

## 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 ANALISIE DER WIRBELSÄULE

#### D.3. Wie sieht eine normale biomechanische Beurteilung der Halswirbelsäule aus?



## Index

1. ZIELE2	
2. KLINISCHE UND BIOMECHANISCHE AUSWERTUNG	3
3. FUNKTIONELLE BEURTEILUNG DER HALSWIRBELSÄULE.	4
4. BEURTEILUNG DES ZERVIKALEN BEWEGUNGSUMFANGS (ROM)	6
<b>Auswertung mit Inklinometern</b> .....	7
5. KINEMATISCHE BEURTEILUNG DER HALSWIRBELSÄULE	12
6. KINEMATISCHE BEURTEILUNG BEI ADL	17
7. FESTIGKEITSBEURTEILUNG DER HALSWIRBELSÄULE	19
<b>Beurteilung der Muskelkraft. Zervikale Isometrien</b> .....	19
<b>Bewertung der muskulären Aktivität. Oberflächen-EMG</b> .....	21
8. WICHTIGE IDEEN	23
9. REFERENZEN	24

## 1. Ziele

---

- Erlernen des Zwecks der biomechanischen Beurteilung im klinischen Bereich.
- Erkennen normaler Ergebnisse bei einer biomechanischen Beurteilung der Halswirbelsäule.
- Sich mit der Interpretation der Ergebnisse einer zervikalen kinematischen Beurteilung bei einer normalen Population vertraut machen.
- Sich mit der Interpretation der Ergebnisse einer Beurteilung der zervikalen Muskelkraft in einer normalen Population vertraut machen.
- Das erlernte Wissen auf einen klinischen Fall anwenden.

## 2. Klinische und biomechanische Auswertung

---

Biomechanik ist die Analyse der Funktionsweise des menschlichen Körpers von einem mechanischen Standpunkt aus. Sie ist eine Wissenschaft, die den menschlichen Körper oder einen seiner Bestandteile aus mechanischer Sicht untersucht, also das Verhalten von Körpern studiert, die Kräften ausgesetzt sind. Dabei stützt sich die Biomechanik auf Erkenntnisse aus der Medizin, der Biologie, der Physik und dem Ingenieurwesen und findet unter anderem Anwendung in der klinischen biomechanischen Bewertung menschlicher Funktionen.

Die Kenntnisse der Biomechanik werden genutzt, um die funktionellen Auswirkungen einer bestimmten Wirbelsäulenverletzung oder -pathologie auf die Funktionen der Wirbelsäule (Beweglichkeit, Stütze und Schutz) objektiv zu analysieren. Diese Bewertung basiert auf der Anwendung von Messprotokollen, die Techniken mit Instrumenten verwenden und die in einem Labor für menschliche Bewegungsanalyse, also einem Biomechanik-Labor, durchgeführt werden. Die biomechanischen Tests zur Bewertung der Wirbelsäule ermöglichen eine Beurteilung ihrer Funktionsweise, d. h. der Leistung des neuromuskuloskeletalen Systems in Bezug auf die Mobilität, im Gegensatz zu den meisten klassischen Untersuchungen, bei denen die Person tatsächlich passiv ist.

Es ist wichtig, sich daran zu erinnern, dass der Zweck der biomechanischen Beurteilung darin besteht, das Vorhandensein einer funktionellen Veränderung in der Halswirbelsäule der zu beurteilenden Person objektiv zu bestätigen und zu quantifizieren, unabhängig davon, was diese verursacht haben könnte. Daher ersetzen diese Tests oder Bewertungen nicht die Anamnese oder eine körperliche Untersuchung des Patienten, und eine Analyse ihrer Ergebnisse muss im klinischen Bereich bleiben.

Details zu den in dieser Einheit erwähnten Messprotokollen finden Sie in der Lerneinheit D1, "Welche Protokolle gibt es für die zervikale biomechanische Beurteilung mit Instrumenten?"

Erinnern Sie sich an die Elemente, aus denen ein mechanischer Auswertungstest besteht:

- Welche **Funktion** wird bewertet.
- Welches **Instrument** und welche **Technik** es verwendet.
- Welches **Bewertungsprotokoll** wurde verwendet.
- Welche **Ergebnisse es liefert**, in welchen Einheiten und mit welchen Datenanalysetechniken sie gewonnen wurden.
- **Standardisierte Kriterien für die Interpretation.**

Dieses Thema konzentriert sich auf die Analyse der Ergebnisse einer zervikalen Beurteilung bei einer normalen Population mit biomechanischen Analysetechniken. Die Kursteilnehmer erwerben Fähigkeiten, um diese zu interpretieren, und sind am Ende in der Lage, die Ergebnisse zu erkennen und festzustellen, wie sie mit einem normalen Muster der zervikalen Funktionalität zu vergleichen sind.

### 3. Funktionelle Beurteilung der Halswirbelsäule.

---

Die Halswirbelsäule befindet sich im oberen Drittel der Wirbelsäule und hat eine dreifache Funktion: Stütze, Beweglichkeit und Schutz. So ermöglicht sie das Halten und Bewegen des Kopfes, was in Anbetracht der sensorischen Bedeutung dieses Körpersegments wiederum für die meisten Aktivitäten des täglichen Lebens oder DLAs unerlässlich ist. Es ist daher offensichtlich, dass die funktionelle Beurteilung der Halswirbelsäule in Anbetracht ihrer gesamten funktionellen Bedeutung von großem Interesse ist, insbesondere in Anbetracht der hohen Prävalenz einer Art von funktioneller Beeinträchtigung bei Verletzungen oder Schmerzen der Halswirbelsäule.

In diesem Zusammenhang ist bekannt, dass es eine Vielzahl von klinischen Zuständen gibt, die zu einer Beeinträchtigung der zervikalen Mobilität führen können und damit die Funktionalität der Patienten einschränken und die Durchführung bestimmter DLAs erschweren. Zum Beispiel ist es üblich, dass Patienten nach einem Schleudertraumasyndrom mit Klassifizierungen von Quebec Grad IIA aufwärts eine Einschränkung des aktiven und manchmal auch des passiven Bewegungsumfangs (ROM) haben. Diese Tatsache wird von verschiedenen Autoren wie z. B. Baydal<sup>1</sup> in seiner Dissertation bestätigt, der auch erklärt, dass es eine signifikante Korrelation zwischen der ROM-Einschränkung und den von den Patienten berichteten subjektiven Symptomen gibt. Einige Autoren weisen auch auf eine Korrelation zwischen der ROM-Erhölung und einer positiven Entwicklung nach einer zervikalen Verkehrsverletzung hin und halten sie für einen sensiblen Parameter zur Unterscheidung von gesunden und pathologischen Probanden. In der Tat fand derselbe Autor in einer anderen Arbeit<sup>2</sup>, in der eine funktionelle Bewertung über eine kinematische Studie der Halswirbelsäule durchgeführt wurde, signifikante Unterschiede im Bewegungsumfang (ROM) zwischen pathologischen (Schleudertraumasyndrom) und gesunden Probanden, mit einem niedrigeren ROM für erstere.

Ou et al<sup>3</sup> heben das Zusammentreffen von Symptomen wie Steifheit, Schwäche und Einschränkung der Mobilität im Zusammenhang mit Halswirbelsäulenschmerzen hervor. Sie verwenden die Messung dieses Items (ROM), um die Gesamtverbesserung einer Gruppe von Patienten nach Anwendung einer bestimmten Behandlung (in diesem Fall ätherische Öle) zu beurteilen und fanden einen signifikanten Unterschied in den Werten der Mobilität vorher und nachher, was wiederum mit einer Verbesserung anderer Symptome wie dem Schmerz verbunden war. Viele andere Autoren<sup>5-11</sup> verwenden oder schlagen die Messung der zervikalen Mobilität auch vor, um eine Gruppe von Patienten mit einer bestimmten Pathologie funktionell zu beurteilen oder um die Wirkung einer bestimmten Behandlung zu sehen<sup>12</sup>.

Dennoch muss berücksichtigt werden, dass das ROM nicht immer beeinflusst wird, da es von der Art der zervikalen Pathologie und dem Grad der Beteiligung abhängt. Zum Beispiel wurden in einer Studie von Lluch et al<sup>4</sup>, in der zwei Gruppen von Patienten mit chronischen Halswirbelsäulenschmerzen unter verschiedenen Arten von Behandlung verglichen wurden, keine signifikanten Unterschiede für diesen Parameter (ROM) nach der Intervention in einer der Gruppen gefunden, obwohl es bei anderen Punkten wie Schmerzen welche gab. Dies deutet darauf hin, dass manchmal auch andere Arten von Ansätzen, die sich auf andere

Arten von Variablen konzentrieren, angezeigt sein können, wie z. B. die Messung von Schmerzen, Muskelkraft oder Aktivität.

