

Studiendesign zur ergonomischen Bewertung des Langzeiteinsatzes von passiven Exoskeletten in der Arbeitswelt unter realen Nutzungsbedingungen

Julia RIEMER, Sascha WISCHNIEWSKI

*Fachgruppe „Human Factors, Ergonomie“
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1-25, D-44149 Dortmund*

Kurzfassung: Die Auswirkungen eines längerfristigen Einsatzes von passiven Oberkörper-Exoskeletten auf das Muskel-Skelett-System sind bisher noch nicht ausreichend untersucht und deshalb eine Abschätzung von Nutzen und möglichen Risiken dieser neuen Technologie nur eingeschränkt möglich. In der geplanten Untersuchung werden Personen, die ein Schulter- oder Rücken-Exoskelett an ihrem Arbeitsplatz tragen, über einen Zeitraum von einem Jahr arbeitswissenschaftlich begleitet. Dabei sollen in einer Langzeitbefragung subjektive physische Auswirkungen von passiven Oberkörper-Exoskeletten und der empfundene Komfort bei der langfristigen Nutzung erhoben werden. Ergänzend werden mögliche Veränderungen des Bewegungsverhaltens und der Bewegungsfähigkeit über den Zeitverlauf funktionell untersucht sowie mögliche Veränderung der Muskelaktivität und Muskelkraft der Benutzerinnen und Benutzer evaluiert.

Schlüsselwörter: Schulter-Exoskelett, Rücken-Exoskelett, Muskel-Skelett-Erkrankungen, Langzeiterhebung, subjektive Evaluation, Arbeitsplatz

1. Einleitung

Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) im Bereich des Oberkörpers gehören immer noch zu den häufigsten arbeitsbedingten Erkrankungen in Deutschland und verursachten 2019 rund 22 % aller Arbeitsunfähigkeitstage (Braun 2020). Exoskelette, als tragbare Hilfsmittel, bieten in diesen Fällen einen möglichen Präventionsansatz zur Verringerung berufsbedingter körperlicher Überlastung. Jedoch sind vor allem die Auswirkungen eines längerfristigen Einsatzes von passiven Oberkörper-Exoskeletten auf das Muskel-Skelett-System bisher noch nicht ausreichend untersucht und deshalb eine Abschätzung von Nutzen und möglichen Risiken dieser neuen Technologie nur bedingt möglich.

Die bisherige Forschung zum Einsatz von passiven Oberkörper-Exoskeletten im Arbeitskontext ist vor allem von Studien geprägt, die eine technische Entwicklung und die kurzfristige Wirksamkeit von passiven Rücken- und Schulter-Exoskeletten thematisieren. Als Vorteile der Nutzung von Exoskeletten werden hier besonders die Reduktion von Muskelaktivität (Kim et al. 2018) und eine Verbesserung der Ausdauerkapazität diskutiert (Bosch et al. 2016). Demgegenüber stehen mögliche negative Auswirkungen auf die Kinematik sowie Belastungen anderer Körperregionen (Luger et al. 2019; Picchiotti et al. 2019). Untersuchungen bei längerer Nutzungsdauer eines Exoskelettes ergaben auf der einen Seite eine verbesserte Ausdauerkapazität (Amandels et al. 2018). Andererseits können auch Bedenken hinsichtlich durch das Exoskelett

hervorgerufene Einschränkungen der Bewegungsqualität oder des subjektiv empfundenen Komforts ausgemacht werden (Marino 2019). Jedoch bilden die beschriebenen Studien trotz ihres Längsschnittcharakters auf Grund des kurzen Erhebungszeitraums keine Langzeitauswirkungen des Tragens eines Exoskelettes ab. Die Beobachtung der Auswirkung über einen längeren Zeitraum sind jedoch erforderlich, um mögliche Effekte auf das Muskel-Skelett-System zu ermitteln.

