

Zbl Arbeitsmed 2024 · 74:33–42
<https://doi.org/10.1007/s40664-023-00509-w>
Eingegangen: 9. Februar 2023
Überarbeitet: 1. Juni 2023
Angenommen: 2. Juni 2023
Online publiziert: 8. Juli 2023
© Der/die Autor(en) 2023



F. Holzgreve · C. Maurer-Grubinger · L. Fraeulin · E. M. Wanke · D. A. Groneberg · D. Ohlendorf

Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Goethe-Universität Frankfurt am Main, Frankfurt am Main, Deutschland

„Motion Capture Vacuuming – MoCapVac“: Studienbeschreibung und Zusammenfassung erster Bewegungsanalyseergebnisse

Hintergrund

Reinigungsarbeiten im Haushalt gehören zu den Tätigkeiten, die regelmäßig durchgeführt werden. In Deutschland verbringen die Menschen durchschnittlich 2 h und 15 min pro Woche mit der Reinigung ihres Haushalts [15]. Dies kann sowohl Haushaltsunfälle (ca. 3,15 Mio. jährlich in Deutschland [12]) als auch Verletzungen (z. B. Brüche, Prellungen durch Stürze) bzw. Überlastungen von Segmenten des Muskel-Skelett-Systems zur Folge haben.

Eine wichtige Reinigungstätigkeit, die dies mit hervorrufen kann, ist das Staubsaugen, welches durch repetitive und asymmetrische Bewegungen charakterisiert wird. Es zeigt auch erschwerte Bewegungsanforderungen, wenn beispielsweise die Decke oder Ecken hinter/unter Möbeln gereinigt werden sollen. Knapp die Hälfte der Befragten saugt mindestens 2-mal pro Woche [10, 15]. Die Dauer variiert dabei: Während 43 % weniger als 30 min saugten, gaben 46 % an, zwischen 30 min und einer Stunde staubzusaugen [10].

Professionelle Reinigungskräfte hingegen nutzen täglich vorwiegend einen Staubsauger mit einer durchschnittlichen täglichen Dauer von $82,5 \pm 38,9$ min [28]. Dadurch können Muskel-Skelett-Beschwerden bzw. Schmerzen resultie-

ren, wie internationale Untersuchungen bei professionellen Reinigungskräften (im Vereinigten Königreich) zeigen. Bei ihnen wurde eine 12-Monats-Prävalenz von 74 % und eine 7-Tages-Prävalenz von 53 % festgestellt [28]. Berufsassoziierte Muskel-Skelett-Beschwerden (90 % der Befragten) äußerten Reinigungskräfte in Taiwan in der Hand bzw. dem Handgelenk (41,7 %), der Schulter (41,1 %), dem unteren Rücken (37,8 %), dem Ellbogen (33,3 %) und im oberen Rückenbereich (3,3 %) [7]. In der 12-Monats-Prävalenz hatten 45,5 % der städtischen Reinigungskräfte in Brasilien Schmerzen im Bereich der Wirbelsäule, 15,7 % im Nacken und 14,3 % im oberen Rücken [23]. Diese Regionen wurden auch in anderen Untersuchungen als Hauptbeschwerdelokalisationen bestätigt [24, 28]. Muskel-Skelett-Beschwerden können folglich auch eine häufige Ursache für Arbeitsunfähigkeitstage bei Reinigungskräften sein [13]. Arbeitsunfähigkeitstage, aber auch die eben angeführte hohe Beschwerdeprävalenz, können u. a. auf häufig gebeugte Körperhaltungen, auf vorwiegend wiederholtes Schieben und Ziehen im Rahmen von zyklisch, repetitiven Bewegungsabläufen sowie statische Muskularbeit zurückgeführt werden [3, 5, 9, 11, 24, 27, 28]. Als weitere Risikofaktoren für Schmerzen im unteren Rückenbereich konnten weiterhin Kombinationshaltungen aus Rotation und Flexion – insbesonde-

re in der Rücken- und Nackenregion – identifiziert werden [23, 28]. Beim Staubsaugen ist eine Summierung von Risikofaktoren denkbar, da diese Tätigkeit ein wiederholtes Schieben und Ziehen unter Einsatz des Rumpfes und der oberen Extremität beinhaltet [3, 26].

