

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



MODUL BIOMECHANIK GRUNDLAGEN

Didaktische Einheit F: ANFORDERUNGEN AN EIN BIOMECHANISCHES BEWERTUNGSSYSTEM. KONZEPTE DER VALIDITÄT, ZUVERLÄSSIGKEIT UND GENAUIGKEIT

F. 1. Auf welche Merkmale sollte ein geeignetes biomechanisches Bewertungssystem zählen?



Index

1. BIOMECHANISCHE BEWERTUNGSTESTS IN VERSCHIEDENEN KONTEXTEN	3
Was ein biomechanischer Bewertungstest ist.	3
Elemente in einem biomechanischen Bewertungstest.	4
Gängige biomechanische Tests im klinischen Kontext.	4
Üblicher biomechanischer Test in anderen Zusammenhängen	6
Üblicher biomechanischer Test, der im sportlichen Kontext verwendet wird	6
Gängiger biomechanischer Test, der im ergonomischen Kontext verwendet wird	7
Üblicher biomechanischer Test, der im Rahmen einer Untersuchung verwendet wird	8
2. ANFORDERUNGEN AN BIOMECHANISCHE TESTS	10
Gute und schlechte Beispiele über Anforderungen	11
Griffkraftmessung mit einem Thermometer?.....	11
Griffkraftmessung mit einem Handdynamometer?.....	11
3. LEITGEDANKEN	13
4. REFERENZEN	14

1. Biomechanische Bewertungstests in verschiedenen Kontexten

Was ein biomechanischer Bewertungstest ist.

Ein biomechanischer Bewertungstest ist ein ergänzender Test, der mit Hilfe biomechanischer Techniken durchgeführt wird. Er sollte in verschiedenen Kontexten eingesetzt werden. Zum Beispiel wird er als ergänzender Test zur funktionellen Bewertung in einem klinischen Kontext, zur Leistungssteigerung oder zur Verringerung des Verletzungsrisikos in einem sportlichen Kontext, zur Arbeitsbewertung in einem beruflichen Kontext oder zur Untersuchung in diesen verschiedenen Wissensgebieten verwendet. Abbildung 1 zeigt Bilder von verschiedenen biomechanischen Bewertungstests in einem klinischen Kontext (1).

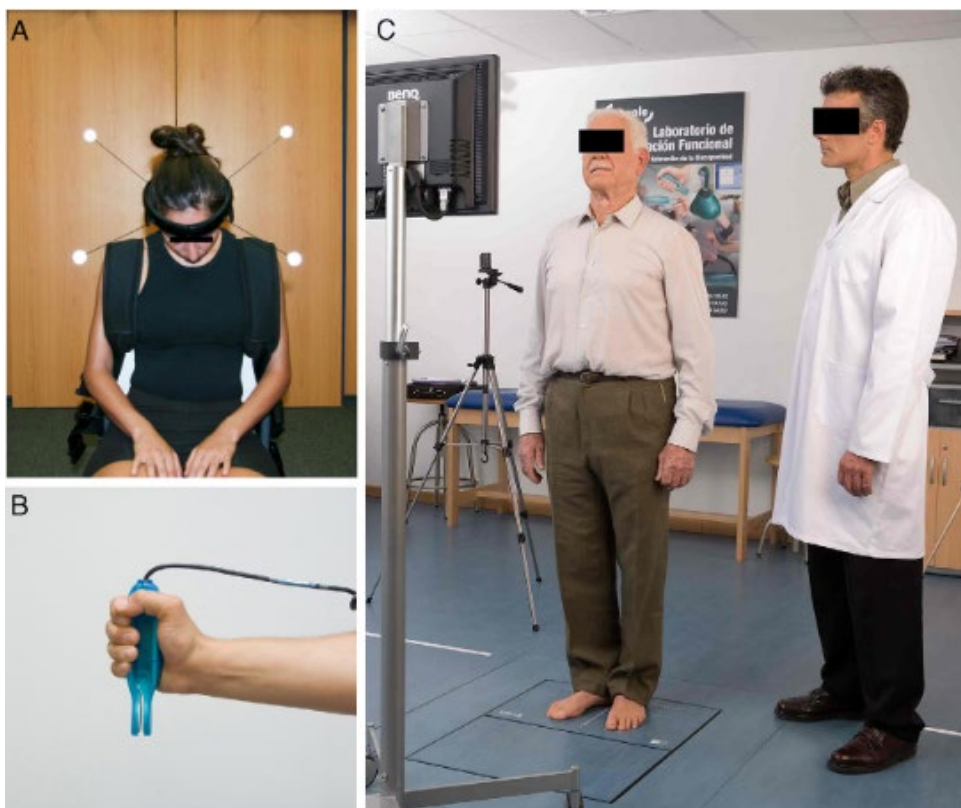


Abbildung 12: Bilder, die den verschiedenen biomechanischen Bewertungstests entsprechen. Analyse der zervikalen Bewegung mit Fogogrammetrie (A), Analyse der Handgriffstärke mit einem Handdynamometer bzw. posturographische Beurteilung mit Kraftplattform (C).

