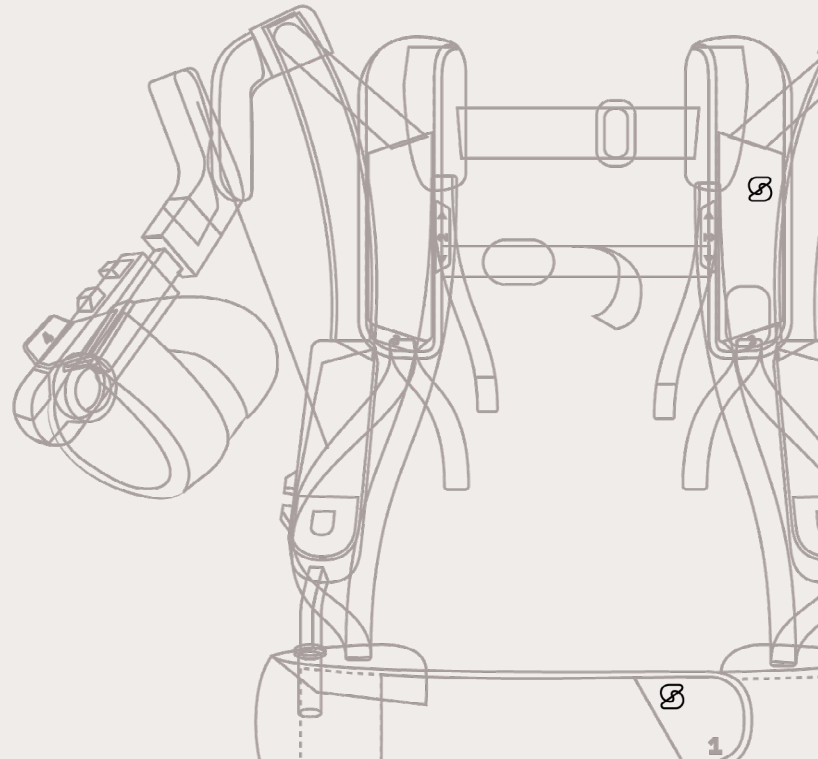
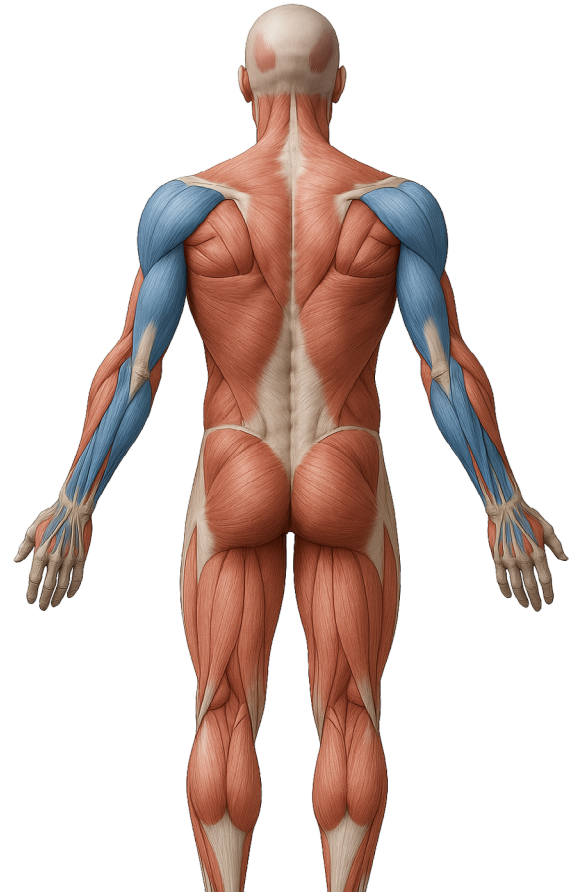