Demzufolge eignen sich die Tätigkeit und die Kinematik des Staubsaugens sehr gut dazu, mit der Methodik des Motion-Capturing analytisch erfasst zu werden. Gleichmaßen können so Auswerteroutinen – wie auch hier vorliegend dargestellt – eingesetzt und erprobt werden.

Ziele

Das Ziel dieses Projekts ist es, die Kinematik beim Staubsaugen zu untersuchen, um die Ursachen für die beschriebenen Beschwerdereionen in bisherigen Umfragen [3, 5, 9, 11, 13, 24, 27, 28] weiter zu untersuchen. In Deutschland werden regelmäßig und zum Teil täglich Reinigungsarbeiten in jedem Haushalt durchgeführt, wofür durchschnittlich 2,25 h pro Woche aufgebracht werden [15]. Dabei saugen 49 % der Deutschen ihren Haushalt mehrmals pro Woche [15]. Auch einer internationalen Umfrage zufolge saugen 49 % der Befragten mindestens 2-mal pro Woche Staub, wovon 43 % weniger als 30 min und bei 46 % zwischen 30 bis 60 min saugen [10]. Aufgrund dieser Zahlen ist auch für nicht-professionelle Reinigungskräfte das Risi-

Die Autoren F. Holzgreve und C. Maurer-Grubinger teilen sich die Erstautorenschaft.

ko, langfristig an Muskel- und Skeletterkrankungen zu leiden, gegeben [28]. Da es mehr nichtprofessionelle Reinigungskräfte als professionelle Reinigungskräfte gibt, liegt der Fokus der Proband*innen bei ersteren.

So werden in diesem Artikel einerseits die Studienbeschreibung des Projekts dargestellt sowie andererseits die ersten Ergebnisse des MoCapVac-Projekts [18, 19] zusammengefasst vorgestellt.

Die ersten publizierten Ergebnisse [18, 19] beinhalten Daten des gleichen Probandenkollektivs, jedoch mit abweichenden Fragestellungen, Auswertungsvariablen und Analyseverfahren. Hierfür wurde zunächst das Bewegungsprofil beim habituellen Staubsaugen mit verschiedenen Haushaltsstaubsaugern (Hand- und Bodenstaubsauger) auf Polyvinylchlorid(PVC)-Bodenbelag und Teppichboden dargestellt. Dieses wurde anschließend unter besonderer Berücksichtigung der besonders aktiven Gelenke, wie dem Schulter-, Ellbogen- und Handgelenk [19] hinsichtlich seiner inter- und intrasubjektiven Variabilität charakterisiert. Im Anschluss daran wurde das grundlegende Bewegungsprofil der Nacken-, Rumpf- und Hüftgelenke während des Staubsaugens auf einer freien Fläche untersucht. Diese wurden dann hinsichtlich der potenziellen muskuloskeletalen Risikofaktoren in Zusammenhang mit den durchgeführten Saugbewegungen gebracht [18].

Aufbauend auf diesen ersten Ergebnissen [18, 19] soll zukünftig in weiteren Analyseschritten eine Klassifizierungsanalyse des Bewegungsprofils des Staubsaugens auf zwei verschiedenen Untergründen (PVC- und Teppichboden) durchgeführt werden, um potenziell, probandenunabhängige Unterschiede zu berechnen. Um Zusammenhänge zwischen den kinematischen Bewegungsprofilen mit den bereits existierenden Prävalenz- bzw. Beschwerderegionen herzustellen, soll eine ergonomische Risikoeinstufung, u. a. mit Hilfe des „rapid upper limb assessments“ (RULA), erste Einblicke ermöglichen. Hier sollen nicht nur die Daten des Staubsaugens auf dem Boden zu Rate gezogen werden, sondern es sollen auch, im Rahmen

einer kompletten Reinigungstätigkeit, kinematische Saugdaten vom Reinigen der Decke und der Bodenkante berücksichtigt werden. Ferner soll neben dem habituellen Saugen auch eine vorgegebene Strecke (0,7 m; Beginn Fußspitze) erfasst und deren Unterschiede zum habituellen Saugen äquivalent ausgewertet werden.