Für die funktionelle Beurteilung der Halswirbelsäule scheint der kinematische Ansatz wesentlich zu sein, da einige der wichtigsten Variablen, die eine Beeinträchtigung bei Patienten mit Schmerzen oder anderen Arten von zervikalen Pathologien zeigen, sind: der Bewegungsumfang (ROM), der für viele Aktivitäten des täglichen Lebens grundlegend ist, und die motorische Kontrolle, die kinematisch durch verschiedene spezifische Tests gemessen werden kann. Darüber hinaus kann auch die Messung der zervikalen Muskelkraft oder -aktivität wesentlich sein.

## 4. Beurteilung des zervikalen Bewegungsumfangs (ROM)

Eine normale Halswirbelsäule kann Bewegungen in sechs Freiheitsgraden ausführen. Die physiologischen Bewegungsmuster der Wirbelsäule sind Flexion-Extension, Lateralflexion und axiale Rotation. Flexion-Extension ist eine Bewegung in der Sagittalebene, die sich aus Rotationen und Translationen zusammensetzt. In ähnlicher Weise ist die Lateralflexion eine Bewegung, die ebenfalls Rotation und Translation kombiniert, jedoch innerhalb der Frontalebene. Andererseits ist die axiale Rotation eine reine Rotationsbewegung um die Längsachse der Wirbel.

Wenn keine äußeren Lasten vorhanden sind, ist die Bewegung der Wirbelsäule auf die Aktivität der Muskulatur zurückzuführen. Die agonistischen Muskeln initiieren die Bewegung, während die antagonistischen sie hemmen. Der Bewegungsumfang der Wirbelsäule ist von Ort zu Ort unterschiedlich und hängt hauptsächlich von der Ausrichtung der Gelenkfacetten ab. Die Gesamtbewegung der Wirbelsäule kann als die kombinierte Aktion einer Reihe von Wirbelfunktionseinheiten betrachtet werden, und es ist diese Gesamtbewegung, die mit Hilfe biomechanischer Tests beurteilt wird.

Um jedoch den zervikalen Bewegungsbereich zu messen und zuverlässige Ergebnisse zu erhalten, ist es notwendig, eine wiederholbare Benchmark-Position zu berücksichtigen. Dies bedeutet, dass ein sehr genaues Protokoll für die Durchführung der Messungen erforderlich ist. Der Bewegungsbereich wird durch die Variablen Alter und Geschlecht beeinflusst. Zum Beispiel ist der zervikale Bewegungsbereich für eine 70-jährige Frau nicht derselbe wie für eine 20-jährige Frau oder einen gleichaltrigen Mann. Dennoch gibt es nur wenige veröffentlichte Ergebnisse, die diesen Unterschied berücksichtigen. Die meisten Literaturangaben stellen Unterschiede zwischen den Geschlechtern fest, bei denen Frauen eine größere zervikale Mobilität haben als Männer, aber die Unterschiede sind statistisch nicht signifikant<sup>12</sup>. Das Alter beeinflusst die zervikale Mobilität, und aus diesem Grund führten Ferlic et al<sup>13</sup> in den 1960er Jahren eine Studie durch, um den Einfluss des Alters auf den zervikalen Bewegungsumfang zu bestimmen. Sie kamen zu dem Schluss, dass im Altersbereich zwischen 15 und 74 Jahren die Abnahme der Mobilität 21 % für Flexion-Extension, 35 % für Lateralflexion und 20 % für Axialrotation betrug. 1992 veröffentlichte Youdas<sup>14</sup> genauere Informationen über den Bewegungsumfang der Halswirbelsäule, gemessen mit Elektrogoniometrie und passiven Beweglichkeitstests. In seiner Arbeit kann man die Ergebnisse (Mittelwert und Standardabweichung) nach Geschlecht und Alter aufgeschlüsselt sehen. Der Autor fand heraus, dass die Mobilität sowohl bei Männern als auch bei Frauen um etwa 4° pro Jahrzehnt abnimmt. In jüngerer Zeit, im Jahr 2000, wurden die Bewegungstabellen<sup>15</sup> von Castro veröffentlicht. Die Ergebnisse sind in Segmenten nach Alter und Geschlecht dargestellt, und die verwendete Messtechnik war ein Ultraschallsystem. Es gibt auch solche von Ferrario aus dem Jahr 2002<sup>16</sup>, die nach Geschlecht, aber nicht nach Alter segmentiert sind. Diese Messungen wurden mit Photogrammetrie durchgeführt. Die American Medical Association und die American Academy of Orthopaedic Surgeons<sup>17</sup> veröffentlichten ihrerseits Normalitätsmuster für zervikale Bewegungsbereiche, segmentierten diese jedoch nicht nach Geschlecht oder Altersgruppen.

Diese Vielfalt an Daten in wissenschaftlichen Veröffentlichungen führt zu einer notwendigen Überlegung über eine Analyse, die nun durchgeführt werden kann, um die Ergebnisse genauer zu interpretieren: Sie müssen mit denen verglichen werden, die mit der gleichen Messtechnik und dem gleichen Auswertungsprotokoll gewonnen wurden.

Abschließend ist zu betonen, dass es drei Möglichkeiten gibt, die Ergebnisse einer zervikalen biomechanischen Beurteilung des Bewegungsumfangs zu interpretieren. Die erhaltenen Ergebnisse können mit denen einer Gruppe von Probanden verglichen werden, die mit den Eigenschaften der zu bewertenden Person vergleichbar sind und mit der gleichen Messtechnik und dem gleichen Protokoll gemessen wurden (durch Vergleich mit Datenbanken). Alternativ können die Ergebnisse von derselben Person auch verglichen werden, wenn sie in verschiedenen Auswertungssitzungen innerhalb desselben klinischen Prozesses gewonnen wurden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass die Ergebnisse mit Benchmark-Werten verglichen werden, die von der wissenschaftlichen Gemeinschaft akzeptiert und validiert wurden. Die letztgenannte Möglichkeit wird bei klinischen Bewertungen der Gelenkbewegung sehr häufig genutzt, allerdings mit dem Bewusstsein, dass die festgestellten Beeinträchtigungen durch Faktoren erklärt werden können, die mit Unterschieden in der körperlichen Konstitution des Probanden oder dem verwendeten Messgerät und -protokoll zusammenhängen. In solchen Fällen muss man mit der vorgenommenen Interpretation vorsichtig sein und immer die klinischen Daten des Patienten mit einbeziehen.

Unten sehen Sie die Art der Ergebnisse, die nach einer Bewertung des Bewegungsumfangs mit biomechanischen Techniken erzielt werden, sowie standardisierte Kriterien für deren Interpretation.

### Auswertung mit Inklinometern

Die Inklinometrie ist eine einfache, tragbare Technik, mit der die Mobilität der Halswirbelsäule gemessen werden kann. Die American Medical Association (AMA)<sup>17</sup> hält sie für eine praktikable und potenziell genaue Technik zur Bestimmung der Mobilität der Wirbelsäule, da die subkutanen knöchernen Strukturen, die die Enden der drei Regionen (zervikal, dorsal und lumbal) anzeigen, leicht zu ertasten sind.





Abbildung 1. System mit zwei elektronischen Inklinometern, die über den entsprechenden knöchernen Protuberanzen (okzipital, D1) angebracht sind, um den maximalen Gelenkbereich für die Flexions-Extensionsbewegung der Halswirbelsäule zu beurteilen.

Das Ergebnis dieser Art von Messgerät ist:

- **Maximaler Bereich in Grad** der aktiven Bewegung für das ausgewertete Wirbelsäulensegment.

Direkt oder indirekt aus diesem Ergebnis kann man erhalten oder berechnen:

- **Verlust oder Beeinträchtigung der Bewegung (IM)** als Prozentsatz für das ausgewertete Segment im Vergleich zu den Benchmark-Werten.

Innerhalb des maximalen Bereichs oder der Bewegungsbreite können die Bewegungswerte als Gesamtbereich dargestellt werden, was einen Gesamtwert für die Saggital-, Frontal- und Transversalebene, d. h. drei Ergebnisse, ergibt. Sie können auch über die Hauptbewegungsrichtungen dargestellt werden: Flexion und Extension. Bei einer vollständigen Auswertung der HWS-Bewegung gibt es also sechs Ergebnisse: Flexion, Extension, rechte Lateralflexion, linke Lateralflexion, Rechtsrotation und Linksrotation.

Um eine Interpretation der Ergebnisse aus dieser Art von Test durchzuführen, muss man sie mit den Ergebnissen einer Gruppe gesunder Probanden vergleichen, die mit den Eigenschaften der ausgewerteten Person vergleichbar sind und mit der gleichen Messtechnik und dem gleichen Protokoll gemessen wurden. Dennoch ist es am üblichsten, die Ergebnisse mit Benchmark-Werten für die zervikale Bewegung zu vergleichen, die von der wissenschaftlichen Gemeinschaft akzeptiert und validiert wurden. Eine weitere, durchaus valide Möglichkeit ist der Vergleich der Ergebnisse für dieselbe Person, wenn sie in verschiedenen Auswertungssitzungen gewonnen wurden.