Skelex **360**
Wissenschaft
auf Ihren
Schultern



Nachgewiesene Verringerung von Belastung und Ermüdung bei verschiedenen Aufgaben

Hunderte von Studien haben gezeigt, wie Exoskelette Belastung und Ermüdung reduzieren, doch die große Menge an Forschung macht es für Nicht-Experten schwierig, das Wesentliche zu erkennen. Dieses Dokument fasst die Belege klar und praxisnah zusammen und konzentriert sich auf zentrale Aufgaben wie **Schweißen, Abdichten, Überkopfmontage, Heben, Verputzen und Deckenbau**. Es hebt außerdem wichtige Indikatoren wie **Ermüdung und Präzision** hervor. In allen Anwendungsfällen deuten die Ergebnisse auf den Skelex 360 als eine verlässliche Lösung hin, die sowohl in Laborstudien als auch in realen Arbeitsumgebungen validiert wurde.



Vorteile

Durch die Unterstützung von Schultern und Armen macht der Skelex 360 Überkopfarbeiten nachhaltiger. Untersuchungen haben gezeigt dass er:



Reduziert die Muskelaktivität in den Schultern um 30 % bis 50 %



Verringert das Gefühl von Schwere und Ermüdung



Beeinträchtigt weder die Genauigkeit noch die Feinmotorik



Hält die Herzbelastung bei wiederholten Aufgaben geringer



Herzbelastung

Eine Studie der École Centrale de Nantes (FR) belegt dass der Skelex 360 die Ermüdung auf Grundlage der Messung der Herzbelastung reduziert [1]

In dieser Studie wurde der Einfluss des Skelex 360 auf die Herzbelastung bei repetitiven (R) und präzisen (P) Aufgaben untersucht. Insgesamt nahmen 36 gesunde Probanden teil, 18 Männer und 18 Frauen. Aufgabe R bestand darin, mit einem 6-kg-Elektrowerkzeug Muttern auf Augenhöhe festzuschrauben. Aufgabe P bestand darin, Linien mit einem interaktiven Stift an eine Wand zu zeichnen, wie in Abb. 1a dargestellt.

Bei beiden Aufgaben wurde eine signifikante Verringerung der Herzbelastung beim Tragen eines Exoskeletts festgestellt, trotz des zusätzlichen Gewichts und der physischen Einschränkungen. Dies wurde durch subjektive Fragebögen bestätigt, die die wahrgenommene Anstrengung global und lokal bewerteten und eine statistisch signifikante Verringerung sowohl insgesamt als auch insbesondere in Schultern, Armen und Nacken zeigten, wie in Abb. 1b dargestellt. Die Verringerung der Herzbelastung beim Tragen des Skelex 360 weist auf eine geringere Ermüdung bei der Aufgabenausführung hin – in Kombination mit früheren EMG-Studien belegt dies eindeutig, dass die Verwendung des Skelex 360 bei bestimmten Tätigkeiten dazu führt, dass sich Anwender weniger ermüdet fühlen.



Abb. 1a. Eine Versuchsperson die die Präzisionsaufgabe P ohne Exoskelett (a) und mit Exoskelett (b) ausführt.

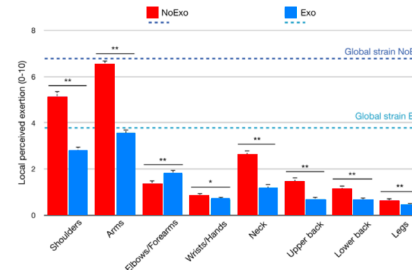


Abb. 1b. Globaler und lokaler wahrgenommener Aufwand für bestimmte Körperbereiche ohne (NoExo) und mit Exoskelett (Exo) bei allen Aufgaben; gestrichelte Linien zeigen die durchschnittliche Gesamtbelastung an.

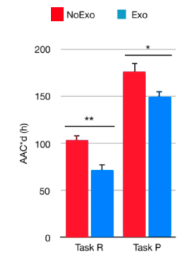


Abb. 1c. Bewertung von ACCd (h) für Aufgabe R und Aufgabe P mit (Exo) und ohne (NoExo) Exoskelett.