Elemente in einem biomechanischen Bewertungstest.

Es gibt verschiedene biomechanische Bewertungstests, die Elemente, die sie bestimmen, sind:

- Welche Funktion, Tätigkeit oder Geste ist Gegenstand der Bewertung.
- Auf welcher Instrumentaltechnik es basiert.
- Welches Bewertungsprotokoll wurde verwendet.
- Welche Ergebnisse sie liefert, in welchen Einheiten und mit welchen Datenanalysetechniken sie gewonnen wurden.
- Vorhandensein von standardisierten Kriterien für die Interpretation.

Zum Beispiel die Ganganalyse (Aktivität ist Gang) mittels Kraftplattform, Photogrammetrie und Oberflächen-Elektromyographie (allesamt biomechanische Messtechniken) beim Gehen in gerader Linie mit spontaner Geschwindigkeit (Protokoll). Es liefert dynamische und kinematische Parameter wie Bodenreaktionskräfte in Newton, Bewegungsumfang der unteren Extremitäten in Grad oder Ganggeschwindigkeit in Metern pro Sekunde und Muskelaktivierungsmuster (Ergebnisse), die mit normalen Daten einer nicht beeinträchtigten Population verglichen werden können (standardisierte Kriterien für die Interpretation).

Ein weiteres Beispiel ist die Analyse der Griffkraft (Funktion ist die Handkraft) mit einem Dynamometer (biomechanische Messtechnik) während einer Sekunde maximaler Handkraft (Protokoll). Sie liefert die maximale Kraft in Newton (Ergebnisse), die mit normalen Daten von nicht beeinträchtigten Personen verglichen werden können (standardisierte Kriterien für die Interpretation).

Gängige biomechanische Tests im klinischen Kontext.

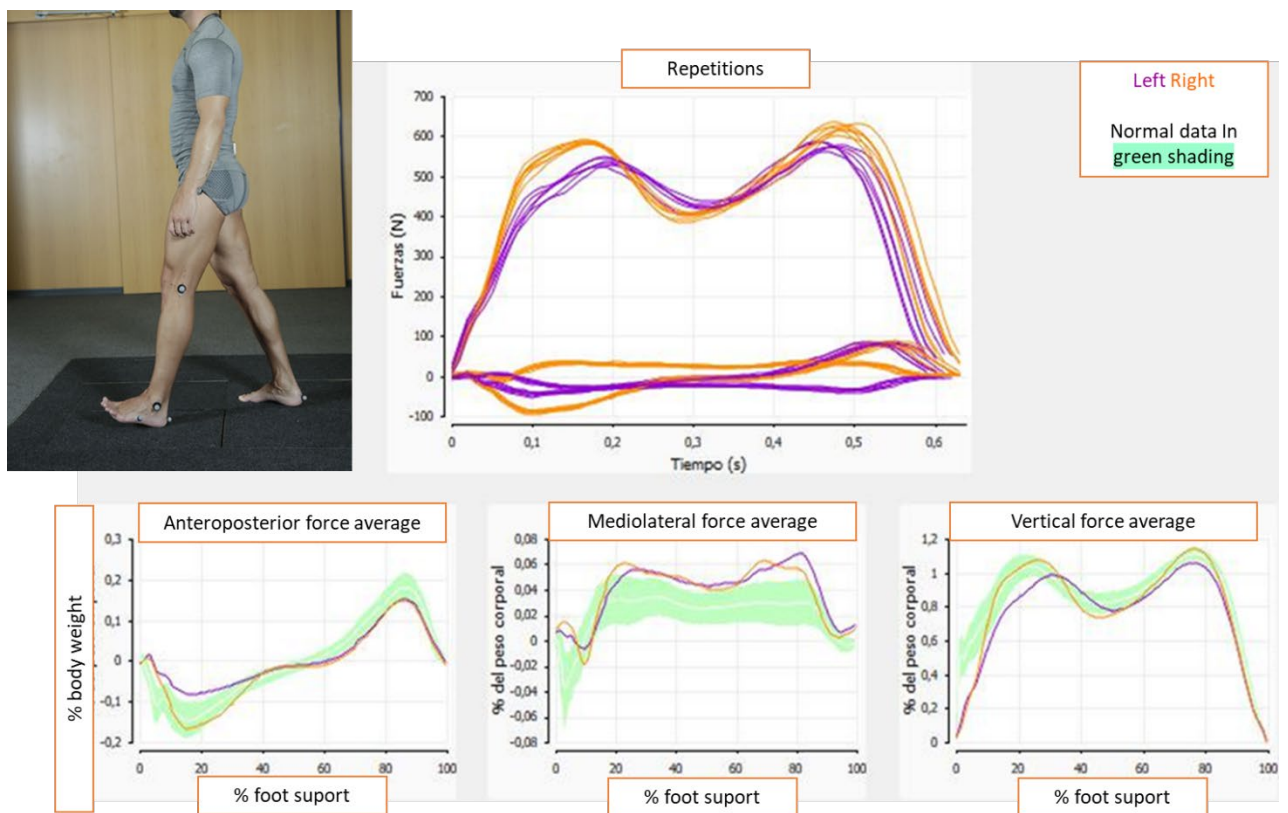
Es besteht eine gewisse Heterogenität hinsichtlich der verwendeten Verfahren, trotzdem ist die funktionelle Bewertung mit biomechanischen Tests im klinischen Bereich weit verbreitet. Die am weitesten verbreiteten biomechanischen Tests im klinischen Kontext, klassifiziert nach ihrem Bewertungszweck und ihrer instrumentellen Technik, sind:

- Beurteilung von Aktivitäten des täglichen Lebens. Einige Beispiele sind Gehen (Bildunterschrift 2), Sitzen bis Stehen, Heben von Lasten oder Bewegen eines Objekts mit Hilfe von Kraftmessplatten und/oder Bewegungsanalysetechniken.
- Beurteilung der Gleichgewichtsfunktion mittels computergestützter Posturographie, basierend auf der Technik der Kraftanalyse.
- Beurteilung der Beweglichkeit der oberen und unteren Gliedmaßen sowie der Wirbelsäule durch Techniken der Bewegungsanalyse.
- Kraftbeurteilung in den oberen und unteren Gliedmaßen sowie der Wirbelsäule mit Hilfe von Kraftanalyseverfahren.

(Im Zusatzmaterial können Sie Videos mit Protokolldetails zu einigen dieser Tests ansehen).

Jeder Test liefert Ergebnisse in unterschiedlichen Einheiten. Aber meistens zielen biomechanische Tests darauf ab, über die bewertete Funktion zu informieren und es ist üblich, dass die Ergebnisse im Vergleich zu Referenzstandards ausgedrückt werden.

Biomechanische Tests werden als ergänzende Tests bei der Beurteilung von Patienten mit Beteiligung des Bewegungsapparates oder der Gleichgewichtsfunktion eingesetzt und finden hauptsächlich Anwendung:



- Evolutionäre Steuerung.
- Behandlungsplanung.
- Beurteilung der Arbeitsfähigkeit eines Arbeiters
- Beurteilung der Körperverletzung.
- Medizinisch-juristische Expertise.

Abbildung 3: Gangbeurteilung mit Kraftmessplatten und Photogrammetrie. Es liefert grafische und numerische Ergebnisse, die mit normalen Daten verglichen werden können. Das Bild zeigt nur die dynamischen Daten von Kraftmessplatten. Es kann bei der Evolutionskontrolle nach einer Verletzung der unteren Extremität, zur Planung von Rehabilitationsbehandlungen, wie Orthesen oder Botulinumtoxin-Infiltration oder zur Bewertung der Rückkehr an den Arbeitsplatz verwendet werden

Abbildung 2 zeigt ein Beispiel für einen biomechanischen Test, der in verschiedenen klinischen Situationen angewendet werden kann. Er liefert grafische und numerische Ergebnisse, die mit normalen Daten verglichen werden können. Die obere rechte Grafik stellt das Muster der Kräfte während der Abstützung in ihren drei anteroposterioren, mediolateralen und vertikalen Komponenten) für die rechte (orange) und linke (lila) Abstützung dar. Es wird eine Asymmetrie beobachtet.

Die Grafiken unten zeigen jede dieser drei Kraftkomponenten im Vergleich zu einem Referenzstandard. Sie kann zur Evolutionskontrolle nach einer Verletzung der unteren Extremität, zur Planung von Rehabilitationsbehandlungen wie Orthesen oder Botulinumtoxin-Infiltration oder zur Bewertung der Rückkehr an den Arbeitsplatz verwendet werden

Üblicher biomechanischer Test in anderen Zusammenhängen

Üblicher biomechanischer Test, der im sportlichen Kontext verwendet wird

Die Sportbiomechanik ist der Wissenschaftszweig, der sich mit der Analyse der menschlichen Körperbewegung bei sportlichen Aktivitäten beschäftigt, um sie für verschiedene Anwendungen zu untersuchen. Als globales Konzept wird dieser Wissenschaftszweig genutzt, um zu versuchen, entweder die Leistung zu verbessern oder