Unten sieht man die Ergebnisse für den aktiven zervikalen Bewegungsbereich, die nach einer zervikalen biomechanischen Bewertung einer Person ohne Pathologie oder schmerzhaften Zustand in der Halswirbelsäule erhalten wurden. Um diese Messung durchzuführen, wurde eine Technik mit zwei Inklinometern verwendet und die Empfehlungen der American Medical Association (AMA) für die Messung der Halswirbelsäule wurden für die Position und die Anzahl der Wiederholungen der Messung angewendet.

	Pos. Neutra (OCC/D1)	Pos. Flexión (OCC/D1)	Pos. Extensión (OCC/D1)	Flexión	Criterio AMA	Extensión	Criterio AMA
1ª	9,7° / 19,6°	64,4° / 51,3°	-37,8° / 1,3°	23,0°	OK	29,0°	OK
2ª	12,7° / 21,0°	66,8° / 51,6°	-36,8° / -0,7°	23,0°	OK	27,0°	OK
3ª	8,0° / 17,3°	67,9° / 51,9°	-43,9° / -6,4°	25,0°	OK	28,0°	OK

Abbildung 23. Ergebnisse, die von jedem Neigungsmesser (Technik mit zwei Neigungsmessern) aufgezeichnet wurden, der über dem Hinterhaupt (OCC) und dem ersten dorsalen Dornfortsatz (D1) platziert wurde, um den Bereich der Flexion-Extension der Halswirbelsäule zu bewerten. Das Kriterium der Wiederholbarkeit der Messungen ist erfüllt (AMA-Kriterium).

Mit den in Abbildung 2 dargestellten Ergebnissen werden die von der American Medical Association definierten Kriterien für die Wiederholbarkeit erfüllt. Daher werden die in drei aufeinanderfolgenden Tests erzielten Ergebnisse für Flexion und Extension der Halswirbelsäule als gültig angesehen. Als endgültige Beeinträchtigung der Beweglichkeit wird diejenige berücksichtigt, die dem größten in den drei Tests gemessenen Winkel entspricht.

Wenn wir die Ergebnisse im Beispiel analysieren, gibt der Patient für die drei Wiederholungen Werte von 54,7°, 54,1° und 59,9° für die Flexion mit dem Inklinometer am Okziput an. Die Flexion für den Inklinometer an D1 wird mit 31,7°, 39,6° und 34,6° angegeben. Diese Werte ergeben sich aus der Subtraktion des Wertes jedes Neigungsmessers bei maximaler Beugung von dem in der neutralen Position angegebenen Wert. Zum Beispiel wird in der ersten Wiederholung für den Neigungsmesser über dem Hinterkopf die maximale Beugungsposition (64,4°) von dem in der neutralen Position (9,7°) erhaltenen Wert subtrahiert, was 54,7° als Ergebnis für die tatsächliche Beugung mit diesem Neigungsmesser ergibt. Für D1 wird das gleiche Verfahren angewandt, wobei die maximale Flexionsposition (51,3°) von der in der neutralen Position (19,6°) gefundenen subtrahiert wird, was ein Ergebnis für die reale Flexion von 31,7° für diesen Neigungsmesser ergibt. Dann wird die reale Flexion für die Halswirbelsäule, die mit zwei Inklinometern bei der ersten Wiederholung gefunden wurde, durch Subtraktion der realen Flexion, die mit dem Inklinometer am Hinterhaupt gefunden wurde, von derjenigen, die mit dem Inklinometer bei D1 gefunden wurde (54,7° - 31,7°), erhalten, was ein Ergebnis von 23° für die maximale Flexion ergibt. Dieses Berechnungsverfahren wird bei allen Tests verwendet, unabhängig von der gemessenen Bewegung. Wenn die Inklinometer mit Software verwendet werden, wird diese Berechnung automatisch durchgeführt, was den auswertenden Arzt bei der Vorgehensweise unterstützt.

Bei Anwendung des gleichen Verfahrens zur Berechnung ergibt die zweite Wiederholung 23° und die dritte 25°. Der mittlere Winkel für die zervikale Flexion beträgt 23,7°, und die drei Ergebnisse weichen um nicht mehr als 5° vom Mittelwert ab. Daher sind die Kriterien für die Gültigkeit der Berechnung erfüllt, und sie wird verwendet, um die Ergebnisse aus dem klinischen Blickwinkel des maximalen Flexionswinkels für die gültige Serie zu interpretieren, der in diesem Fall 23° betragen würde. Die folgenden Abbildungen zeigen das Endergebnis (nachdem alle Berechnungen durchgeführt wurden) für eine zervikale Beurteilung mit einer Technik unter Verwendung von zwei Inklinometern an einer Person ohne

	Amplitud máxima	PM frente referencia AMA
Flexión	80°	0%
Extensión	70°	0%
Flexión Lateral Izquierda	45°	0%
Flexión Lateral Derecha	42°	7%
Rotación Izquierda	80°	0%
Rotación Derecha	80°	0%

Bewegungseinschränkung.

Abbildung 45. Ergebnisse für den maximalen Bewegungsumfang der Halswirbelsäule und den prozentualen Verlust oder die Beeinträchtigung der Beweglichkeit (IM) für jeden der Tests im Vergleich zu den Benchmark-Werten der American Medical Association (AMA). Zur Erzielung dieser Ergebnisse wurden zwei Inklinometer verwendet .

Die folgende Grafik ist eine weitere Möglichkeit, die Ergebnisse darzustellen:

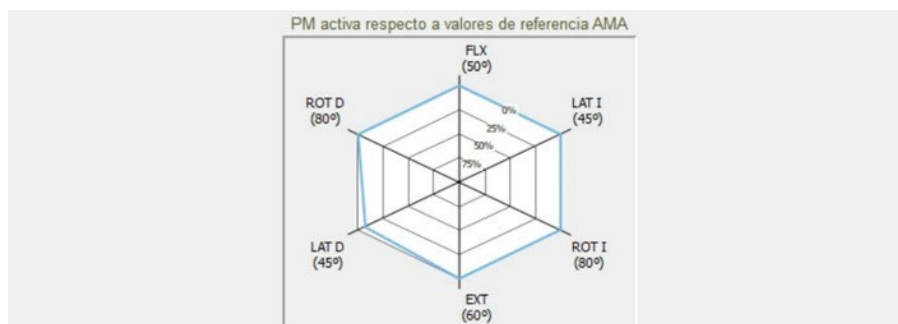


Abbildung 6. Grafik, die den Prozentsatz der Beeinträchtigung der aktiven zervikalen Mobilität mit den Benchmark-Werten der American Medical Association (AMA) für jede der ausgewerteten Bewegungsachsen vergleicht. Diese Benchmark-Werte stehen in Klammern und der Prozentsatz der Bewegungsbeeinträchtigung wird durch die blaue Linie dargestellt.

Um **diese Art der Bewertung zu interpretieren**, wird den Schülern empfohlen, den standardisierten Kriterien für die Interpretation zu folgen und die Antwort selbst zu suchen:

- Wie groß ist der maximale Bereich, der für jede der Bewegungen aufgezeichnet wurde?
- Liegt die aufgezeichnete Bewegung für jede der Achsen innerhalb der Normalität?
- Welche Werte wurden als Maßstab für die Normalität genommen?
- Welches ist die am stärksten eingeschränkte Bewegung bzw. die mit dem größten Verlust an Beweglichkeit? Und die am wenigsten eingeschränkte?
- Wird der Verlust der Mobilität signifikant erfasst?
- Wurden signifikante Asymmetrien in der Lateralität der Bewegungen festgestellt?

Unter Anwendung dieser Interpretationskriterien können Sie eine Antwort auf die Ergebnisse aus dem gestellten Beispiel geben. Die vorzunehmende Interpretation wäre zum Beispiel:

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, wurde ein Maximalwert von 80° für die Beugung, 70° für die Streckung, 45° und 42° für die linke bzw. rechte seitliche Beugung und 80° für jede der Rotationen erreicht.

Im Allgemeinen werden diese Werte als normal für die Bewegung der Halswirbelsäule angesehen, da sie über den in dieser Auswertung verwendeten Benchmark-Werten liegen (50° für Flexion; 60° für Extension; 45° für Lateralisationen und 80° für Rotationen), wie in der Grafik in Abbildung 4 zu sehen ist.

Man könnte sagen, dass die rechte Lateralflexion ein wenig unter dem Referenzwert liegt (42° im Vergleich zu 45°), aber der Unterschied ist unbedeutend, da die Beeinträchtigung der Mobilität (IM) unter 10 % liegt. Der Verlust der Mobilität kann beginnen, als signifikant angesehen zu werden, wenn er über 10 % liegt.

Es sind keine signifikanten Asymmetrien zu verzeichnen, da der einzige Unterschied in den seitlichen Neigungen besteht und dieser nur 3° beträgt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass im vorliegenden Fall die endgültige Interpretation der mit Inklinometern aufgezeichneten Daten darin besteht, dass die zervikale Mobilität des Patienten gut ist, im Allgemeinen gleich oder über den Bewegungswerten liegt, die als Benchmark genommen wurden, und dass es keine signifikanten Asymmetrien gibt. Somit wird die Beweglichkeit als normal angesehen, ohne dass eine Beeinträchtigung der zervikalen Bewegung bei den analysierten zervikalen Bewegungen vorliegt.