Präzision

Der Einfluss des Skelex 360 auf die Feinmotorik bei der Durchführung von Präzisionsaufgaben wurde in dieser Studie [2] untersucht, die zu dem Schluss kommt, dass die Verwendung des Skelex 360 es den Arbeitern ermöglicht, die Präzision aufrechtzuerhalten und gleichzeitig die Muskelaktivität zu verringern – selbst unter Ermüdung.

Die Studie unter anderem der Universität Hamburg und des Institut Universitaire de France [2] untersuchte den Einfluss des Skelex 360 bei vorhandener und nicht vorhandener Muskelermüdung während der Durchführung von Einzelaufgaben (ST) und Doppelaufgaben (DT), die aus Geschwindigkeits- und Genauigkeitsübungen bestanden. In beiden Szenarien nahmen N = 10 Probanden (5 Männer / 5 Frauen) an einer Überkopf-Präzisionsaufgabe teil, bei der mit einer Nagelpistole gezielt bestimmte Bereiche auf drei unterschiedlich großen Flächen getroffen werden mussten, basierend auf dem Fitts'schen Gesetz (Geschwindigkeit-Genauigkeit-Kompromissaufgabe), mit und ohne Skelex 360 (Abb. 2a). Eine deutliche Verringerung der Muskelaktivität wurde im Musculus deltoideus festgestellt: ST – 26 % vor Ermüdung, 32 % nach Ermüdung; DT – 53 % vor Ermüdung, 40 % nach Ermüdung; dies stimmt mit den EMG-Ergebnissen anderer Studien beim Tragen des Skelex 360 überein, wie in Abb. 2b gezeigt. Am wichtigsten war die Schlussfolgerung: i) Gesunde junge Teilnehmer können sich leicht an die Nutzung des Skelex 360 anpassen, um eine schnelle und präzise Aufgabe auszuführen, und ii) das Tragen des Skelex 360 verändert die Fähigkeit, das Verhältnis zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit zu steuern, nicht.



Abb. 2a. (von links nach rechts) Verwendung der Nagelpistole ohne Exoskelett. Verwendung der Nagelpistole mit Exoskelett, Ermüdungsprotokoll.

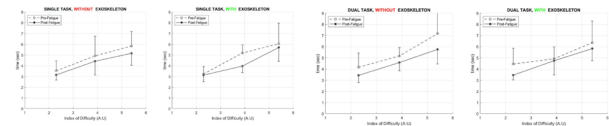


Abb. 2b. Das Fitts'sche Gesetz blieb unter allen Bedingungen (Exo/kein Exo, Ermüdung/keine Ermüdung, ST/DT) erhalten. Die Steigung blieb unverändert, was darauf hindeutet, dass die Teilnehmer ihre motorischen Strategien anpassen, um die Kontrolle aufrechtzuerhalten. Beim Tragen eines Exoskeletts konnten die Anwender weiterhin präzise und zeitlich abgestimmte Bewegungen zuverlässig ausführen.

Abdichten

Die Luft- und Raumfahrtfertigung umfasst mehrere Aufgaben die ein Anheben der Arme erfordern; Untersuchungen der Wichita State University (USA) [3] zeigen dass der Skelex 360 eine der besten Lösungen zur Unterstützung von Facharbeitern bei der Ausführung dieser Aufgaben ist

In der Flugzeugproduktion umfasst eine Tätigkeit namens Abdichtung das Versiegeln von Rumpfverbindungen mit einem Dichtmittel und einem Glättwerkzeug, wobei sich die Arme des Arbeiters von unterhalb der Ellbogenhöhe bis über den Kopf bewegen (Abb. 3a). An dieser Studie nahmen 16 erfahrene Flugzeugbau-Beschäftigte teil (8 Männer, 8 Frauen).