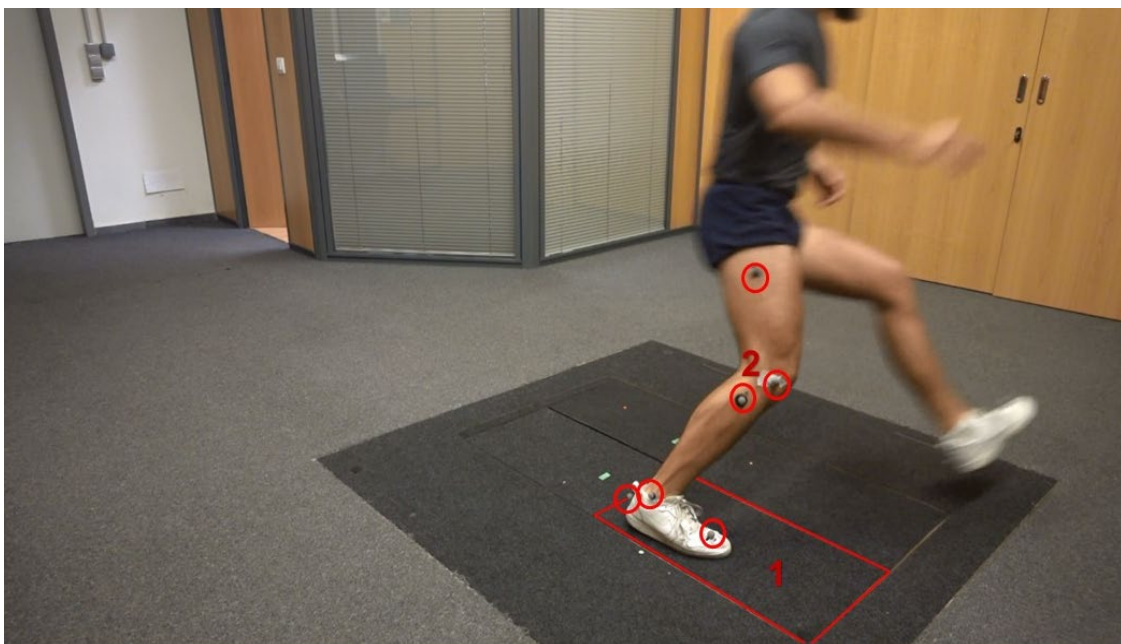


Abbildung 45: Prüfung der seitlichen Schnittbewegung (1. Kraftmessplatte, 2. reflektierende Marker, die vom 3D-Bewegungsanalysesystem verwendet werden).

das Verletzungsrisiko bei der ausgeführten Sport- und Übungsaufgabe zu verringern (Abbildung 3).

Die Biomechanik wird unter anderem im Bereich der Sport- und Bewegungswissenschaften angewendet, um:

- Verbesserung der sportlichen Leistung eines Athleten durch Quantifizierung seiner mechanischen Fehler und deren gezielte Behebung, falls modifizierbar, um die höchste Bewegungseffizienz zu erreichen.
- Beurteilung der Verletzungsprophylaxe, um Schwachstellen bei der Ausführung der sportlichen Aktivität des Sportlers zu identifizieren, die den Bewegungsapparat einer Läsion aussetzen könnten. Bestimmung der sichersten Methoden zur Ausführung einer bestimmten Sportart oder Übungsaufgabe.
- Untersuchung des Ergebniseffekts einer Intervention, z. B. eines ergogenen Hilfsmittels, eines chirurgischen Eingriffs, Verfolgung eines Rehabilitationsprotokolls und Bewertung einer sicheren Rückkehr zum Sport.
- Beurteilung der neuromuskulären Funktionen, der muskulären Rekrutierung und der Belastung.
- Die Analyse von Sport- und Trainingsgeräten, z.B. Schuhe, Spielflächen, Schläger...etc.

Für die verschiedenen Anwendungen gibt es eine Vielzahl von Geräten, die im Labor und im Freien eingesetzt werden können. Es gibt keinen Standard über biomechanische Tests im Sport, aber diese werden hauptsächlich verwendet, um kinetische und kinematische Werte zu erhalten und neigen dazu, synchronisiert zu werden (Abbildung4).