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Die genauen Angaben zum Studiendesign, dem Messsystem, dem Messprotokoll und der Datenverarbeitung kann den beiden, bereits publizierten ersten Ergebnissen entnommen werden [18, 19].

Proband(innen)

In dieser Studie sollen solche erwachsenen Proband*innen im Alter von 18–66 Jahren teilnehmen, die sich als subjektiv gesund beschreiben und nicht hauptberuflich als Reinigungskraft tätig sind. Ausschlusskriterien für das Projekt sind aktuelle Verletzungen (Bandscheibenvorfälle, Wirbelsäulenverletzungen), rheumatische Erkrankungen, stark einschränkende Wirbelsäulendeformationen (Skoliose) oder versteifte Wirbelsäulengelenke (pathologisch oder chirurgisch) sowie genetische Muskelerkrankungen.

Im Rahmen der bereits publizierten Untersuchungen [18, 19] wurden 31 (21 w/10 m) gesunde Proband*innen mit einem durchschnittlichen Alter von $33,4 \pm 10,7$ Jahren, einer Größe von $172,8 \pm 9,4$ cm und einem Gewicht von $66,9 \pm 13,9$ kg eingeschlossen. Als Ausschlusskriterien gelten die allgemeinen Kriterien wie für das allgemeine Projekt. Alle Proband*innen haben vor der Teilnahme an der Untersuchung eine schriftliche Einverständniserklärung abgegeben.

Für das Motion-Capture-Vacuuming-Projekt (MoCapVac) liegt ein positives Ethikvotum der Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Goethe-Universität Frankfurt am Main (Ethik-Nummer: 335/18) vor.

Staubsauger, Messsystem und Messprotokoll

In den bisherigen Projektumsetzungen [18, 19] wurden die kinematischen Daten mit dem inertialen Bewegungserfassungssystem MVN Link von Xsens (Enschede, Niederlande) erfasst, und es wurden acht verschiedene Staubsauger von vier unterschiedlichen Herstellern für den privaten Gebrauch untersucht. Neben der Verwendung unterschiedlicher Staubsauger wurde auf zwei verschiedenen Bodenbelägen gesaugt: auf PVC- und Teppichboden. Genauere Angaben zu den Staubsaugern und dem Messprotokoll der bereits publizierten Untersuchungen können an gegebener Stelle nachgelesen werden [18, 19].

In den weiteren geplanten Projektumsetzungen soll zukünftig zwischen ein- und beidarmigem Saugen sowie zwischen habituellem Saugen und Saugen mit vorgegebener Distanz von 0,7 m ab Fußspitze des vorne stehenden Fußes auf PVC-Boden differenziert werden. Darüber hinaus sollen kinematische Daten für das habituelle Saugen der Boden- und Deckenkante generiert werden.

Statistische Analyse

Die Datenanalyse und statistische Auswertung der ersten Ergebnisse sind an gegebener Stelle ausführlich erläutert [18, 19]. Neben einer deskriptiven Datenanalyse wurden u. a. eine Inferenzstatistik mittels „statistical parametric mapping“ (SPM) samt Bonferroni-Holm-Korrektur auf die kontinuierlichen Daten zur Testung auf Unterschiede zwischen den untersuchten Konditionen angewendet.

In zukünftigen Analysen soll die Frage, ob sich die beiden Versuchsbedingungen signifikant unterscheiden, mit einer „support vector machine“ (SVM; [4]) untersucht werden. Hier wird eine lineare SVM verwendet, um das Ergebnis kinematisch interpretieren zu können. Als Eingangsvariablen werden die zeitnormalisierten (auf 100 Stützstellen) Trajektorien in allen 3 Ebenen der rechten und linken Hüfte, des kumulierten Rückens, der Halswirbelsäule und des Nackens sowie Schulter, Ellenbogen (nur in der transversalen und sagittalen

Zbl Arbeitsmed 2024 · 74:33–42 <https://doi.org/10.1007/s40664-023-00509-w>
© Der/die Autor(en) 2023

F. Holzgreve · C. Maurer-Grubinger · L. Fraeulin · E. M. Wanke · D. A. Groneberg · D. Ohlendorf

„Motion Capture Vacuuming – MoCapVac“: Studienbeschreibung und Zusammenfassung erster Bewegungsanalyseergebnisse

Zusammenfassung

Hintergrund. Staubsaugen ist eine häufig durchgeführte Tätigkeit, und zwar nicht nur bei professionellen Reinigungskräften, sondern auch in privaten Haushalten. Der vorliegende Artikel beschreibt das Protokoll des Motion-Capture-Vacuuming-Projekts (MoCapVac) und fasst die ersten Ergebnisse zusammen.