Untersuchungen zur Bewertung passiver Oberarm-Exoskelette bei Abdichtungsarbeiten in der Luft- und Raumfahrt zeigten eine deutliche Verringerung (30–40 %) der Muskelaktivierung des Musculus trapezius (Abb. 3b). Die Studie hob den Skelex 360 als das komfortabelste Gerät unter den getesteten hervor und zeigte eine deutliche Verbesserung sowohl des Arbeitskomforts als auch der Präzision bei Überkopf-Abdichtungsarbeiten (Abb. 3c).



Abb. 3a. Horizontale Abdichtungsarbeiten und Ausgangshaltungen (von links nach rechts) a) stehende Abdichtung entlang des oberen Stringers b) stehende Abdichtung entlang des unteren Stringers c) sitzende Abdichtung entlang des oberen Stringers d) sitzende Abdichtung entlang des unteren Stringers.

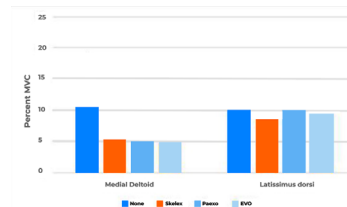


Abb. 3b. Durchschnittlicher Prozentsatz des MVC für die bevorzugte Körperseite deren Muskeln beim stehenden horizontalen Abdichten signifikant durch Exoskelette beeinflusst wurden.

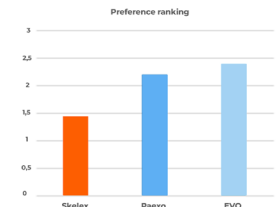


Abb. 3c. Durchschnittliche Präferenzbewertung der Exoskelette für den Einsatz bei Abdichtungsarbeiten (1=am meisten bevorzugt bis 3=am wenigsten bevorzugt).

Schweißen

Untersuchungen des Fraunhofer IPA (DE) [4.] zeigten Verbesserungen der Schweißleistung mit dem Skelex 360.

Schweißen ist ein gängiges Fertigungsverfahren, bei dem weltweit mehr als eine Million Schweißer in der Schiffbau-, Infrastruktur- und anderen Industrien tätig sind. Eine vom Fraunhofer IPA mit 15 Probanden mit Schweißerfahrung durchgeführte Studie umfasste einen einstündigen Arbeitsablauf, der Schweiß- und Schleifaufgaben mit einem Schweißsimulator nachbildete, wobei der Fokus auf der PF-Position (vertikales Schweißen vor dem Körper) und der PE-Position (Überkopfschweißen) lag (Abb. 4a). Der Schweißsimulator bewertete die „Reisegeschwindigkeit“ – einen Schlüsselfaktor für die Schweißnahtqualität – auf einer Skala von 0 bis 100. Die PF-Position (vertikales Schweißen vor dem Körper) zeigte eine Verbesserung von +5,8 % bei Verwendung des Skelex 360. Für die PE-Position (Überkopfschweißen) betrug die Verbesserung +28,8 % (Abb. 4b). Der Wert des Schweißparameters Reisegeschwindigkeit, der entscheidend für die Zulässigkeit der Naht ist, zeigte beim Einsatz des Skelex 360 eine statistisch signifikante Steigerung.

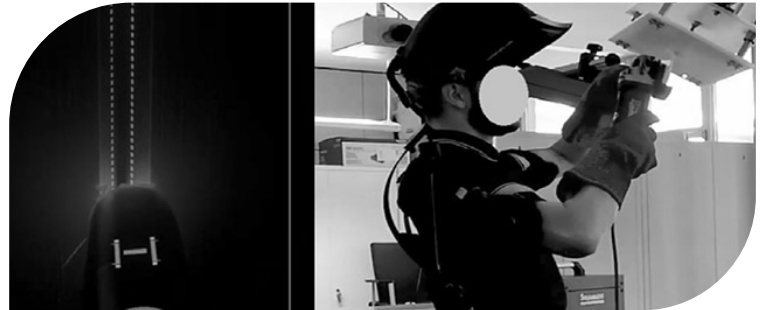


Abb. 4a (links) Ansicht aus der Ich-Perspektive des Probanden in der Position PF während der Schweißsequenz; (rechts) Beispielhafte Darstellung der Position PE während der Schleifsequenz