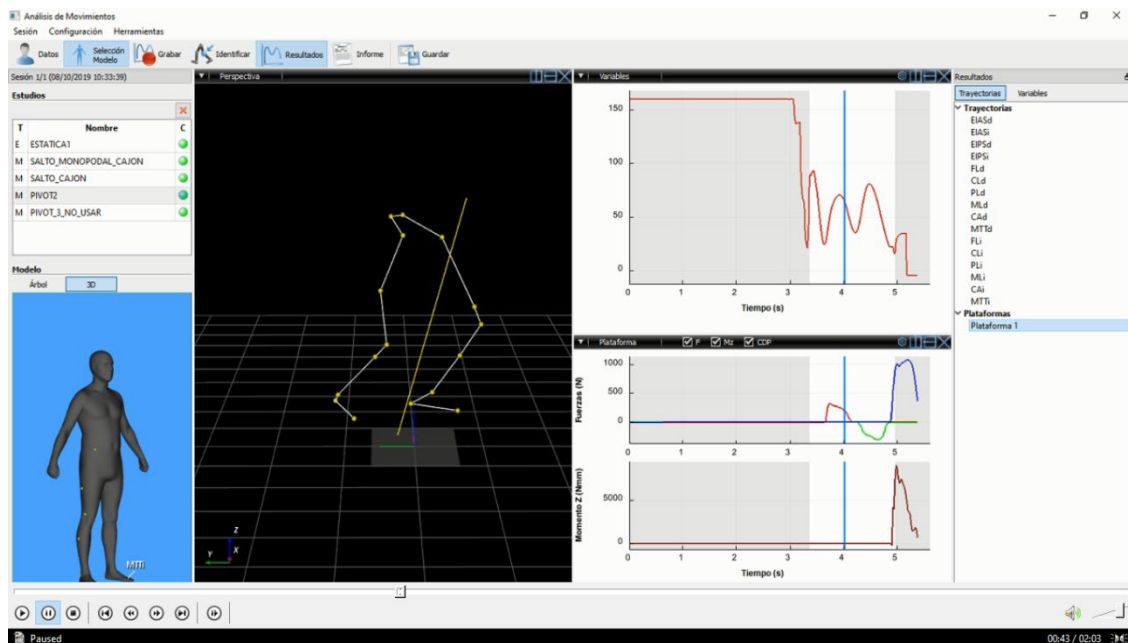


Abbildung 67: Schnittstelle eines Bewegungsanalysestems mit Anzeige von Impuls und Kraft.



Üblicher biomechanischer Test, der im ergonomischen Kontext verwendet wird

Ergonomie ist das Wissensgebiet, das sich mit der Untersuchung der Anpassungsbedingungen eines Arbeitsplatzes an die physischen und psychischen Eigenschaften des Arbeiters beschäftigt. Die Ergonomie strebt nach höherer Leistung bei der Arbeit.

Die biomechanische Messung wird u.a. im Bereich der Ergonomie angewendet, um:

- Körperhaltungen, biomechanische Belastungen, Wiederholungen ... bei der Ausführung einer Aufgabe für die Gefährdungsbeurteilung zu kennen. Die Methoden der Gefährdungsbeurteilung am Arbeitsplatz basieren auf der Beobachtung des Arbeiters während seiner Aufgaben. Manchmal wird eine instrumentierte Beurteilung für eine größere Validität und Objektivität bei der Bewertung verwendet.
- Bewerten Sie die Verringerung der Anstrengung für den Arbeiter bei der Verwendung von Exoskeletten. Exoskelette werden in der Industrie eingesetzt, um die

Abbildung 8: Biomechanische Aufzeichnung der Körperhaltung bei Arbeitsaufgaben mit Elektrogoniometern.

Arbeitsbedingungen der Arbeiter zu verbessern, die körperliche Belastung zu reduzieren und Verletzungen zu vermeiden

Bei diesen Anwendungen findet die biomechanische Beurteilung am Arbeitsplatz statt und es gibt tragbare Techniken. Im Bereich der Ergonomie gibt es Normen für die Gefährdungsbeurteilung, jedoch gibt es keine Norm über biomechanische Tests. Biomechanische Techniken werden üblicherweise verwendet, um objektive Informationen über Körperhaltungen, körperliche Belastungen oder sich wiederholende Bewegungen zu erfassen.

Üblicher biomechanischer Test, der im Rahmen einer Untersuchung verwendet wird

Es gibt viele Forschungsstudien, die biomechanische Bewertungsmethoden in verschiedenen Bereichen verwenden. Im Zusammenhang mit der Beurteilung des muskuloskeletalen Systems werden sie verwendet, um:

- Vergleichen Sie verschiedene chirurgische oder rehabilitative Behandlungen.
- Zur Beurteilung der Wirkung einer Behandlung auf einen Patienten.
- Beschreiben Sie das biomechanische Muster einer Pathologie.

Zum Beispiel wird in der Studie *Effects of medially posted insoles on foot and lower limbs mechanics across walking and running in overpronating men* von Konosen et al. (2) eine biomechanische Bewertungsanalyse vorgestellt, in der die Wirkung von Supinator-Einlagen unter Geh- und Laufbedingungen sowohl im Rückfuß als auch im Vorfuß durch die Instrumentierung mit Markern und den Einsatz eines 3D-Photogrammetriesystems aus 10 Kameras bewertet wird.

