemen. Zu den häufigsten Ergebnissen gehören eine Abnahme der Kraft zusammen mit Veränderungen im Verhältnis zwischen Agonist und Antagonist der Muskeln.
- Ein weiterer Test, der sich auf die Muskelaktivität bei Menschen mit Schmerzen im unteren Rücken bezieht, ist die Flexions-Relaxations-Analyse. Das Ergebnis dieses Tests ist normalerweise verändert, da das als myoelektrische Stille bekannte Phänomen verschwindet.
- Die Bewegungsmuster bei Aktivitäten des täglichen Lebens können auch bei Menschen mit Kreuzschmerzen beurteilt werden. Die Ergebnisse dieser biomechanischen Analyse messen die funktionelle Veränderung und dienen als Leitfaden zur Überwachung des Patientenfortschritts.
- Um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, erfordern all diese Tests hoch standardisierte Messprotokolle und eine gute Beherrschung der angewandten Aufzeichnungstechniken.

7. Referenzen

- [1] Prushansky, T., & Dvir, Z. (2008). La prueba de la movilidad cervical: metodología e implicaciones clínicas. *Osteopatía Científica*, 3(3), 108-114.
- [2] Dall'Alba, P. T., Sterling, M. M., Treleaven, J. M., Edwards, S. L., & Jull, G. A. (2001). Cervical range of motion discriminates between asymptomatic persons and those with whiplash. *Spine*, 26(19), 2090-2094.
- [3] Sterling, M., Jull, G., Vicenzino, B., Kenardy, J., & Darnell, R. (2003). Development of motor system dysfunction following whiplash injury. *PAIN®*, 103(1-2), 65-73.
- [4] Ohberg, F., Grip, H., Wiklund, U., Sterner, Y., Karlsson, J. S., & Gerdle, B. (2003). Chronic whiplash associated disorders and neck movement measurements: an instantaneous helical axis approach. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 7(4), 274-282.
- [5] Prushansky, T., Pevzner, E., Gordon, C., & Dvir, Z. (2006). Performance of cervical motion in chronic whiplash patients and healthy subjects: the case of atypical patients. *Spine*, 31(1), 37-43.
- [6] Grip, H., Sundelin, G., Gerdle, B., & Karlsson, J. S. (2008). Cervical helical axis characteristics and its center of rotation during active head and upper arm movements—comparisons of whiplash-associated disorders, non-specific neck pain and asymptomatic individuals. *Journal of biomechanics*, 41(13), 2799-2805.
- [7] Dvorak, J., Antinnes, J. A., Panjabi, M., Loustalot, D., & Bonomo, M. (1992). Age and gender related normal motion of the cervical spine. *Spine*, 17(10 Suppl), S393-8.
- [8] Baydal Bertomeu, J.M. "Análisis biomecánico del movimiento cervical mediante técnicas de origen cinemático. Contribución a la valoración objetiva de la discapacidad". Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. Valencia, 2012.
- [9] Sjölander, P., Michaelson, P., Jaric, S., & Djupsjöbacka, M. (2008). Sensorimotor disturbances in chronic neck pain—range of motion, peak velocity, smoothness of movement, and repositioning acuity. *Manual therapy*, 13(2), 122-131.
- [10] Ylinen, J., Salo, P., Nykänen, M., Kautiainen, H., & Häkkinen, A. (2004). Decreased isometric neck strength in women with chronic neck pain and the repeatability of neck strength measurements. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(8), 1303-1308.
- [11] Marras, W. S., & Wongsam, P. E. (1986). Flexibility and velocity of the normal and impaired lumbar spine. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 67(4), 213-217.
- [12] Yoshida, K., Iwakura, H., & Inoue, F. (1983). Motion analysis in the movements of standing up from and sitting down on a chair. A comparison of normal and hemiparetic

subjects and the differences of sex and age among the normals. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 15(3), 133-140.

[13] McClure, P. W., Esola, M., Schreier, R., & Siegler, S. (1997). Kinematic analysis of lumbar and hip motion while rising from a forward, flexed position in patients with and without a history of low back pain. *Spine*, 22(5), 552-558.

[14] Radebold, A., Cholewicki, J., Panjabi, M. M., & Patel, T. C. (2000). Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine*, 25(8), 947-954.