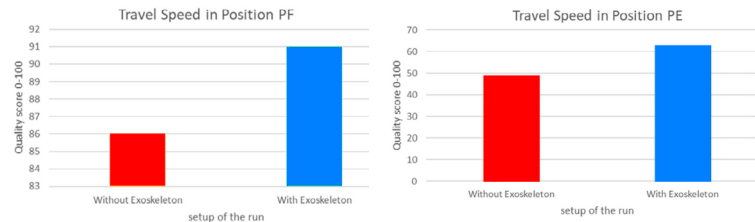


Abb. 4b. Ergebnisse der statistischen Analyse des Parameters Reisegeschwindigkeit für die gesamte Probandengruppe

Verputzen

Eine Verringerung der Schultermuskelaktivität wurde in einer Anwendungsstudie der TNO (NL) [5] bei Verputzarbeiten unter Verwendung des Skelex 360 festgestellt.

Das Verputzen von Decken umfasst lange Sequenzen komplexer Überkopfbewegungen mit schweren Verputzwerkzeugen, was schnell zu Ermüdung in Schultern, Armen und oberem Rücken führt. In dieser Studie führten 11 erfahrene Stuckateure typische Verputzarbeiten aus, wie das Auftragen und Glätten von Putz an Wänden und Decken, in einer speziellen Versuchsanordnung (Abb. 5a). Die Muskelaktivität mit und ohne Skelex 360 wurde mit EMG-Sensoren gemessen. Bei Verwendung des Exoskeletts wurden signifikante Reduktionen der Muskelaktivität in bestimmten Schultermuskeln festgestellt, während keiner der untersuchten Muskeln bei einer der Aufgaben eine signifikante Aktivitätszunahme zeigte (Abb. 5b). Diese einzigartige Studie bestätigt die Wirksamkeit des Skelex 360 für anspruchsvolle Überkopfarbeiten durch objektive Messungen in einem realen Anwendungsszenario.



Abb. 5a. Überblick über den Versuchsaufbau und die Arbeiten an der Decke. Abziehen (links) und Glätten mit einer Spachtel (rechts).

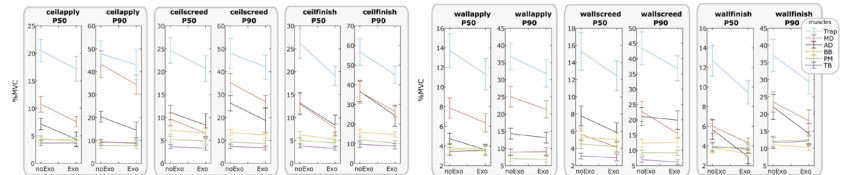


Abb. 5b. Muskelaktivierung unter Exo- und NoExo-Bedingungen für verschiedene Verputzaufgaben. Jedes Feld stellt eine Verputzaufgabe dar, die obere Reihe zeigt die Arbeit an der Wand, die untere Reihe die Arbeit an der Decke.

Überkopfmontage

Eine Studie der Aalborg University (DK) [6] zeigte, dass der Skelex 360 die Muskelaktivität in sowohl der dominanten als auch der nicht-dominanten Arm während Überkopfmontageaufgaben reduziert.

Überkopfmontage erfordert, dass ein Arm hält oder stabilisiert, während der andere die Hauptarbeit ausführt, was zu einer schnellen Ermüdung beider Arme führt. Der unterstützende, nicht dominante Arm erfährt dabei oft die höchste Belastung. In dieser Studie wurde die Wirkung des Skelex 360 auf die Muskelaktivität experimentell bei einer Überkopfmontageaufgabe untersucht. Achtzehn gesunde Männer nahmen an der Studie teil. Die Aufgabe bestand darin, mit der nicht dominanten Hand eine Schraube aufzunehmen und sie mit der dominanten Hand einzuschrauben – insgesamt 10 Schrauben pro Teilnehmer (siehe Abb. 6a).