Methodik. Für die Umsetzung des Projekts sollten subjektiv gesunde Erwachsene vermessen werden, die nicht hauptberuflich als Reinigungskraft tätig sind. Ihre Körperhaltung wurde mittels eines Inertial motion capture-Messsystems beim habituellen Staubsaugen aufgezeichnet. Es wurde eine kinematische Analyse der relevanten Gelenke bei 8 Staubsaugern auf 2 Bodenbelägen (PVC- und Teppichboden) beim ein- und beidarmigen Saugen untersucht. Sowohl deskriptive Ergebnisse als auch ein „statistical parametric mapping“ (SPM) wurde bisher

aus Daten von 31 (21 w/10 m) gesunden Proband*innen erzielt. Mittels auf „support vector machine“ (SVM) basierter Analyse soll zudem zukünftig untersucht werden, ob sich Bewegungsprofile klassifizieren lassen und somit eine eindeutige Zuordnung zu bestimmten Mustern möglich ist. Außerdem soll eine ergonomische Beurteilung mittels des „rapid upper limb assessment“ (RULA) durchgeführt werden.

Ergebnisse. Erste Ergebnisse zeigten, dass über alle Proband*innen und Bedingungen hinweg eine homogene Sauggeschwindigkeit je zurückgelegter Strecke vorliegt. Dabei war die Streuung der Gelenkwinkel in der oberen Extremität deutlich höher als in Rumpf und Hüfte. Das SPM zeigte in allen untersuchten Gelenken signifikante Unterschiede zwischen dem habituellen Staubsaugen auf PVC- und Teppichboden.

Diskussion. Aus den ersten Ergebnissen wurde deutlich, dass habituelles Staubsaugen eine dynamische Tätigkeit mit einer großen Variabilität in der oberen Extremität gegenüber dem Rumpf und der Hüfte ist. In zukünftigen Analysen sollen konstitutionsabhängige sowie situations- und anforderungsbedingte Parameter identifiziert werden, die die Beanspruchung beim Staubsaugen optimieren können. Ferner sollen zukünftig mittels ergonomischer Gefährdungsbeurteilung insbesondere Bewegungen, Positionen oder Gelenke der oberen Extremität identifiziert werden, die Muskel-Skelett-Erkrankungen begünstigen oder davon betroffen sind.

Schlüsselwörter

Staubsaugen · Reinigung · Teppichboden · PVC-Boden · Inertial motion units

Motion Capture Vacuuming—MoCapVac: study description and summary of initial motion analysis results

Abstract

Background. Vacuuming is a frequently performed activity, not only by professional cleaners but also in private households. This article describes the protocol of the Motion Capture Vacuuming (MoCapVac) project and summarizes the initial results.

Methodology. For the implementation of the project, subjectively healthy adults who do not work full-time as cleaners were measured. Their posture was recorded by means of inertial motion capture during habitual vacuuming with eight different vacuum cleaners on two different floor coverings (carpet and PVC flooring) while vacuuming with one and two arms. Preliminary results were obtained from data of 31 (21 female/10

male) healthy subjects both descriptively and using statistical parametric mapping (SPM). For future data analysis the use of a support vector machine (SVM) is planned as well as the ergonomic classification of the kinematic data using the rapid upper limb assessment (RULA).

Results. Preliminary results showed that a homogeneous vacuuming speed per distance covered was seen across all subjects and conditions with a significantly higher dispersion of joint angles in the upper extremity compared to the trunk and hip. The SPM showed significant differences between habitual vacuuming on carpet and PVC flooring in all joints studied.

Discussion. From the first results it is clear that habitual vacuuming is a dynamic activity with a large variability in the upper extremity compared to the trunk and hip joints. In future analyses the question should be pursued whether classifications between two measurement conditions (e.g., floor conditions) are possible and movements, positions or joints of the upper extremity that are particularly at risk for musculoskeletal disorders should be identified by means of ergonomic risk assessment.