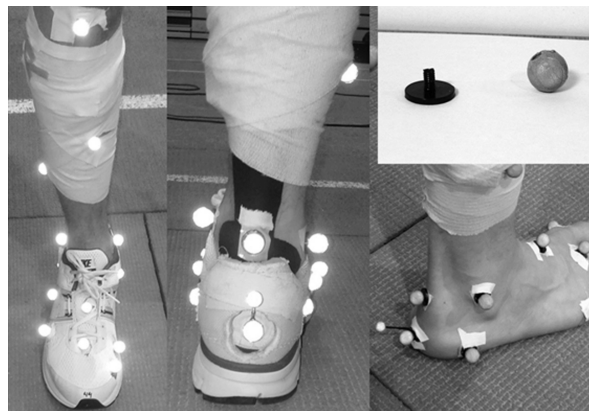


Abbildung 9: Detail der Fuß- und Sprunggelenkinstrumentierung in der Konosen-Studie

Die wichtigsten Schlussfolgerungen dieser Studie deuten darauf hin, dass die Verwendung von Orthesen hauptsächlich die Bewegung des Vorfußes beeinflusst und die Bewegung der maximalen Eversion beim Gehen und Laufen reduziert.

Als Teil Ihrer theoretischen Ausbildung sollten Sie sich einige Videos über die biomechanische Beurteilung mit instrumentierten Techniken ansehen, auf die Sie über das Internet zugreifen werden. Es gibt viele Ressourcen, die Sie finden können, indem Sie einfach nach **"Biomechanical assessment instrumented techniques"** (**Biomechanische Beurteilung mit instrumentierten Techniken**) suchen; Sie können die für Sie interessantesten auswählen, je nach Ihrem Interessengebiet.

Sie sehen: <https://www.lboro.ac.uk/research/phc/performance/biomechanics/> als gutes Beispiel.

Versuchen Sie zu identifizieren:

- Verwendungskontext und Ziel der Auswertung.
- Funktion, Tätigkeit oder Geste, die der Bewertung unterliegt.
- Instrumentaltechnik, auf der es basiert.
- Protokoll.
- Ergebnisse.

2. Anforderungen an biomechanische Tests

Manchmal wird beim Testen viel Aufmerksamkeit auf die Qualität der Messtechnik gelegt; die Nützlichkeit dieser Techniken hängt jedoch von ihrer technischen Qualität oder Ausgereiftheit und von ihrer Fähigkeit ab, die Realität abzubilden, um Ziele zu erreichen. Konkret handelt es sich bei diesen Zielen um die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Situationen (z. B. krank und gesund oder gute und schlechte Ausführung einer sportlichen Geste) auf zuverlässige, gültige Weise und mit vertretbarem Aufwand zu diskriminieren.

Der Einsatz hochentwickelter Bewertungsinstrumente zusammen mit leistungsfähigen statistischen Analysetechniken muss mit der Erfüllung einer Reihe grundlegender Kriterien der Validität, Reliabilität und Verwendbarkeit einhergehen, die wesentliche Merkmale für eine aus klinischer und wissenschaftlicher Sicht akzeptierte maritime Messtechnik sind.

Die grundlegenden Kriterien, die biomechanische Auswerteverfahren erfüllen müssen, werden im Folgenden kurz dargestellt.

- **Validität:** ist die Eigenschaft, die angibt, dass die Messung wirklich den Aspekt repräsentiert, den Sie bewerten wollen.
- **Zuverlässigkeit:** ist die Eigenschaft, die angibt, dass die Messung gleichwertige Ergebnisse liefert, wenn sie unter gleichwertigen Bedingungen durchgeführt wird
- **Usability:** Sie ist die Eigenschaft, die angibt, dass ein Test von bestimmten Benutzern verwendet werden kann, um bestimmte Ziele mit Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit in einem bestimmten Nutzungskontext zu erreichen. Usability bedeutet die Fokussierung auf die Benutzer.

Um diese Aspekte zu vertiefen, können Sie das *Thema: F2. Was bedeuten Validität, Reliabilität und Verwendbarkeit bei der biomechanischen Beurteilung und warum sind sie wichtig?* in derselben didaktischen Einheit.

Gute und schlechte Beispiele für Anforderungen

Beurteilung der Griffkraft mit einem Thermometer?



Wenn Sie ein Thermometer zur Beurteilung der Griffstärke verwenden...

Führen Sie eine **zuverlässige** Messung durch?

Führen Sie eine **gültige** Messung durch?

Sie kann wiederholbar sein, da sie äquivalente Messungen der Temperatur bietet, wenn wir verschiedene Messungen mit demselben Protokoll durchführen, aber sie ist keine gültige Messung zur Beurteilung der Griffstärke.

Die Beurteilung der Griffkraft muss mit einem gültigen Instrument zur Kraftmessung durchgeführt werden. Ein Thermometer ist für die Temperaturmessung gültig, aber nicht für die Kraftmessung.

Griffkraftmessung mit einem Handdynamometer?



Wenn Sie ein Handdynamometer zur Beurteilung der Griffkraft verwenden...

Führen Sie eine **zuverlässige** Messung durch?

Führen Sie eine **gültige** Messung durch?