## 5. Kinematische Beurteilung der Halswirbelsäule

---

Die kinematische Analyse der Bewegung gibt nicht nur den Bewegungsumfang (ROM) an, sondern ermöglicht auch eine genauere Definition desselben, z. B. durch die Aufzeichnung gekoppelter Bewegungen, die Berechnung der Bewegungsgeschwindigkeit und die Analyse ihrer Gleichmäßigkeit und Wiederholbarkeit.

Zwei der Techniken, die zur Auswertung der oben genannten kinematischen Parameter verwendet werden, sind Photogrammetrie und Inertialsensoren. Um kinematische Bewegungsparameter für die Halswirbelsäule zu erhalten, muss der Patient eine zyklische Bewegung durchführen, die seinen maximalen Bewegungsbereich mit einer für ihn angenehmen Geschwindigkeit erreicht. Bei einer kinematischen Beurteilung der Halswirbelsäule können Sie die erhaltenen Ergebnisse mit einer Kontrollgruppe (Gruppe gesunder Probanden) vergleichen. Es gibt einige Vergleichsdaten, um die Ergebnisse richtig zu bestimmen. Denken Sie daran, dass in diesen Fällen für einen korrekten, gültigen Vergleich die gleiche Messtechnik und das gleiche Auswertungsprotokoll verwendet worden sein müssen.

Durch den Einsatz eines kinematischen Analysesystems werden auch Informationen über die Bewegung der Wirbelsäule in anderen Ebenen gewonnen. Dieser Befund ist normal, da die von der Wirbelsäule ausgeführte Bewegung eine gekoppelte Bewegung ist. Gekoppelte Bewegungen sind Rotationen und Translationen, die mit anderen gleichzeitigen Rotations- oder Translationsbewegungen auf einer anderen Achse verbunden sind. Diese gekoppelten Bewegungen bilden zusammen mit den primären Bewegungen einen Teil der zervikalen Bewegung, und für Menschen ohne Symptome sind individuelle Abweichungen charakteristisch. Umstritten ist, ob das Alter einen Einfluss auf die Kopplung hat. In einer Studie mit gesunden Männern und Frauen beobachteten Trott et al.<sup>18</sup>, dass das Alter einen geringen Einfluss hat. Andererseits stellten Malmstrom et al.<sup>19</sup> mit einer ähnlichen Stichprobe wie in dieser Studie fest, dass das Alter einen erheblichen Einfluss hat.

Um die **Ergebnisse** einer kinematischen Auswertung der Halswirbelsäulenbewegung **zu interpretieren, wird dem** Studenten empfohlen, die im vorherigen Abschnitt (Auswertung mit Inklinometern) kommentierten Kriterien um die folgenden zu ergänzen:

- Wie hoch war die Geschwindigkeit der Bewegung in jeder der Achsen? War es eine langsame oder schnelle Bewegung?
- War das Bewegungsmuster wiederholbar?
- War die Bewegung sanft?

Um diese Interpretationskriterien anzuwenden und sich mit den Ergebnissen dieser Art von Auswertung vertraut zu machen, wird unten eine Aufzeichnung der zyklischen zervikalen Flexions-Extensions-Bewegung für eine Person ohne Schmerzen oder Pathologie an der Halswirbelsäule gezeigt. Für die Messung wurde ein System der Photogrammetrie verwendet, das mehrere aufeinanderfolgende Zyklen der HWS-Flexion-Extension für 30 s (rote Linie) in einer für die zu messende Person angenehmen Geschwindigkeit aufzeichnete.

In diesem Fall fand die Hauptkomponente der Bewegung in der sagittalen Ebene statt. Die rote Linie stellt den Gesamtwinkel der Flexion (dargestellt mit negativem Vorzeichen) und Extension (dargestellt mit positivem Vorzeichen) dar. Darüber hinaus kann man sehen, dass es eine gewisse gekoppelte Bewegungskomponente in den anderen beiden Achsen gibt, mit einer minimalen Rotation (in blau dargestellt) und einer lateralen Flexion (in grün dargestellt), die damit verbunden ist. Bei Probanden mit zervikaler Pathologie und Schmerzen, die zu einer Funktionsveränderung führen, wird häufig eine Bewegungseinschränkung in diesem Test beobachtet.

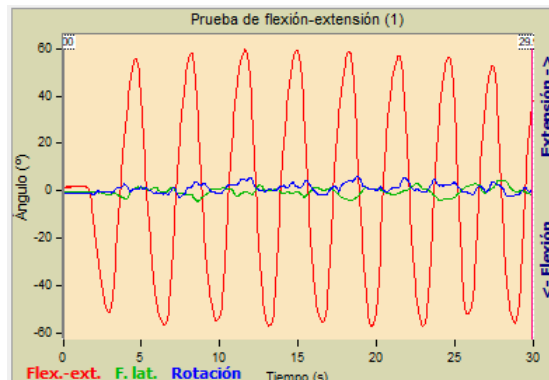


Abbildung 78. Diese zeigt die zervikale Flexions-Extensions-Bewegung (rote Linie) über einen Zeitraum (30 s), zusammen mit den gekoppelten Bewegungen (grüne und blaue Linien), die in einem kinematischen Analysesystem (3D-Photogrammetrie) erhalten wurden.

Mit den Ergebnissen der obigen Grafik (Abbildung 5) kann man sagen, dass die zervikale Bewegung der gemessenen Person schnell war, was mit einem normalen Muster vereinbar ist. Man kann sehen, dass sie schnell ist, weil es in 30 s 8-9 Flexions-Extensions-Zyklen mit einer komfortablen Geschwindigkeit gibt. Wenn die Bewegung langsam wäre, wäre die Anzahl der in diesem Zeitintervall aufgezeichneten Zyklen viel geringer. Wir können dies auch in früheren Themen sehen, wenn wir über die Bewertung der Halswirbelsäule bei HWS-Pathologie sprechen.

Eine Grafik mit Ergebnissen dieser Art gibt auch den maximal erreichten zervikalen Bereich an. Um genauere Daten zu erhalten, wäre es notwendig, die numerischen Werte der Maxima in jedem der Zyklen heranzuziehen und ihren Durchschnitt als repräsentativ für die zervikale Bewegung zu erhalten. In diesem speziellen Fall wird ein ungefähres Maximum von  $60^\circ$  für die zervikale Extension und für die Flexion erreicht, wie durch die Bestimmung der Werte für die maximalen Spitzen der Kurven (Bewegungszyklen) in Abbildung 5 zu sehen ist.

Eine andere Möglichkeit, die Ergebnisse darzustellen, besteht darin, sich nur auf die Mobilitätsgrade (Bewegungsumfang) zu beziehen und sie mit einem Benchmark zu vergleichen, sei es mit den AMA-Werten, wie oben mit den Neigungsmessern gesehen, oder mit Werten einer gesunden Kontrollstichprobe, die eine Geste unter Anwendung desselben Protokolls und instrumenteller Messtechnik ausführt. Um dies zu tun, müssen wir für eine korrekte Interpretation wissen, welche Art von Werten als Benchmark verwendet wird.

Im Beispiel in der folgenden Grafik stammen die Benchmark-Werte aus einer Datenbank, die sich aus Personen ohne Zervikalschmerzen oder -pathologie zusammensetzt, die mit der gleichen Messtechnik und dem gleichen Protokoll gemessen wurden wie die zu bewertende Person. Wenn dieser Aspekt nicht mit den gezeigten Ergebnissen oder dem Bericht

angegeben wird, ist es nicht möglich, ihn durch einfaches Betrachten dieser Grafik zu erkennen (Abbildung 6).

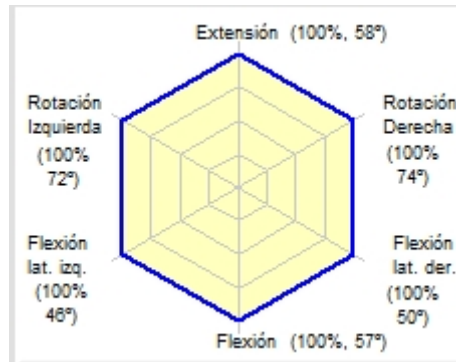


Abbildung 9. Visuelles Sechseck des beobachteten Bewegungsbereichs zusammen mit seinem Prozentsatz der Normalität. Es zeigt den Bewegungsbereich in Grad und den Prozentsatz der Normalität, der diesem Bereich entspricht, gemäß einem Vergleich mit einer Datenbank von Personen ohne zervikale Pathologie, wie durch das verwendete Messgerät (NedCervical/IBV) abgeleitet.

Abbildung 6 zeigt die absoluten Werte in Grad, die für jede der Bewegungsachsen erhalten wurden, und die Situation für den durchschnittlichen Bewegungsumfang, den die ausgewertete Person (blaue Linie) im Vergleich zu einem Benchmark (Normalitätsdatenbank aus dem NedCervical/IBV-Halswirbelsäulen-Bewertungssystem) ausführt. In diesem Bewertungssystem ist dieses Benchmark-Muster nach Alter und Geschlecht segmentiert. Je weiter die blaue Linie außerhalb dieses Diagramms liegt, desto normaler oder näher an normalen Bewegungsbereichen sind die Ergebnisse für die ausgewertete Person.