Darüber hinaus muss ein realer Nutzungskontext der Technologie berücksichtigt werden. Die geplante Untersuchung soll deshalb eine ganzheitliche Evaluation der subjektiven und objektiven Auswirkungen einer langfristigen Nutzung von Exoskeletten auf das Muskel-Skelett-System ermöglichen.

2. Langzeitbefragung

Im ersten Teil des geplanten Projektes sollen Exoskelett-Nutzende über einen Zeitraum von einem Jahr in regelmäßigen Abständen von zwei Wochen hinsichtlich ihrer eigenen körperlichen Verfassung und des Zustandes ihres Bewegungsapparates befragt werden. Ziel ist zu ermitteln, ob sich körperliche Beschwerden, der empfundene Komfort und die Nutzerakzeptanz im Zuge einer längerfristigen Nutzung von passiven Oberkörper-Exoskeletten verändern und ob diese Veränderungen entsprechend der Nutzungsdauer und -häufigkeit variieren.

Neben Fragen zum Exoskelett und Nutzungsverhalten werden mögliche Beschwerden und der empfundene Komfort in den vom Exoskelett besonders belasteten Körperregionen mit Hilfe der „Pain Rating Scale“ (Farrar et al. 2001) erhoben. Informationen hinsichtlich der Nutzerakzeptanz gegenüber dem Exoskelett sollen durch die „TAM2 Measurement Scale“ (Venkatesh & Davis 2000) ermittelt werden.

Um mögliche physische Beschwerden auf eventuelle körperliche Aktivitäten oder Belastungen außerhalb des Arbeitsplatzes zurückführen zu können, wird zusätzlich die tägliche arbeitsunabhängige körperliche Aktivität der Teilnehmenden dokumentiert. Auch mögliche körperliche Beschwerden der Versuchspersonen werden zusätzlich durch einen Anamnese-Fragebogen vorab erhoben.

Der Inhalt der Befragung ist an die Fragen der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung angelehnt (Lück et al. 2019) und ermöglicht so einen anschließenden Abgleich der Ergebnisse mit einer entsprechenden Referenzgruppe. Der Vergleich mit dem BIBB/BAuA-Datensatz hinsichtlich möglicher körperlicher Beschwerden soll mit den zu Beginn und Ende der Befragung erhobenen Daten erfolgen.

3. Laboruntersuchung

Teil zwei des Projektes besteht aus einer regelmäßigen Laborerhebung über einen angestrebten Zeitraum von 12 Monaten. Die Erhebung ist in zwei Untersuchungen mit unterschiedlichen Schwerpunkten aufgeteilt, die alle vier Wochen abwechselnd erhoben werden. Die erste Untersuchung besteht aus einer bewegungswissenschaftlichen Evaluation von Veränderungen der Muskelkraft und Bewegungsfähigkeit auf die durch das jeweilige Exoskelett betroffenen Körperbereiche. Bei einer simulierten Arbeitsaufgabe soll der Fokus hingegen auf Veränderungen von Bewegungsmustern sowie der Muskelaktivität gelegt werden. Zu allen Messzeitpunkten werden auch die Daten einer Kontrollgruppe erhoben, bestehend aus Teilnehmenden, die bei ihrer Arbeit kein Exoskelett verwenden.

3.1 Bewegungswissenschaftliche Untersuchung

In dieser Untersuchung werden die rekrutierten Oberkörper-Exoskelett-Nutzenden hinsichtlich genereller Veränderungen ihrer Bewegungsfähigkeit und Muskelkraft untersucht. Dabei sollen für Nutzende eines rückenunterstützenden Exoskelettes die maximale Bewegungsfähigkeit der lumbalen Wirbelsäule in Flexion, Extension und Rotation sowie die isokinetische Kraftausdauer des Rumpfes im jeweiligen Bewegungsbereich erhoben werden. Bei den Nutzenden eines Schulter-Exoskelettes liegt der Fokus auf dem maximalen Bewegungsausmaß der Schulter. Der Bewegungsbereich der Schulter soll in Innen- und Außenrotation sowie Abduktion und Adduktion untersucht werden.