[15] Kralj, A., Jaeger, R. J., & Muni, M. (1990). Analysis of standing up and sitting down in humans: definitions and normative data presentation. *Journal of biomechanics*, 23(11), 1123-1138.

[16] Dvir, Z. (1991). Clinical applicability of isokinetics: a review. *Clinical Biomechanics*, 6(3), 133-144.

[17] Smith, S. S., Mayer, T. G., Gatchel, R. J., & Becker, T. J. (1985). Quantification of lumbar function. Part 1: Isometric and multispeed isokinetic trunk strength measures in sagittal and axial planes in normal subjects. *Spine*, 10(8), 757-764.

[18] Mayer, T. G., Smith, S. S., Keeley, J. A. N. I. C. E., & Mooney, V. E. R. T. (1985). Quantification of lumbar function. Part 2: Sagittal plane trunk strength in chronic low-back pain patients. *Spine*, 10(8), 765-772.

[19] Mayer, T. G., Smith, S. S., Kondraske, G., Gatchel, R. J., Carmichael, T. W., & Mooney, V. E. R. T. (1985). Quantification of lumbar function. Part 3: Preliminary data on isokinetic torso rotation testing with myoelectric spectral analysis in normal and low-back pain subjects. *Spine*, 10(10), 912-920.

[20] Triano, J. J., & Schultz, A. B. (1987). Correlation of objective measure of trunk motion and muscle function with low-back disability ratings. *Spine*, 12(6), 561-565.

[21] Sihvonen, T., Partanen, J., Hänninen, O., & Soimakallio, S. (1991). Electric behavior of low back muscles during lumbar pelvic rhythm in low back pain patients and healthy controls. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 72(13), 1080-1087.

[22] Floyd, W. F., & Silver, P. H. S. (1950). Electromyographic study of patterns of activity of the anterior abdominal wall muscles in man. *Journal of Anatomy*, 84(Pt 2), 132.

[23] Floyd, W. F., & Silver, P. H. S. (1955). The function of the erector spinae muscles in certain movements and postures in man. *The Journal of physiology*, 129(1), 184-203.

[24] Nouwen, A., Van, P. A., & Versloot, J. M. (1987). Patterns of muscular activity during movement in patients with chronic low-back pain. *Spine*, 12(8), 777-782.

[25] Shirado, O., Ito, T., Kaneda, K., & Strax, T. E. (1995). Concentric and eccentric strength of trunk muscles: influence of test postures on strength and characteristics of patients with chronic low-back pain. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 76(7), 604-611.

[26] Paquet, N., Malouin, F., & Richards, C. L. (1994). Hip-spine movement interaction and muscle activation patterns during sagittal trunk movements in low back pain patients. *Spine*, 19(5), 596-603.

[27] Lund, J. P., Donga, R., Widmer, C. G., & Stohler, C. S. (1991). The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 69(5), 683-694.

[28] Ahern, D. K., Follick, M. J., Council, J. R., Laser-Wolston, N., & Litchman, H. (1988). Comparison of lumbar paravertebral EMG patterns in chronic low back pain patients and non-patient controls. *Pain*, 34(2), 153-160.

[29] Geisser, M. E., Haig, A. J., Wallbom, A. S., & Wiggert, E. A. (2004). Pain-related fear, lumbar flexion, and dynamic EMG among persons with chronic musculoskeletal low back pain. *The Clinical journal of pain*, 20(2), 61-69.

[30] Yuan, T., Liu, Q., & Ai, Q. (2010, December). Study on Best Wavelet Packet Based Independent Threshold De-noising for MUAP. In 2010 *Second World Congress on Software Engineering* (Vol. 1, pp. 269-272). IEEE.

[31] Kumar, S., & Prasad, N. (2010). Torso muscle EMG profile differences between patients of back pain and control. *Clinical biomechanics*, 25(2), 103-109.



Die Unterstützung der Europäischen Kommission für die Erstellung dieser Veröffentlichung stellt keine Billigung des Inhalts dar, welcher nur die Ansichten der Verfasser wiedergibt, und die Kommission kann nicht für eine etwaige Verwendung der darin enthaltenen Informationen haftbar gemacht werden.