Keywords

Vacuuming · Cleaning · Carpeted floor · PVC floor · Inertial motion units

Ebene) und das Handgelenk des rechten Armes verwendet. Damit entsteht ein aufgespannter Vektorraum aus 2300 ($[7 \cdot 3 + 1 \cdot 2] \cdot 100$) Variablen. Um ein Overfitting der SVM zu vermeiden, soll eine Leave-one-out-Methode zur Validierung verwendet werden, da sich gezeigt hat, dass bei kinematischen Untersuchungen ein einzelner Versuch einer Person

einen starken Einfluss auf das Klassifizierungsergebnis hat [21, 22, 25]. Für die einzelnen Leave-one-out-Durchgänge und den mittleren Unterscheidungsvektor wird jeweils die Klassifizierungsrate berechnet. Das Ergebnis soll mit einem klassischen Unterscheidungsansatz verglichen werden. Beim klassischen Ansatz wird der Mittelwertsvektor über beide

Bodengruppen berechnet. Die Differenz der beiden Vektoren entspricht hier dem Unterschiedsvektor. Auch hier soll die Klassifizierungsrate berechnet werden. Statistisch abgesichert wird das Ergebnis über eine Binominalverteilung, um eine 50:50-Wahrscheinlichkeit bei $\alpha = 0,05\%$ zu erreichen. Der Alpha-Fehler ist auf $\alpha = 0,05\%$ festgelegt.

Die Berechnung des ergonomischen Risikos auf Basis von RULA erfolgt in Anlehnung an Maurer-Grubinger et al. [20].

Erste Ergebnisse

Bewegungsprofil des habituellen Saugens in Schrittstellung

Die ersten Ergebnisse [19] hinsichtlich des Bewegungsprofils des habituellen Saugens in Schrittstellung (mit standardisierter Fußposition und Saugrichtung) zeigten insgesamt eine homogene Sauggeschwindigkeit je zurückgelegter Strecke über alle Proband*innen und Bedingungen bei einer deutlich höheren Streuung der Gelenkwinkel in der oberen Extremität gegenüber dem Rumpf und der Hüfte (▣ Abb. 1 als modifizierte Version der Originalabbildung aus [19]).

Hier zeigte das Bewegungsprofil starke Rotationsbewegungen in Hals, Rumpf und Hüften mit vergleichsweise geringen Bewegungen in der Sagittalebene. In der oberen rechten Extremität waren starke Veränderungen in der Sagittalebene in Schulter, Ellenbogen und Handgelenk erkennbar. Im Bewegungsablauf schienen die Kopfgelenke und die Halswirbelsäule entgegengesetzt zum Rumpf zu rotieren. Dieses Bewegungsmuster konnte auch auf die Hüften erweitert werden. So rotierten Kopfgelenke, Halswirbelsäule und die rechte Hüfte ähnlich, während der Rumpf und die linke Hüfte entgegenrotierten. Im Hüftgelenk war eine starke Verschiebung in der Frontalebene zu entnehmen: Beim distalen Umkehrpunkt lag eine Abduktion im rechten Hüftgelenk vor, während das linke Hüftgelenk stark adduzierte. Dies entsprach einer linksseitigen Hüftverschiebung beim distalen Umkehrpunkt in der Frontalebene mit zusätzlicher verstärkter Hüftbeugung. Diese Beugung in der Sagittalebene wurde im Rumpf ebenfalls leicht vorversetzt angedeutet, während in Kopfgelenken und Halswirbelsäule zu diesem Zeitpunkt eine Extensionsbewegung zu beobachten war.

Das Schultergelenk stand außenrotiert am proximalen Umkehrpunkt und rotierte dann bei steigender Flexion analog nach innen bis der distale Umkehr-

punkt erreicht wurde und entsprechend zurück. Entgegengesetzt dazu verhielt sich die Bewegung in der Sagittalebene im Ellenbogen. Hier war proximal eine starke Beugung und distal eine entsprechende Streckung zu erkennen.