Im Beispiel werden die Bewegungsumfänge in allen analysierten Bewegungen als normal angesehen. Es gibt auch einen objektiven Beweis für die Symmetrie bei den Rotations- und Lateralflexionsgraden, da es kaum Unterschiede zwischen den Graden gibt, die zu einer Seite und zur anderen ausgeführt werden. Der Wert in Klammern und der Prozentsatz geben an, wie nahe diese spezifische Bewegung an dem liegt, was im angewandten Bewertungssystem als normal angesehen wird, wobei als Normalität ein Wert zwischen 90 % und 100 % gilt. Der am weitesten davon entfernte Wert wäre 0%. Diese Art der Interpretation des Ergebnisses als Prozentsatz der Normalität ist nur in der Anwendung NedCervical/IBV zu finden. Wenn Sie mehr über diese Angelegenheit wissen möchten, können Sie den folgenden Artikel lesen:

Baydal Bertomeu, J.M., Serra Añó, M.P., Garrido Jaén, J.D., López Pascual, J., Matey, F., Gimeno, C., Soler, C., Dejoz, R. "Development of a new method for evaluating cervical mobility based on photogrammetry techniques." *Rehabilitation*, 2007; 41(2):53-60.

Wie wir in Abbildung 5 gesehen haben, erfolgt die Bewegung der Wirbelsäule mit einer mehr oder weniger schnellen Geschwindigkeit. Eine Analyse dieser Geschwindigkeit hilft auch, die Eigenschaften der ausgeführten Bewegung zu erklären und hilft, zwischen einem normalen oder veränderten Bewegungsmuster zu unterscheiden. Ohberg<sup>21</sup> identifizierte die Winkelgeschwindigkeit als die am meisten diskriminierende Variable zwischen einer gesunden und einer pathologischen Gruppe. Andere Autoren wie Grip<sup>22</sup> und Sløjander<sup>23</sup> untersuchten diesen Parameter ebenfalls, und obwohl seine Unterscheidungsfähigkeit nicht so signifikant war, stimmen sie in der Feststellung überein, dass das häufigste Muster eine

Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit in der zervikalen pathologischen Gruppe mit Schmerzen im Vergleich zu einer Kontrollgruppe von Personen ohne zervikale Pathologie oder Schmerzen ist.

Die folgenden Diagramme zeigen die Bewegung der Halswirbelsäule, die von einer Person für jede der Bewegungsachsen (Flexion-Extension, laterale Flexionen und Rotationen) ausgeführt wird. Dabei wird die Winkelgeschwindigkeit der HWS-Bewegung ( $^{\circ}/s$ ) gegen den Bewegungswinkel ( $^{\circ}$ ) dargestellt.

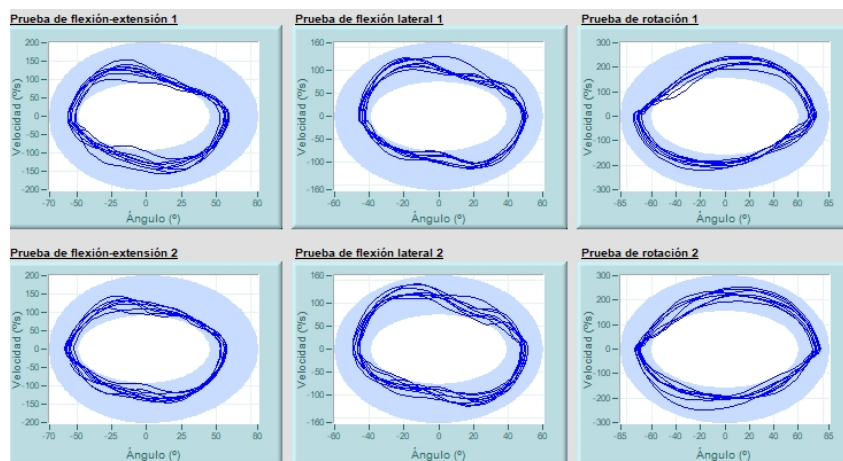


Abbildung 10. Diagramme, die die Winkelgeschwindigkeit in Bezug auf den Winkel der zervikalen Bewegung für die beiden Aufzeichnungen jeder der Bewegungen (Flexion-Extension, laterale Flexionen und Rotationen) darstellen. Das blaue Band stellt das normale Muster dar, das in der verwendeten Messapparatur berücksichtigt wird, die als Benchmark fungiert, um zu erfahren, wie die Bewegung der untersuchten Person ist (NedCervical/IBV).

Wenn uns Diagramme dieser Art gezeigt werden, müssen wir wissen, was dargestellt wird, und von dort aus können wir die erhaltenen Bereiche und die Geschwindigkeit der Bewegung sehen, die verwendet wurde, um sie zu erreichen. In diesem Fall zeigt das blaue Band an, wo das Muster liegt, das als Maßstab dient, um zu wissen, ob die ausgeführte Bewegung innerhalb eines normalen Musters liegt oder nicht. Ein normales Muster wird als eines betrachtet, das einen guten Bereich (weit) und eine gute Bewegungsgeschwindigkeit (schnell) aufweist. Wenn dies nicht der Fall ist, kann man sehen, ob es sehr weit entfernt ist.

Eine weitere Information, die wir mit einer kinematischen Analyse der Bewegung finden können, ist die Sanftheit, mit der sie ausgeführt wird. Diese Information bezieht sich auf das Fehlen von Schwankungen oder Stopps bei der Bewegung des Halses, was mit schmerzhaften Punkten auf dem Bewegungspfad des Gelenks oder der freiwilligen Kontrolle über die Geste aufgrund von Angst vor Schmerzen zusammenhängen könnte. Was die Geschmeidigkeit der Bewegung angeht, gibt es Studien, die zeigen, dass eine neurologische Verletzung die Kontrolle über die Bewegung beeinträchtigen kann und somit die Geschmeidigkeit bei der Ausführung der Bewegung deutlich verringert<sup>24,25</sup>. Sjölander<sup>23</sup> fand heraus, dass Menschen mit Schmerzen in der Halswirbelsäule eine geringere Geschmeidigkeit in ihren Bewegungen hatten.



Die Wiederholbarkeit ist ein weiterer Parameter, der bei dieser Art der Auswertung gemessen wird. Dieser Parameter gibt Auskunft über die Stabilität der Ergebnisse, die in der gleichen Einzelsitzung erzielt werden. Diese Information steht im Zusammenhang mit dem Einsatz oder der Anstrengung, die der Patient bei der Durchführung einer Messung bis zum Äußersten seiner physischen Möglichkeiten macht. Eine hohe Wiederholbarkeit bei der Auswertung einer scheinbar gesunden Person verleiht den erhaltenen Ergebnissen Konsistenz. Die gemessene Wiederholbarkeit, oft über den Variationskoeffizienten (Koeffizient, den man erhält, indem man die Standardabweichung der Wiederholungen durch ihren Mittelwert dividiert und mit 100 multipliziert), legt schließlich einen Prozentsatz fest, um die Konsistenz der von der evaluierten Person durchgeführten Leistung zu bestimmen. Nach Dvir et al<sup>26</sup> liegt der Variationskoeffizient der zervikalen Mobilität innerhalb derselben Messung innerhalb von 5 %.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ein normales Funktionsmuster in der zervikalen Bewegung als erfüllt gilt, wenn die biomechanische Analyse der Bewegung eine breite, symmetrische, schnelle und wiederholbare Bewegung zeigt. Dies ist das allgemeine Benchmark-Muster, das für eine Bewertung dieser Art angestrebt werden muss. Dennoch bedeutet eine Veränderung in einem dieser Merkmale nicht per se eine zervikale Funktionsveränderung. So kann z. B. ein Ergebnis einer Auswertung mit einem guten Bewegungsumfang, hoher Wiederholbarkeit, aber niedriger Geschwindigkeit im Rahmen eines klinischen Prozesses, bei dem der Patient nicht über Schmerzen oder Einschränkungen berichtet, als normal angesehen werden, auch wenn eine Bewegung langsam und kontrolliert ausgeführt wird, wie es aufgrund einer Strategie zum Schutz vor Schmerzen oder einem erneuten Auftreten von Schmerzen vorkommen kann.

## 6. Kinematische Beurteilung bei ADL

Manchmal werden kinematische Analysetechniken verwendet, um die Bewegung der Halswirbelsäule aufzuzeichnen und zu bewerten, während die Person eine Aktivität aus dem täglichen Leben ausführt, bei der sie ihren Kopf drehen, beugen oder strecken muss. Die Informationen, die aus dieser Art von Test gewonnen werden, basieren auf den Parametern, die im vorherigen Abschnitt erwähnt wurden, insbesondere auf dem zervikalen Bewegungsbereich, der für die Ausführung dieser Aktivitäten erforderlich ist, oder der Geschwindigkeit, mit der sie ausgeführt werden.