Die Untersuchung der Bewegungsfähigkeit und Kraftausdauer im Rumpf- und Schulterbereich erfolgt ohne Exoskelett mittels eines isokinetischen Dynamometers. Es handelt sich dabei um ein geeignetes Messinstrument zur Messung der Bewegungsfähigkeit (McNair et al. 2002; Palmer et al. 2017), da sich die Probandin/der Proband bei der Messung in der immer gleichen Position befindet und so individuelle Einflussfaktoren wie z.B. eine mögliche Varianz der Messpunkte entfallen.

Zusätzlich wird für beide Test-Varianten (Rücken- und Schulter-Exoskelett) das Bewegungsausmaß der zervikalen Wirbelsäule durch ein CROM-Goniometer erhoben.

3.2 Simulierte Arbeitsaufgabe

Ziel der simulierten Arbeitsaufgabe ist es, mögliche Veränderungen von Bewegungsmustern und Muskelaktivität bei verschiedenen standardisierten Arbeitsaufgaben zu ermitteln. Mit Hilfe digitaler Bewegungsaufzeichnung werden Bewegungsmuster und -strategien ausgewählter Gelenkpunkte erfasst und verglichen, um signifikante Abweichungen zwischen den einzelnen Versuchsbedingungen (mit/ohne Exoskelett) oder der Nutzungsdauer feststellen zu können. Um darüber hinaus auch Veränderungen der maximalen und durchschnittlichen Muskelaktivität ermitteln zu können, soll zusätzlich eine Elektromyographie (EMG) der Rücken- und Schultermuskulatur sowie der unteren Extremität zur Dokumentation von potentiellen Lastumverteilungen oder veränderter posturaler Stabilität durchgeführt werden. Die Messungen werden jeweils mit und ohne Exoskelett an zwei aufeinanderfolgenden Tagen erfolgen.

Die simulierte Arbeitsaufgabe ist in drei Teilaufgaben unterteilt, die unterschiedliche Nutzungsszenarien des Exoskelettes darstellen. Sie besteht aus jeweils einer Schulter- bzw. Rücken-Exoskelett spezifischen Hebe-, Transport- und statischen Halteaufgabe, die in randomisierter Reihenfolge absolviert werden muss. Es ist vorgesehen, Muskelsignale des gleichen Muskels zu aufeinanderfolgenden Zeitpunkten mittels EMG zu erheben. Um eine mögliche Varianz der einzelnen Messungen z.B. durch leichte Variationen in der Klebposition der EMG-Elektroden abschätzen und so eine Bewertung der Zuverlässigkeit der Messwiederholungen vornehmen zu können, ist vorab eine Pilotstudie mit Messungen der maximalen freiwilligen Kontraktionsfähigkeit (MfK) der ausgewählten Muskeln zu aufeinanderfolgenden Terminen geplant. Die Ergebnisse können zur Einordnung der bei der simulierten Arbeitsaufgabe erhobenen EMG-Daten genutzt werden.

4. Diskussion

Ziel des Projektes ist es, eine menschengerechte Gestaltung der Arbeit mit passiven Oberkörper-Exoskeletten sicherzustellen und mögliche Risiken für die Exoskelett-Nutzenden zu identifizieren. Aus den Ergebnissen der geplanten Untersuchung sollen dazu Kriterien für die humanzentrierte Bewertung des Langzeiteinsatzes von passiven Schulter- und Rücken-Exoskeletten am Arbeitsplatz abgeleitet werden, insbesondere angesichts ihres möglicherweise breiten Anwendungspotenzials und der Verbreitung von MSE im Bereich des Oberkörpers.