Die Ergebnisse zeigten eine Verringerung der Muskelaktivierung in allen Muskeln (Abb. 6b). Eine interessante Beobachtung war, dass die Reduktion der Muskelaktivität bei der nicht dominanten Hand deutlich größer war. Dies trägt zum allgemeinen subjektiven Ermüdungsgefühl bei, selbst bei einfachen Aufgaben, die beide Hände erfordern – Tätigkeiten, die in vielen Branchen äußerst häufig vorkommen.

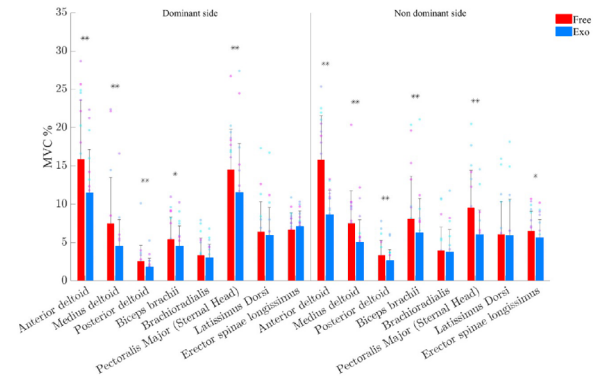
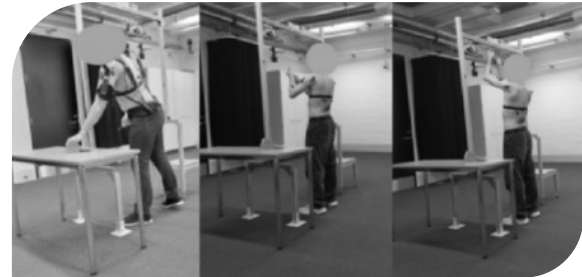


Abb. 6a (oben). Aufbau der Überkopfmontageaufgabe Abb. 6b (unten). Vergleich der durchschnittlichen Muskelaktivierung zwischen den Teilnehmern in den beiden Bedingungen, Frei (grau) und Exo (orange), während der Überkopfmontageaufgabe.

Heben

Eine Studie der Aalborg University (DK) [6] beobachtete eine Verringerung der Schultermuskelaktivität bei wiederholten Hebeaufgaben bei Verwendung des Skelex 360.

Das Bewegen oder Heben von Objekten ist eine häufige Aufgabe, die jedoch dafür bekannt ist, Muskel-Skelett-Erkrankungen (MSE) zu verursachen. In dieser Studie wurde der Einfluss eines Exoskeletts auf die Muskelaktivität experimentell bei einer Hebeaufgabe untersucht. Achtzehn gesunde Männer nahmen an der Studie teil. Die Aufgabe bestand darin, eine Kiste (W = 10 kg) vom Boden auf einen Tisch zu heben, während der Körper um 90 Grad gedreht wurde (siehe Abb. 7a). Das Tempo betrug 15 Wiederholungen pro Minute, gesteuert durch ein Metronom. Die Teilnehmer führten sechs aufeinanderfolgende Hebevorgänge aus und wiederholten die gesamte Aufgabe dreimal pro Bedingung, sowohl mit als auch ohne Skelex 360. Die Ergebnisse zeigen, dass die Aktivierung des vorderen (AD) und mittleren (MD) Deltamuskels auf beiden Seiten bei Verwendung des Skelex 360 signifikant reduziert wurde (Abb. 7b). Interessanterweise zeigten bestimmte Muskelgruppen eine erhöhte Aktivierung, was darauf zurückzuführen sein könnte, dass der Rücken durch die Struktur leicht eingeschränkt wurde. Daher können einige Benutzer bei sehr dynamischen Aufgaben wie Heben – selbst mit einem so flexiblen und komfortablen Gerät wie dem Skelex 360 – ein Gefühl eingeschränkter Bewegungsfreiheit verspüren.