Das folgende Beispiel zeigt die Ergebnisse eines kinematischen Bewegungsanalysetests, bei dem die Person aufgefordert wird, ihren Kopf zu drehen, um auf bestimmte Lichter zu schauen, die sich rechts, links und über ihr an der Decke befinden. Die zu beurteilende Person führt also eine Geste aus, die die Bewegungen Rotation, Flexion und Extension umfasst, wobei die Anforderungen an den Bereich geringer sind als bei den maximalen Bereichen.

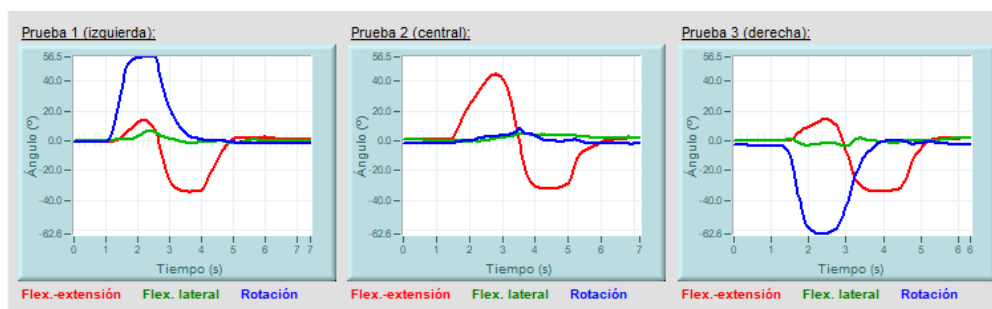


Abbildung 11. Diagramm der Beweglichkeit der Halswirbelsäule, wenn der Patient auf ein Licht nach links, über ihm und nach rechts starrt.

Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis, das für Bereich, Geschwindigkeit und maximale Beschleunigung bei der Ausführung der angeforderten Gesten erzielt wurde. Die Werte sind in Prozentsätzen der Normalität ausgedrückt, da die absoluten Werte für jeden Parameter mit einer Datenbank von Probanden ohne HWS-Pathologie verglichen wurden. Wenn das in dieser Tabelle aufgezeichnete Ergebnis über 90 % liegt, wird es als ein Wert innerhalb eines normalen Bewegungsmusters interpretiert.

	Rango		Velocidad máxima		Aceleración máxima		Valoración
	Flex.-ext.	Rotación	Flex.-ext.	Rotación	Flex.-ext.	Rotación	
Prueba 1 (izq.)	100.0	100.0	100.0	100.0	90.8	100.0	98.5
Prueba 2 (central)	100.0	-	92.2	-	85.4	-	92.5
Prueba 3 (der.)	100.0	100.0	100.0	100.0	94.6	100.0	99.1

Abbildung 12. Ergebnisse in Prozenten der Normalität von jedem der Funktionstests. Werte unter 90% im Normalitätsindex werden als nicht normal oder funktionell verändert angesehen.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass die ausgeführten Bewegungen normal sind und in das normale Muster von Bewegungsumfang und Bewegungsgeschwindigkeit (Winkelgeschwindigkeit/Beschleunigung) fallen.

## 7. Festigkeitsbeurteilung der Halswirbelsäule

---

Die Beurteilung der Kraft der Halswirbelsäule durch eine Technik mit Instrumenten ist weniger verbreitet als bei der Beurteilung der Kraft in der Lendenwirbelsäule. Dennoch werden im Folgenden die Ergebnisse dieser Art von Test beschrieben, mit denen der Zustand der Halswirbelsäulenmuskulatur ermittelt werden kann.

### Beurteilung der Muskelkraft. Zervikale Isometrien

Es gibt verschiedene Systeme zur Beurteilung der zervikalen Muskelkraft und eines der am häufigsten verwendeten ist die isometrische Dynamometrie. Zur Durchführung einer Bewertung der isometrischen Kraft können manuelle Dynamometer oder anspruchsvollere Dynamometer, wie sie in isokinetischen Maschinen zu finden sind, verwendet werden.

Ein manuelles Dynamometer für die Halswirbelsäule ist ein leichtes, tragbares und einfach zu bedienendes Gerät. Bei dieser Art der Beurteilung muss der Patient eine maximale Muskelkraft gegen das Dynamometer aufbringen, das in der Regel vom Auswerter statisch gehalten wird. Der Test kann durchgeführt werden, indem der Proband aufgefordert wird, eine Aktivität auszuführen, die Kraft erfordert, d. h. gegen das Gerät in die zu untersuchende Richtung zu drücken. Diese Art der Beurteilung konzentriert sich hauptsächlich auf die Beuge- und Streckmuskeln der Halswirbelsäule, und wie bei allen Arten von Messungen muss das Protokoll standardisiert und kontrolliert sein. Eine isometrische Analyse kann auch mit Maschinen durchgeführt werden, die an einen Computer angeschlossen sind, wobei der Patient normalerweise sitzen muss. Die Position des Patienten ist wichtig, wie bei allen biomechanischen Bewertungstests. Auch das Becken und der Rumpf müssen richtig gehalten werden, damit sie nicht für andere Bewegungen kompensieren.

Die häufigsten Ergebnisse, die mit dieser Art der Beurteilung der Festigkeit der Halswirbelsäule erzielt werden, sind:

- ~ Maximale zervikale Beugemuskulatur, d. h. die maximale Kraft der Beugemuskulatur unter isometrischen Bedingungen.
- ~ Maximale zervikale Streckkraft, d. h. die maximale Kraft der Streckermuskulatur.
- ~ Die mittlere Beugemuskulatur ist der Mittelwert der maximalen Kräfte, die in den im Protokoll berücksichtigten Wiederholungen ausgeführt wurden.
- ~ Die mittlere Streckkraft ist der Mittelwert der in den Wiederholungen ausgeführten Maximalkräfte.
- ~ Der Variationskoeffizient ist der Prozentsatz der Variabilität in der Kraft, die aus den durchgeführten Wiederholungen erzielt wird.
- ~ Maximales Beuger/Strecker-Kraftverhältnis und/oder mittleres Beuger/Strecker-Kraftverhältnis.

Es ist schwierig, normative Daten über die isometrische Kraft der Halswirbelsäule zu ermitteln, denn obwohl es Studien gibt, die die Zuverlässigkeit und Validität dieser Art von Bewertung zeigen, variieren die verwendeten Protokolle und Instrumente so stark, dass es unmöglich ist, sie zu ermitteln.

Einige dieser Werte können Sie in der folgenden Veröffentlichung<sup>27</sup> sehen:

Garces, G. L., Medina, D., Milutinovic, L., Garavote, P., & Guerado, E., (2002). "Normative Datenbank der isometrischen Halswirbelkraft in einer gesunden Bevölkerung". *Medizin und Wissenschaft in Sport und Bewegung*, 34(3), 464-470.

Im Allgemeinen variieren die Werte, die für die maximale isometrische Kraft der HWS-Extensoren bei Frauen und Männern ermittelt wurden, in den durchgesehenen Publikationen ziemlich stark. Sie scheinen jedoch dahingehend übereinzustimmen, dass die bei Männern erzielte Kraft größer ist als bei Frauen, und innerhalb der Muskelgruppen ist die Extensionskraft um etwa 50-60 % größer als die Flexionskraft. Dies liegt daran, dass die Streckmuskeln eine grundlegende Rolle bei der Körperhaltung spielen und die Nackenmuskeln dem Gewicht des Kopfes, der dazu neigt, nach vorne zu fallen, jederzeit entgegenwirken müssen. Die vordere Lage des Kopfschwerpunkts erklärt die relative Kraft der hinteren Nackenmuskeln im Vergleich zu den Nackenbeugern. In der Tat kämpfen die Strecker gegen die Schwerkraft, während die Beuger ihr helfen. Dies erklärt auch, warum die Nackenmuskeln immer einen Tonus gegen das Vorwärtsfallen des Kopfes haben.

Um die **Ergebnisse** der isometrischen Kraftmessung an der Halswirbelsäule zu **interpretieren**, kann man sich an folgenden Kriterien orientieren:

- Wie hoch ist die maximale Kraft, die für jede der Muskelgruppen aufgezeichnet wurde?
- Folgt sie dem normalen Agonist/Antagonist-Beziehungsmuster?
- Sind die aufgezeichneten Werte wiederholbar gewesen?

Unten sieht man die Ergebnisse, die nach einer zervikalen isometrischen Kraftauswertung bei einer Person ohne zervikale Pathologie oder Schmerzen erzielt werden können.