Die Zuverlässigkeit der Messung hängt von der Zuverlässigkeit des verwendeten Dynamometers und des Protokolls ab. Die Wiederholbarkeit muss durch Intra-Subjekt- und Inter-Evaluator-Reproduzierbarkeitsstudien nachgewiesen werden.

Viele Studien haben die Zuverlässigkeit des Handdynamometers zur Beurteilung der Griffkraft mit kontrolliertem Protokoll nachgewiesen.

Das Handdynamometer hat sich in vielen Studien über Jahre hinweg als valide zur Beurteilung der Griffkraft erwiesen.

Die Gebrauchstauglichkeit ist abhängig von Aspekten wie: Kosten-Nutzen-Verhältnis für den Anwender, Sicherheit für den Patienten, Gebrauchsanweisung für Software und Instrumententechnik, zugehörige Dokumentation...

Führen Sie eine **verwertbare** Messung durch?

Medizinprodukte müssen eine entsprechende Zertifizierung haben, die Validität, Zuverlässigkeit und Gebrauchstauglichkeit beinhaltet.

Ein guter biomechanischer Auswerter muss die Eigenschaften der von ihm verwendeten instrumentellen Techniken kennen und sicherstellen, dass diese für sein Messobjekt geeignet sind.

3. Wichtige Ideen

Die wichtigsten Ideen dieser Sitzung sind:

- Ein biomechanischer Bewertungstest ist ein ergänzender Test, der mit Hilfe biomechanischer Techniken durchgeführt wird und in verschiedenen Kontexten eingesetzt werden sollte.
- Es gibt verschiedene biomechanische Bewertungstests, die Elemente, die sie bestimmen, sind:
 - Welche Funktion, Tätigkeit oder Geste ist Gegenstand der Bewertung.
 - Auf welcher Instrumentaltechnik es basiert.
 - Welches Bewertungsprotokoll wurde verwendet.
 - Welche Ergebnisse sie liefert, in welchen Einheiten und mit welchen Datenanalysetechniken sie gewonnen wurden.
 - Vorhandensein von standardisierten Kriterien für die Interpretation.
- Es besteht eine gewisse Heterogenität hinsichtlich der verwendeten Verfahren, trotzdem ist die funktionelle Bewertung mit biomechanischen Tests im klinischen Bereich weit verbreitet. Die am weitesten verbreiteten biomechanischen Tests im klinischen Kontext, klassifiziert nach ihrem Bewertungszweck und ihrer instrumentellen Technik, sind:
 - Beurteilung der Aktivitäten des täglichen Lebens.
 - Beurteilung der Gleichgewichtsfunktion.
 - Beurteilung der Beweglichkeit der oberen und unteren Gliedmaßen sowie der Wirbelsäule.
 - Kraftbeurteilung in den oberen und unteren Gliedmaßen sowie der Wirbelsäule.
- Biomechanische Tests werden auch in sportlichen, ergonomischen oder Untersuchungskontexten eingesetzt.
- Die grundlegenden Kriterien, die von biomechanischen Bewertungsverfahren erfüllt werden müssen, sind:
 - Validität: ist die Eigenschaft, die angibt, dass die Messung wirklich den Aspekt repräsentiert, den Sie bewerten wollen.
 - Zuverlässigkeit: ist die Eigenschaft, die angibt, dass die Messung gleichwertige Ergebnisse liefert, wenn sie unter gleichwertigen Bedingungen durchgeführt wird
 - Usability: Sie ist die Eigenschaft, die angibt, dass ein Test von bestimmten Benutzern verwendet werden kann, um bestimmte Ziele mit Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit in einem bestimmten Nutzungskontext zu erreichen. Usability bedeutet die Fokussierung auf die Benutzer.