Dabei besteht die besondere Herausforderung der geplanten Studie vor allem darin, möglichst viele Exoskelett-Nutzende über die Dauer von einem Jahr regelmäßig zu befragen bzw. zu untersuchen. Der gewählte Untersuchungszeitraum ist Voraussetzung für eine möglichst zuverlässige Abbildung physischer Auswirkungen in Bezug zur Dauer der Exoskelett-Nutzung. Es ist deshalb wichtig, die Erhebungen flexibel zu gestalten, um individuell auf die Teilnehmenden eingehen und eine möglichst geringe Drop-out Quote erreichen zu können. Je nach Verfügbarkeit der Teilnehmenden kann deshalb der Zeitraum zwischen den Befragungen bzw. den Untersuchungen variieren.

Passiven Oberkörper-Exoskeletten wird das Potenzial einer Präventionswirkung und einer Verringerung des Risikos arbeitsbedingter MSE zugeschrieben, dennoch fehlen weitestgehend Wirksamkeitsstudien zu den Auswirkungen der Exoskelett-Nutzung über einen längeren Erhebungszeitraum. Durch die Schaffung einer wissenschaftlich abgesicherten Grundlage für die Beantwortung von Fragen zum Langzeiteinsatz passiver Oberkörper-Exoskelette sollen Handlungshilfen für den Einsatz von Exoskelett-Systemen im Arbeitskontext bereitgestellt werden.

5. Literatur

- Amandels S, het Eyndt H O, Daenen L & Hermans V (2018). Introduction and Testing of a Passive Exoskeleton in an Industrial Working Environment. Paper presented at the Congress of the International Ergonomics Association.
- Bosch T, van Eck J, Knitel K & de Looze M (2016). The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work. *Applied ergonomics* 54:212-217.
- Braun B (2020), Fehlzeiten. hkk Gesundheitsreport 2020.
- Farrar J, Young J, LaMoreaux L, Werth J & Poole M (2001). Clinical importance of changes in chronic pain intensity measured on an 11-point numerical pain rating scale. *J Pain* 94(2):149-158.
- Kim S, Nussbaum M A, Mokhlespour Esfahani M I, Alemi M M, Jia B & Rashedi E (2018). Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part II - "Unexpected" effects on shoulder motion, balance, and spine loading. *Applied ergonomics* 70:323-330.
- Luger T, Seibt R, Cobb T J, Rieger M A & Steinhilber B (2019). Influence of a passive lower-limb exoskeleton during simulated industrial work tasks on physical load, upper body posture, postural control and discomfort. *Applied ergonomics* 80:152-160.
- Lück M, Hünefeld L, Brenscheidt S, Bödefeld M & Hünefeld A (2018). Grundausswertung der BIBB/BAuA-Erwerbstätigenbefragung 2018. Vergleich zur Grundausswertung 2006 und 2012. 2. Auflage. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 2019, 67.
- Marino M (2019). Impacts of Using Passive Back Assist and Shoulder Assist Exoskeletons in a Wholesale and Retail Trade Sector Environment. *J IISE Transactions on Occupational Ergonomics Human Factors* 1-10.
- McNair P J & Portero P. (2005). Using isokinetic dynamometers for measurements associated with tissue extensibility. *Isokinetics exercise science* 13(1):53-56.
- Palmer T B, Jenkins N D, Thompson B J & Cramer J T (2017). Influence of stretching velocity on musculotendinous stiffness of the hamstrings during passive straight-leg raise assessments. *J Musculoskeletal Science Practice* 30:80-85.

Picchiotti M T, Weston E B, Knapik G G, Dufour J S & Marras W. S. (2019). Impact of two postural assist exoskeletons on biomechanical loading of the lumbar spine. *Applied ergonomics* 75: 1-7.
Venkatesh V & Davis F D (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *J Management science* 46(2):186-204.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit HUMAINE gestalten

67. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie (WiPs)
Ruhr-Universität Bochum

Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)
Ruhr-Universität Bochum

3. - 5. März 2021

GfA-Press

Bericht zum 67. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 3. - 5. März 2021

**Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie, Ruhr-Universität Bochum
Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2021
ISBN 978-3-936804-29-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

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.

Screen design und Umsetzung

© 2021 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de