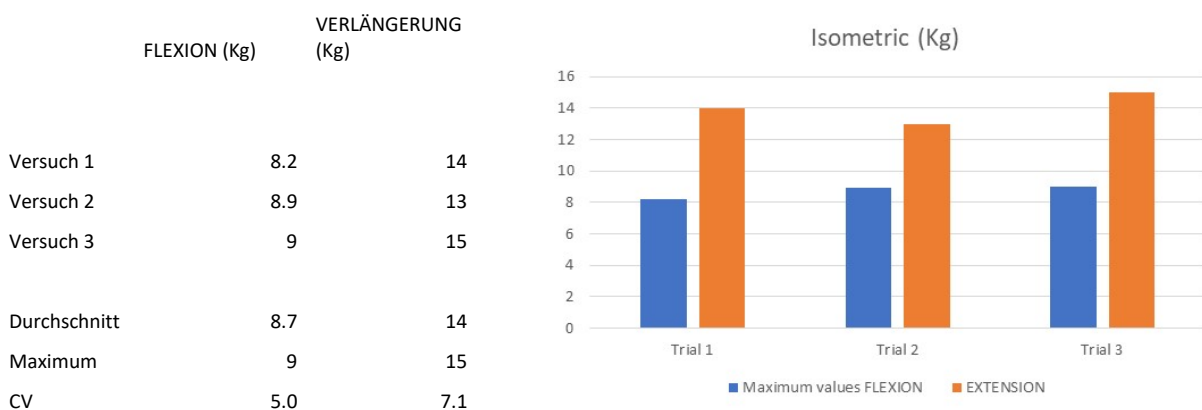


Abbildung 13. Diagramm mit der maximalen isometrischen Kraft der Beuger- und Streckermuskeln der Halswirbelsäule in drei Wiederholungen.

Die Interpretation dieser Ergebnisse ist, dass die untersuchte Person eine maximale gemessene Kraft von 8,7 kg für die zervikale Flexion und 14 kg für die zervikale Extension erreicht. Dies bedeutet eine Differenz von 41 % zwischen den beiden isometrischen Tests. Der Variationskoeffizient betrug 5 % für die Flexion und 7,1 % für die Extension, so dass die

erzielten Ergebnisse recht gut wiederholbar sind. Werte über 15 % können auf eine geringe Anstrengung hinweisen.

## Bewertung der muskulären Aktivität. Oberflächen-EMG

Die Aktivität der Rumpfmuskulatur kann indirekt durch Elektromyographie abgeschätzt werden. Für Studenten ist es wichtig, zwischen zwei Arten der Elektromyographie zu unterscheiden: klinisches oder diagnostisches EMG, das die Eigenschaften des Potenzials der motorischen Einheit untersucht, und Oberflächen-EMG, das die Muskelfunktion und -aktivität untersucht. Durch die Verwendung von EMGs kann man das Aktivitätsniveau eines Muskels in jedem Moment der Bewegung oder in einer anhaltenden Haltung feststellen und die Koordination der Muskeln untereinander lernen. Aus diesem Grund wird das Oberflächen-EMG in der Regel zur Beurteilung der Halswirbelsäulenzone verwendet, insbesondere zur Analyse des Muskelverhaltens bei der Ausführung einer Bewegung, an der die Halswirbelsäulenmuskeln beteiligt sind.

Oberg<sup>28</sup> argumentiert, dass das Oberflächen-EMG es ermöglicht, die Muskelkontraktion in der zervikalen Zone mit hoher Zuverlässigkeit zu erkennen. Es gibt auch Studien, die einen direkten Zusammenhang zwischen Halsschmerzen und einer Verringerung der zervikalen Muskelkraft zeigen. Es scheint auch klar zu sein, dass die diskriminierendsten Parameter zur Unterscheidung zwischen gesund und pathologisch diejenigen sind, die sich auf eine mangelnde Fähigkeit zur Muskelentspannung beziehen. Dies zeigt sich bei kontrollierten Kontraktionstests<sup>29</sup>, bei denen das Grundniveau der Kraft gemessen werden kann, wie auch bei Tests, die mit der Ausführung einer Aufgabe verbunden sind und bei denen die Differenz des Grundniveaus im Zustand der Entspannung vor und nach der Belastung gemessen wird. Bei gesunden Probanden kehrt das Aktivitätsniveau der Halsmuskulatur nach dem Training zur Ausgangssituation zurück, während es bei Schmerzpatienten auf einem Restaktivitätsniveau bleibt<sup>30</sup>.

Das ist der Zweck der EMGs, die für eine Analyse des Aktivitätsniveaus der Halsmuskeln angewendet werden. Die EMGs sollen eine anormale Muskelaktivität zu Zeiten erkennen, in denen der Muskel nicht aktiv sein sollte. Zum Beispiel sollte die Aktivität in Ruhe minimal sein, und bei Bewegung steigt die Aktivität an. Was EMGs nicht leisten können, ist die Diagnose von neuromuskulären Veränderungen. Eine Studie der American Academy of Neurology<sup>31</sup> stellt das Interesse an der Oberfläche des EMGs zur Bestimmung neuromuskulärer Veränderungen, zur Beurteilung von Schmerzen in der Halswirbelsäule und als Diagnoseinstrument für Veränderungen im Bewegungsapparat in Frage. Nach der Analyse von über 2.500 Studien lehnt der Bericht das EMG als Ersatz für das Nadel-EMG in der neuromuskulären Diagnose ab. Er lehnt es auch als diagnostische Technik zur Beurteilung von hauptsächlich Schmerzen ab, weil die veröffentlichten Artikel keine Unterscheidungsfähigkeit der Technik zeigen und vor allem, weil es keine Technik ist, die sich als zuverlässig und wiederholbar erwiesen hat.

Dennoch wird dieser Testtyp heute vor allem bei der Beurteilung der Lendenwirbelsäule über standardisierte Tests wie den Flexions-Relaxations-Test eingesetzt. Darüber hinaus wird dieser Test in jüngster Zeit auch bei der Beurteilung der Halswirbelsäule eingesetzt. Als Beispiel zeigt die folgende Grafik das Ergebnis eines zervikalen myoelektrischen Stills, wobei

es ratsam ist, die folgenden Artikel<sup>32,33</sup> zu lesen, die zum Verständnis dieser Art von Test beitragen können.

Meyer, J. J., Berk, R. J., & Anderson, A. V. (1993). "Rekrutierungsmuster in der zervikalen paraspinalen Muskulatur während der zervikalen Vorwärtsflexion: Nachweis der zervikalen Flexionsrelaxation." *Electromyography and clinical neurophysiology*, 33(4), 217-223.

Burnett, A., O'Sullivan, P., Caneiro, J. P., Krug, R., Bochmann, F., & Helgestad, G. W. (2009). "Eine Untersuchung des Flexions-Relaxations-Phänomens an der Halswirbelsäule im Lumbal-Sitz". *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(4), e229-e236.

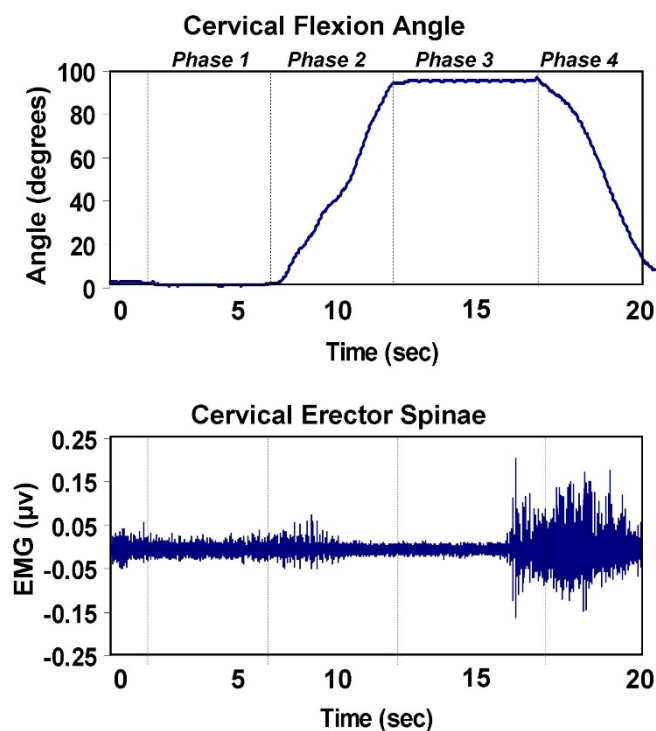


Abbildung 14. Rohe Oberflächen-EMG-Kurve für den zervikalen Erector spinae (unten) von einem Probanden, der das Flexions-Relaxations-Phänomen mit Aktivierung vor der erneuten Streckung während des Versuchsprotokolls zeigt. Der zervikale Flexionswinkel ist ebenfalls dargestellt (oben).

Die Daten werden für die verschiedenen Phasen des Protokolls dargestellt: aufrecht (Phase 1), Vorwärtsflexion (Phase 2), volle Flexion (Phase 3), Re-Extension (Phase 4). Bild und Fußnote aus Burnett, A., O'Sullivan, P., Caneiro, J. P., Krug, R., Bochmann, F., & Helgestad, G. W. (2009). "Eine Untersuchung des Flexions-Relaxations-Phänomens an der Halswirbelsäule im Lumbal-Sitz". *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(4), e229-e236.

