

Auswirkungen von rumpfunterstützenden Exoskeletten auf die Belastung der unteren Extremitäten – eine theoretische Analyse

Ulrich GLITSCH, Jasper JOHNS, Omar EL-EDRISSI, Kai HEINRICH

*Institut für Arbeitsschutz der DGUV (IFA),
Alte Heerstr. 111, D-53757 Sankt Augustin*

Kurzfassung: Beim Einsatz von rumpfunterstützenden Exoskeletten an industriellen Arbeitsplätzen wird neben der Höhe der Unterstützungswirkung häufig auch die Frage nach den Auswirkungen auf die Belastung der unteren Extremitäten gestellt. Am Beispiel der Kniegelenkbelastung soll im Rahmen einer theoretischen Analyse die Auswirkungen eines rumpfunterstützenden Exoskeletts dargestellt und analysiert werden. Auf Basis der inversen Dynamik kann bei Kenntnis der äußeren Kräfte auf die untere Extremität (Bodenreaktionskraft) die Belastungssituation für das Kniegelenk beschrieben werden. Die Analyse zeigt, dass die Kontaktkräfte zwischen Exoskelett und Mensch keine unmittelbaren Auswirkungen auf die Belastung des Kniegelenks haben, sofern die Bewegung bzw. Haltung nicht zusätzlich verändert wurde.

Schlüsselwörter: Exoskelette, biomechanische Analyse, inverse Dynamik, industrielle Arbeitsplätze, Muskel-Skelett-Belastungen

1. Einleitung

Der Einsatz von Exoskeletten an industriellen Arbeitsplätzen wird seit einigen Jahren intensiv diskutiert. Neben der Entlastungswirkung des Rückens durch rumpfunterstützende Exoskelette, wird immer wieder die Frage nach den Auswirkungen auf die unteren Extremitäten gestellt, die nicht vom Exoskelett umschlossen sind. Speziell wird die Vermutung angestellt, dass das Exoskelett unmittelbar zusätzliche Kräfte auf die Kniegelenke übertragen könne. Mit einer theoretischen Betrachtung in Verbindung mit praktischen Versuchen wurde dieser Frage nachgegangen.

2. Methodik

Die Belastung des Kniegelenks kann unabhängig vom Einsatz eines Exoskeletts durch einen invers-dynamischen Modellansatz verfolgt werden (Crowninshield & Brand 1981). Ausgehend von den Bodenreaktionskräften, die für jedes Bein getrennt mit Kraftmessplatten erfasst werden können, bilden die kinematischen Daten von Fuß und Unterschenkel die wesentlichen Eingangsgrößen für das invers-dynamische Modell. Daraus lassen sich unter Einsatz eines anthropometrischen Modells die Kniegelenkmomente bestimmen (Abbildung 1). Diese sind Kennzeichen für die muskuläre Belastungssituation des Kniegelenks i.S. der Netto-Muskelkraftmomente.

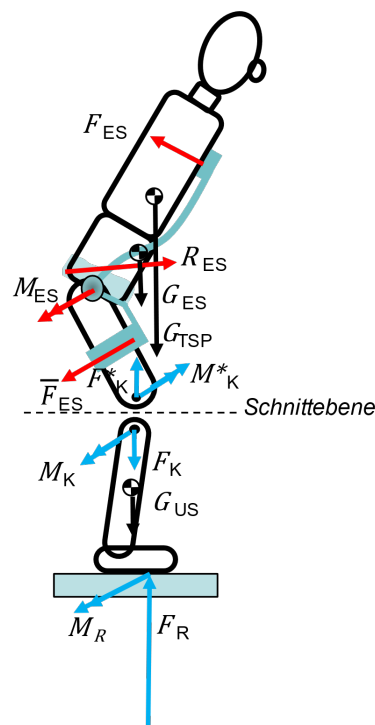


Abbildung 1: Invers-dynamischer Ansatz im Bottom-up-Verfahren zur Ermittlung der Kniegelenkmomente M_K . Der virtuelle Schnitt auf Höhe des Kniegelenkmittelpunktes zeigt, dass die Kräfte und Momente oberhalb nicht weiter berücksichtigt werden müssen. (Anmerkung: die Trägheitskräfte und -drehmomente sind aus Platzgründen nicht explizit dargestellt).

Legende: F_R , M_R : Bodenreaktionskraft und deren Moment,

G_{US} : Gewichtskraft des Teilschwerpunkts von Unterschenkel und Fuß;

F_K , M_K : Reaktionskraft und Gelenkmoment am Kniegelenkmittelpunkt

F_K^* , M_K^* : entsprechende Gegenkraft und -moment (3. Newtonsche Axiom),

F_{ES} , \bar{F}_{ES} : Unterstützungskräfte des Exoskeletts, die durch das Antriebsmoment M_{ES} erzeugt werden; R_{ES} , G_{ES} : Reaktionskraft des Exoskeletts am Beckengurt und dessen Gewichtskraft,

G_{TSP} : Gewichtskraft des Teilschwerpunkts der Körpersegmente oberhalb des Kniegelenks.