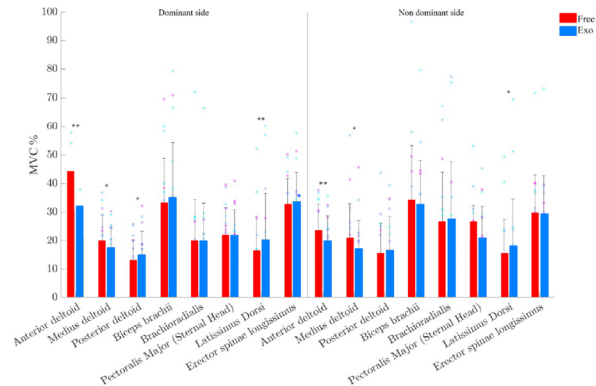
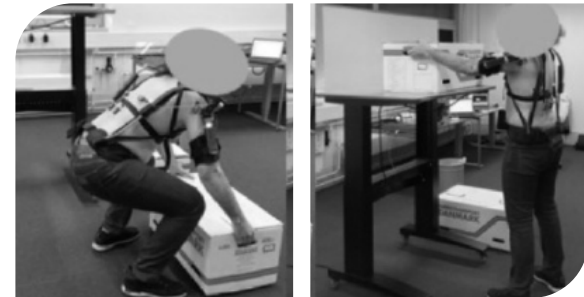


Abb. 7a (oben). Aufbau der Überkopfmontageaufgabe Abb. 7b (unten). Vergleich der durchschnittlichen Muskelaktivierung zwischen den Teilnehmern in den beiden Bedingungen, Frei (grau) und Exo (orange), während der Hebeaufgabe.

Deckenbau

Das TNO (NL) [7] beobachtete signifikante Reduktionen der Schultermuskelaktivität und der wahrgenommenen Anstrengung bei Deckenbaurbeiten unter Verwendung des Skelex 360

Der Deckenbau erfordert ein kontinuierliches Anheben der Arme, was einen Risikofaktor für MSE darstellt. Diese Studie des TNO erweitert die Untersuchung des Einsatzes des Skelex 360 in der Bauumgebung. 11 erfahrene Deckenbauer führten 9 verschiedene Aufgaben beim Bau einer Decke mit und ohne Skelex 360 aus (siehe Abb. 8a). Jeder Teilnehmer konnte die Aufgaben nach eigener Präferenz ausführen, wobei jede Aufgabe zwischen 3 und 4 Minuten dauerte. Sowohl objektive (EMG) Messungen als auch subjektive Bewertungen der empfundenen Anstrengung (RPE) wurden in einer simulierten, aber realistischen Umgebung durchgeführt.

Die EMG-Ergebnisse zeigen eine deutliche Verringerung der Muskelaktivität, im Einklang mit früheren Studien. Der RPE war bei allen Aufgaben niedriger (siehe Abb. 8a), aber eine klare Präferenz bestand für den Einsatz des Skelex 360 beim maschinellen Schleifen, manuellen Schleifen und Füllen von Fugen – den körperlich anspruchsvollsten Arbeiten. 10 von 11 Probanden bevorzugten die Verwendung des Exoskeletts für diese Aufgaben (siehe Abb. 8b). Diese Ergebnisse bestätigen erneut, dass der Skelex 360 für geeignete, auch komplexe Aufgaben Flexibilität und Unterstützung bietet.