4. Referenzen

- [1] Baker R, Esquenazi A, Benedetti MG, Desloovere K. Gait analysis: clinical facts. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2016 Aug;52(4):560-74.
- [2] Bausá, R., Dalmau, A., Barrachina, J., Peydro, M.F. Kinetic gait analysis in sequels of hindfoot injuries. Preliminary results. *Foot and Ankle Surgery*, 2007; 13(2) 63-66.
- [3] Buldt AK, Allan JJ, Landorf KB, Menz HB. The relationship between foot posture and plantar pressure during walking in adults: A systematic review. *GaitPosture.* 2018 May;62:56-67. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.02.026. Epub 2018 Feb 23.
- [4] Baydal Bertomeu JM, Medina Ripoll E, Peydro MF, Pedrero JF, López-Pascual J. Personalized vs Average normal patterns to identify pathological motion. *Gait and Posture* (2018), <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.06.187>
- [5] Baydal Bertomeu, J.M., Page, A.; Belda Lois, J.M., Garrido Jaén, D.J., Prat, J. Neck motion patterns in wiplash-associated disorders: Quantifying variability and spontaneity of movement. *Clinical Biomechanics*, 2011, *Clinical Biomechanics* 26: 29–34.
- [6] Cabeza Ruiz, R., García Massó, X., Centeno Prada, R.A., Beas Jiménez, J.D., Colado, J.C., González, L.M. Time and frequency analysis of the static balance in young adults with Down syndrome. *Gait and Posture*, 2010: 33; 23 – 28
- [7] Cofré Lizama LE, Khan F, Lee PV, Galea MP. The use of laboratory gait analysis for understanding gait deterioration in people with multiple sclerosis. *Mult Scler.* 2016; 22(14):1768-1776.
- [8] De Rosario, H., Vivas, M.J., Sinovas, I., Page, A. Relationship between neck motion and selfreported pain in patients with whiplash-associated disorders during the acute phase. *Musculoskeletal Science and Practice*, 2018; 38: 23 – 29
- [9] Herrera Ligeró, C., Garcés Pérez, L., Vivas Broseta, M.J., Sinovas Alonso, I. Functional assessment in a case of meniscopthy. Usefulness of an application to evaluate gait, singlelimb support and the climb and descent of stairs in front of isolated gait studies in the biomechanical characterization of the knee. *Gait and Posture*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.06.467>
- [10] Hollander K, Zech A, Rahlf AL, Orendurff MS, Stebbins J, Heidt C. The relationship between static and dynamic foot posture and running biomechanics: A systematic review and meta-analysis. *Gait Posture.* 2019 Jul;72:109-122. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.05.031. Epub 2019 Jun 1. PMID: 31195310.
- [11] Jukka Kosonen, Juha-Pekka Kulmala, Erich Müller, Janne Avela, Effects of medially posted insoles on foot and lower limb mechanics across walking and running in overpronating men. *Journal of Biomechanics*, 2017; 54: 58-63
- [12] Lafuente, R., Belda, J.M., Sánchez Lacuesta, J., Soler, C., Poveda, R., Prat, J. Quantitative assessment of gait deviation: contribution to the objective measurement of disability. *Gait and Posture*, 2000; 11(3): 191 – 19
- [13] Lefèvre-Colau MM, Nguyen C, Palazzo C, Srour F, Paris G, Vuillemin V, Poiraudreau S, Roby-Brami A, Roren A. Kinematic patterns in normal and degenerative shoulders. Part II: Review of 3-D scapular kinematic patterns in patients with shoulder pain, and clinical implications. *Ann Phys Rehabil Med.* 2018 Jan;61(1):46-53. doi: 10.1016/j.rehab.2017.09.002. Epub 2017 Oct 5. PMID: 28987866.

- [14] López-Pascual, J., Page, A., Serra-Añó, P. Dynamic thoracohumeral kinematics are dependent upon the etiology of the shoulder injury. PLoS ONE 12(8): e0183954, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0183954>.
- [15] Malagelada, F., Amin del Carmen, V., Barke, S.J., Cano Guirao, LL., Cobo Pleguezuelos, E. The anterior mini-open approach for femoroacetabular impingement: Gait and functional assessment at one year post-surgery. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, 2015; 58, (2): 60-65.
- [16] Papagiannis GI, Triantafyllou AI, Roumpelakis IM, Papagelopoulos PJ, Babis GC. Gait analysis methodology for the measurement of biomechanical parameters in total knee arthroplasties. A literature review. J Orthop. 2018 Feb 2;15(1):181-185.
- [17] Rowson S, Bland ML, Campoletano ET, Press JN, Rowson B, Smith JA, Sproule DW, Tyson AM, Duma SM. Biomechanical Perspectives on Concussion in Sport. Sports Med Arthrosc Rev. 2016 Sep;24(3):100-7.
- [18] Sánchez Zuriaga, D.; López Pascual, J; Garrido Jaén, D.; Peydro de Moya, M.F.; Prat Pastor, J.M. Reliability and validity of a new objective tool for low back pain functional assessment. Spine, 2011; 36(16): 1279 – 1288.
- [19] Sanchis-Alfonso, V., Torga-Spak, R., Cortés, A. Gait pattern normalization after lateral retinaculum reconstruction for iatrogenic medial patellar instability. The Knee, 2007; 14: 484-488.
- [20] Sanchis Alfonso; V., Baydal Bertomeu, J.M., Castelli, A., Montesinos Berry, E., Marín, S., Garrido Jaén, J.D. "Laboratory Evaluation of the Pivot Shift Phenomenon Using Kinetic Analysis: A Preliminary Study". The Journal of Bone and Joint Surgery, American 2011; 93:1256-67. 31896
- [21] Schrijvers JC, van den Noort JC, van der Esch M, Dekker J, Harlaar J. Objective parameters to measure (in)stability of the knee joint during gait: A review of literature. Gait Posture. 2019 May;70:235-253. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.03.016. Epub 2019 Mar 20. PMID: 30909003.
- [22] 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 and Posture <http://dx.doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.06.466>
- [23] 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: 35
- [24]



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.