Im Rahmen von Laborversuchen mit 12 Probanden wurden die Effekte auf die Belastung der Kniegelenke beim Heben von Lasten und beim Gehen durch den Einsatz eines Exoskeletts untersucht.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die invers-dynamische Analyse zeigt, dass, solange sich die Kinematik des Bewegungsablaufs durch den Einsatz eines Exoskeletts nicht verändert, die Belastungssituation für die Kniegelenke weitgehend unverändert bleibt. In den Bodenreaktionskräften spiegeln sich die zusätzlichen Massenkraft des Exoskeletts (Gewichts- und Trägheitskräfte) wider. Da Exoskelette typischerweise zwischen ca. 4 und 8 kg wiegen,

ist der Belastungszuwachs im Vergleich zum Gesamtkörpergewicht eher gering. Die Unterstützungskräfte, die das Exoskelett auf Oberschenkel und Rumpf ausübt, spielen in der Bilanz der Kniegelenkmomente keine Rolle.

Die Laborversuche bestätigen den meist geringen Einfluss des Exoskeletts auf die Kniegelenkbelastung beim Anheben von Lasten oder beim Gang mit mäßiger Geschwindigkeit ($v_{MW} = 1,2 \text{ m/s}$; SD $0,2 \text{ m/s}$). Das Gewicht des Exoskeletts wirkt sich vorwiegend auf die vertikalen Bodenreaktionskräfte aus (Abbildung 2).

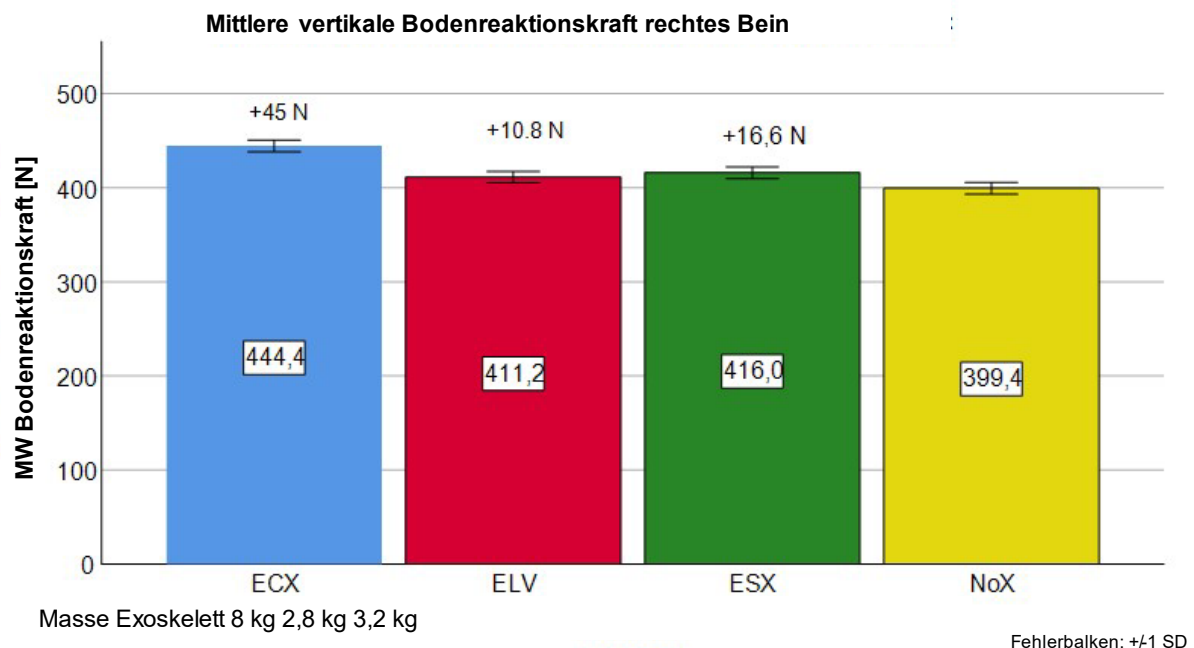


Abbildung 2: Vergleich der mittleren vertikalen Bodenreaktionskräfte des rechten Beines beim Heben von einem 20 kg Gewicht der 12 Probanden (je 3 Wdh.) mit verschiedenen Exoskeletten (ECX, ELV, ESX) im Unterschied zur Situation ohne Exoskelett (NoX). Die Kraftwerte über den Säulen kennzeichnen die Differenz zu NoX.

Bei höheren Ganggeschwindigkeiten sind allerdings Auswirkungen auf die Kinematik und die Bodenreaktionskräfte zu erwarten. Dies ist eine Anpassungsreaktion des Menschen auf das Verhalten des Exoskeletts.

Deutlicher können die kinematischen Veränderungen beim Anheben von Lasten ausfallen, wenn beim Einsatz eines Exoskeletts das Anheben von Lasten plötzlich mit gestreckten Beinen (stoop lifting) ausgeführt wird, wozu rumpfunterstützende Exoskelette verleiten können. Dies zieht entsprechende Konsequenzen der Kniegelenkbelastung nach sich. Mit dem hier vorgestellten Ansatz können die Auswirkungen von Exoskeletten auf die Belastungen der unteren Extremitäten relativ schnell und einfach ermittelt werden.

4. Literatur

Crowninshield RD, Brand RA (1981) The Prediction of Forces in Joint Structures: Distribution of Intersegmental Resultants. Exercise and Sport Sciences Reviews 9: 159-181.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration
und ihre Auswirkung auf Mensch,
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

GfA-Press

Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin, Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003, Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

office@internetkundenservice.de, www.internetkundenservice.de