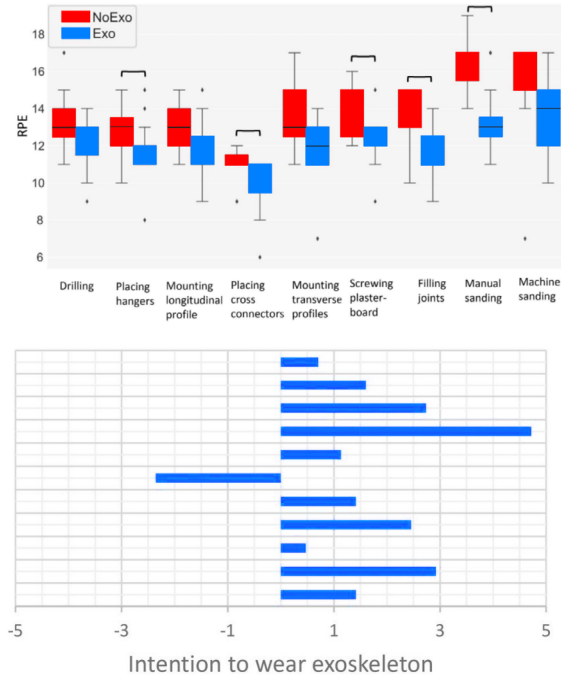


Abb. 8a (oben). Boxplots der wahrgenommenen Anstrengung (RPE) im dominanten Arm
Abb. 8b (unten). Absicht der Teilnehmer, den Skelex 360 zu tragen, unter Abwägung von Vorteilen und Nachteilen. Je höher der Wert, desto größer die Absicht; je niedriger der Wert, desto geringer die Absicht. Jede horizontale Linie stellt die Antwort eines einzelnen Teilnehmers dar.

Referenzen

Dieses Dokument präsentiert Ergebnisse unabhängiger Forschung, die in Zusammenarbeit mit Universitäten und Instituten durchgeführt wurde. Alle Erkenntnisse basieren auf EMG-Messungen, RPE-Daten und Leistungstests bei realen industriellen Aufgaben.

[1] Moyon, A., Petiot, J.-F., & Poirson, E. (2019). [Investigating the effects of passive exoskeletons and familiarization protocols on arms-elevated tasks. In D. de Waard et al. \(Eds.\), Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2018 Annual Conference. Human Factors and Ergonomics Society – Europe Chapter.](#)

[2] Gräf, J., Grospretre, S., Argubi-Wollesen, A., & Wollesen, B. (2024). [Impact of a passive upper-body exoskeleton on muscular activity and precision in overhead single and dual tasks: An explorative randomized crossover study. Frontiers in Neurology, 15, 1405473.](#)

[3] Jørgensen, M. J., Hakansson, N. A., & Desai, J. (2022). [The impact of passive shoulder exoskeletons during simulated aircraft manufacturing sealing tasks.](#)

[4] Schalk, M., Schalk, I., Bauernhansl, T., Siegert, J., Esin, A., & Schneider, U. (2022). [Influence of exoskeleton use on welding quality during a simulated welding task. Wearable Technologies, 3, e17.](#)

[5] De Vries, A. W., Krause, F., & de Looze, M. P. (2021). [The effectivity of a passive arm support exoskeleton in reducing muscle activation and perceived exertion during plastering activities. Ergonomics. Advance online publication.](#)

[6] Musso, M., Oliveira, A. S., & Bai, S. (2024). [Influence of an upper limb exoskeleton on muscle activity during various construction and manufacturing tasks. Applied Ergonomics, 114, 104158.](#)

[7] Baltrusch, S. J., Krause, F., de Vries, A. W., & de Looze, M. P. (2024). [Arm-support exoskeleton reduces shoulder muscle activity in ceiling construction. Ergonomics, 67, 1051–1063.](#)



Skelex **360**

Eine Last von Ihren **Schultern**



Scannen Sie den QR-Code
für weitere Informationen
zum Skelex 360.



Skelex BV
Saturnusstraat 95
2516 AG Den Haag
Niederlande

info@skelex.com
+31 (0) 85 073 5790

Besuchen Sie unsere Website: www.skelex.com