## 8. Wichtige Ideen

---

- Der Zweck der biomechanischen klinischen Bewertung ist die objektive Bestätigung und Quantifizierung des Vorhandenseins einer funktionellen Veränderung in der Halswirbelsäule der zu bewertenden Person.
- Im klinischen Bereich werden biomechanische Bewertungstests vor allem zur Beurteilung des Bewegungsumfangs und der Bewegungseigenschaften der Halswirbelsäule eingesetzt.
- Die Kraft der Halswirbelsäule wird ebenfalls hauptsächlich unter isometrischen Bedingungen bewertet.
- Oberflächen-EMG ermöglicht es, die Muskelaktivität bei einer Bewegung oder einer anhaltenden Haltung zu erlernen, und das Flexions-Relaxations-Phänomen beginnt, in dieser Zone der Wirbelsäule untersucht zu werden.
- Bei der Interpretation der Ergebnisse ist beim Vergleich von Benchmark-Werten darauf zu achten, dass sie aus einer Auswertung stammen, die das gleiche Messprotokoll und die gleiche instrumentelle Auswertetechnik verwendet.
- Beurteilung muss stets der klinische Verlauf berücksichtigt werden, um den eventuell festgestellten Beeinträchtigungen mehr oder weniger Bedeutung beizumessen.
- Wenn Daten im Vergleich zu Benchmark-Werten interpretiert werden, muss die Quelle angegeben werden, die die als Benchmark verwendeten Daten enthält.
- Die Ergebnisse eines Berichts über eine biomechanische Beurteilung der Wirbelsäule müssen mit ihren Maßeinheiten versehen sein.



## 9. Referenzen

---

- [1] Baydal Bertomeu, J.M. "Biomechanische Analyse der zervikalen Bewegung unter Verwendung von Techniken kinematischen Ursprungs. Beitrag zur objektiven Beurteilung von Behinderung". Dissertation. Polytechnische Universität von Valencia. Fakultät für Maschinenbau und Werkstofftechnik. Valencia, 2012
- [2] Baydal-Bertomeu, J. M., Page, Á. F., Belda-Lois, J. M., Garrido-Jaén, D., & Prat, J. M. (2011). Neck motion patterns in whiplash-associated disorders: quantifying variability and spontaneity of movement. *Clinical biomechanics*, 26(1), 29-34.
- [3] Ou, M. C., Lee, Y. F., Li, C. C., & Wu, S. K. (2014). The effectiveness of essential oils for patients with neck pain: a randomized controlled study. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 20(10), 771-779.
- [4] Lluch, E., Schomacher, J., Gizzi, L., Petzke, F., Seegar, D., & Falla, D. (2014). Immediate effects of active craniocervical flexion exercise versus passive mobilisation of the upper cervical spine on pain and performance on the craniocervical flexion test. *Manual therapy*, 19(1), 25-31.
- [5] Michiels, S., De Hertogh, W., Truijten, S., & Van de Heyning, P. (2014). Physical therapy treatment in patients suffering from cervicogenic somatic tinnitus: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 15(1), 297.
- [6] Gao, Z., Song, H., Ren, F., Li, Y., Wang, D., & He, X. (2017). Reliability and validity of CODA motion analysis system for measuring cervical range of motion in patients with cervical spondylosis and anterior cervical fusion. *Experimental and therapeutic medicine*, 14(6), 5371-5378.
- [7] De Rosario, H., Vivas, M. J., Sinovas, M. I., & Page, Á. (2018). Relationship between neck motion and self-reported pain in patients with whiplash associated disorders during the acute phase. *Musculoskeletal Science and Practice*, 38, 23-29.
- [8] Tendero, C. P., López-Belmonte, E. G. L., de Moya, M. F. P., Mendoza, M. V., & Broseta, M. J. V. (2014). Valoración funcional mediante técnicas biomecánicas en un caso de cervicalgia postraumática atípica. *Revista Española de Medicina Legal*, 40(3), 108-111.
- [9] Broseta, M. J. V., Tendero, C. P., de Francisco Enciso, E., Roselló, R. M., García, A. M. E., & Mendoza, M. V. (2017). Usefulness of biomechanical assessment in determining post-traumatic neck pain sequelae. *Spanish Journal of Legal Medicine*, 43(3), 106-114.
- [10] Vivas Broseta, M.J., Bermejo Bosch, I., Peydro de Moya, F., Pitarch Corresa, S. Is kinematic analysis useful as a clinical test during whiplash associated disorders recovery? A clinical study. *Gait & Posture*, 2017; 57: 358.
- [11] Gregori, B., Agostino, R., Bologna, M., Dinapoli, L., Colosimo, C., Accornero, N., & Berardelli, A. (2008). Fast voluntary neck movements in patients with cervical dystonia: a

kinematic study before and after therapy with botulinum toxin type A. *Clinical Neurophysiology*, 119(2), 273-280.

[12] Chen, J., Solinger, A. B., Poncet, J. F., & Lantz, C. A. (1999). Meta-analysis of normative cervical motion. *Spine*, 24(15), 1571.

[13] Ferlic, D. "The Range of Motion of the 'Normal ' Cervical Spine." Johns Hopkins HOSD. Bull. 110:59-65, 1962

[14] Youdas, J. W., Garrett, T. R., Suman, V. J., Bogard, C. L., Hallman, H. O., & Carey, J. R. (1992). Normal range of motion of the cervical spine: an initial goniometric study. *Physical therapy*, 72(11), 770-780.

[15] Castro, W. H., Sautmann, A., Schilgen, M., & Sautmann, M. (2000). Noninvasive three-dimensional analysis of cervical spine motion in normal subjects in relation to age and sex: an experimental examination. *Spine*, 25(4), 443-449.

[16] Ferrario, V. F., Sforza, C., Serrao, G., Grassi, G., & Mossi, E. (2002). Active range of motion of the head and cervical spine: a three-dimensional investigation in healthy young adults. *Journal of orthopaedic research*, 20(1), 122-129.

[17] Gerhardt, J. Cocchiarella, L and Lea, R: *The Practical Guide to Range of Motion Assessment*, AMA, Chicago , 2002

[18] Trott, P. H., Percy, M. J., Ruston, S. A., Fulton, I., & Brien, C. (1996). Three-dimensional analysis of active cervical motion: the effect of age and gender. *Clinical Biomechanics*, 11(4), 201-206.

[19] Malmström, E. M., Karlberg, M., Fransson, P., Melander, A., & Magnusson, M. (2006). Primary and coupled cervical movements. *Spine*, 31(2).

[20] Baydal-Bertomeu, J. M., Serra-Añó, M. P., Garrido-Jaén, D., López-Pascual, J., Matey, F., Gimeno, C., ... & Dejoz, R. (2007). Desarrollo de una nueva metodología para la valoración de la movilidad cervical basada en técnicas de fotogrametría. *Rehabilitación*, 41(2), 53-60.

[21] 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.

[22] 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.

[23] 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.

- [24] Chema Contreras-Vidal, J. L., & Buch, E. R. (2003). Effects of Parkinson's disease on visuomotor adaptation. *Experimental brain research*, 150(1), 25-32.
- [25] Yan, J. H., Thomas, J. R., Stelmach, G. E., & Thomas, K. T. (2000). Developmental features of rapid aiming arm movements across the lifespan. *Journal of motor behavior*, 32(2), 121-140.
- [26] Dvir, Z., Prushansky, T., & Peretz, C. (2001). Maximal versus feigned active cervical motion in healthy patients: the coefficient of variation as an indicator for sincerity of effort. *Spine*, 26(15), 1680-1688.
- [27] Garces, G. L., Medina, D., Milutinovic, L., Garavote, P., & Guerado, E., (2002). Normative database of isometric cervical strength in a healthy population. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(3), 464-470
- [28] Oberg, T., Sandsjö, L., & Kadefors, R. (1992). Arm movement and EMG mean power frequency in the trapezius muscle: a comparison between surface and intramuscular recording techniques. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 32(1-2), 87-96.
- [29] Elert, J., Kendall, S. A., Larsson, B., Månsson, B., & Gerdle, B. (2001). Chronic pain and difficulty in relaxing postural muscles in patients with fibromyalgia and chronic whiplash associated disorders. *The Journal of rheumatology*, 28(6), 1361-1368.
- [30] Nederhand, M. J., IJzerman, M. J., Hermens, H. J., Baten, C. T., & Zilvold, G. (2000). Cervical muscle dysfunction in the chronic whiplash associated disorder grade II (WAD-II). *Spine*, 25(15), 1938-1943.
- [31] Pullman, S. L., Goodin, D. S., Marquinez, A. I., Tabbal, S., & Rubin, M. (2000). Clinical utility of surface EMG: report of the therapeutics and technology assessment subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*, 55(2), 171-177.
- [32] Meyer, J. J., Berk, R. J., & Anderson, A. V. (1993). Recruitment patterns in the cervical paraspinal muscles during cervical forward flexion: evidence of cervical flexion-relaxation. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 33(4), 217-223.
- [33] Burnett, A., O'Sullivan, P., Caneiro, J. P., Krug, R., Bochmann, F., & Helgestad, G. W. (2009). An examination of the flexion-relaxation phenomenon in the cervical spine in lumbo-pelvic sitting. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(4), e229-e236.



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.