Kinematischer Vergleich des habituellen Saugens auf PVC-Belag und Teppichboden

Obere Extremität

Das Saugen auf PVC-Boden führte zu einer verstärkten Schulterabduktion und erhöhten Extension zu Beginn des Zyklus (Drückphase) sowie am Ende (Zugphase). Dagegen war für die Schulterrotation eine reduzierte Innenrotation um den Umkehrpunkt zu erkennen (▣ Abb. 2, erstes Drittel, als modifizierte Version der Originalabbildung aus [19]). Für den Ellenbogen war in der PVC-Kondition durchgehend eine signifikant erhöhte Außenrotation erkennbar, mit der höchsten Differenz am Beginn der Drückphase. Für die Sagittalebene des Ellenbogens konnte analog zur Schulter eine erhöhte Extension für die PVC-Kondition gezeigt werden (siehe distaler Umkehrpunkt; ▣ Abb. 2 als modifizierte Version der Originalabbildung aus [19]). Für die Radialdeviation im Handgelenk lag eine signifikant erhöhte Abduktion für die PVC-Kondition am proximalen Umkehrpunkt vor, während in der Sagittalebene eine durchgehend verstärkte Flexionsstellung des Handgelenks zu beobachten war (▣ Abb. 2 als modifizierte Version der Originalabbildung aus [19]).

Wirbelsäule und Hüftgelenke

Hinsichtlich der Resultate des habituellen Staubsaugens fokussiert auf Wirbelsäule und Hüfte [18] wurden für die Kopfgelenke bei der Kondition PVC durchgehend signifikant erhöhte Bewegungen nach links, erhöhte Rotationsstellungen nach rechts und eine signifikant erhöhte Flexionsstellung deutlich (▣ Abb. 3 als modifizierte Version der Originalabbildung aus [18]). Ein analoges Muster mit entsprechend hohen *p*-Werten war in der Haltung der Halswirbelsäule zu erkennen. Im Rumpf zeigte sich ein differenziertes Haltungsbild: Während der Rumpf in der PVC-Kondition erhöhte

Seitneigungen nach rechts bei Streck- und Zugbewegungen durchführte, war nur eine geringe Rumpfrotation zu erkennen. Dagegen war in der Sagittalebene eine deutlich erhöhte Rumpfextension während des Saugens auf PVC-Belag zu beobachten (▣ Abb. 3 als modifizierte Version der Originalabbildung aus [18]). Auch in beiden Hüftgelenken lagen signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Konditionen vor: In der rechten Hüfte war während der Zugphase eine verstärkte Abduktionsbewegung zu beobachten, während die Unterschiede in der Rotation weniger eindeutig erscheinen. Hier zeigte sich für das Saugen auf PVC-Boden während der Zugphase eine erhöhte Außenrotation, während in der Drückphase eine verstärkte Innenrotation zu beobachten war. In der Sagittalebene zeigte sich durchweg eine erhöhte Extensionsstellung für das Saugen auf PVC-Boden (▣ Abb. 4 als modifizierte Version der Originalabbildung aus [18]). In der linken Hüfte waren einige Parallelen zur rechten Hüfte zu erkennen, allerdings nicht für alle Freiheitsgrade (▣ Abb. 4 als modifizierte Version der Originalabbildung aus [18]).

Diskussion

Erste Auswertungen des MoCapVac-Projekts [18, 19] konnten aus den kinematischen Daten ein Bewegungsprofil des habituellen Staubsaugens (mit standardisierter Fußposition und Saugrichtung) ableiten. Zu erkennen war eine Balance des Saugwegs (hin und zurück je ca. 50 %) mit relativ homogener Sauggeschwindigkeit über alle Probanden und Bedingungen hinweg [19].

Die Gelenke der aktiven oberen Extremität (rechte Seite) wiesen gegenüber den unteren Extremitäten und dem Rücken eine hohe Variabilität zwischen und innerhalb der Probanden auf. Dies äußerte sich in einer erhöhten Variabilität der Standardabweichungen in den untersuchten Freiheitsgraden Flexion/Extension, Abduktion/Adduktion und Radial-/Ulnarabweichung. Folglich war hier ein generalisiertes Bewegungsprofil des Staubsaugens für die obere Extremität weniger aussagekräftig. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass beim

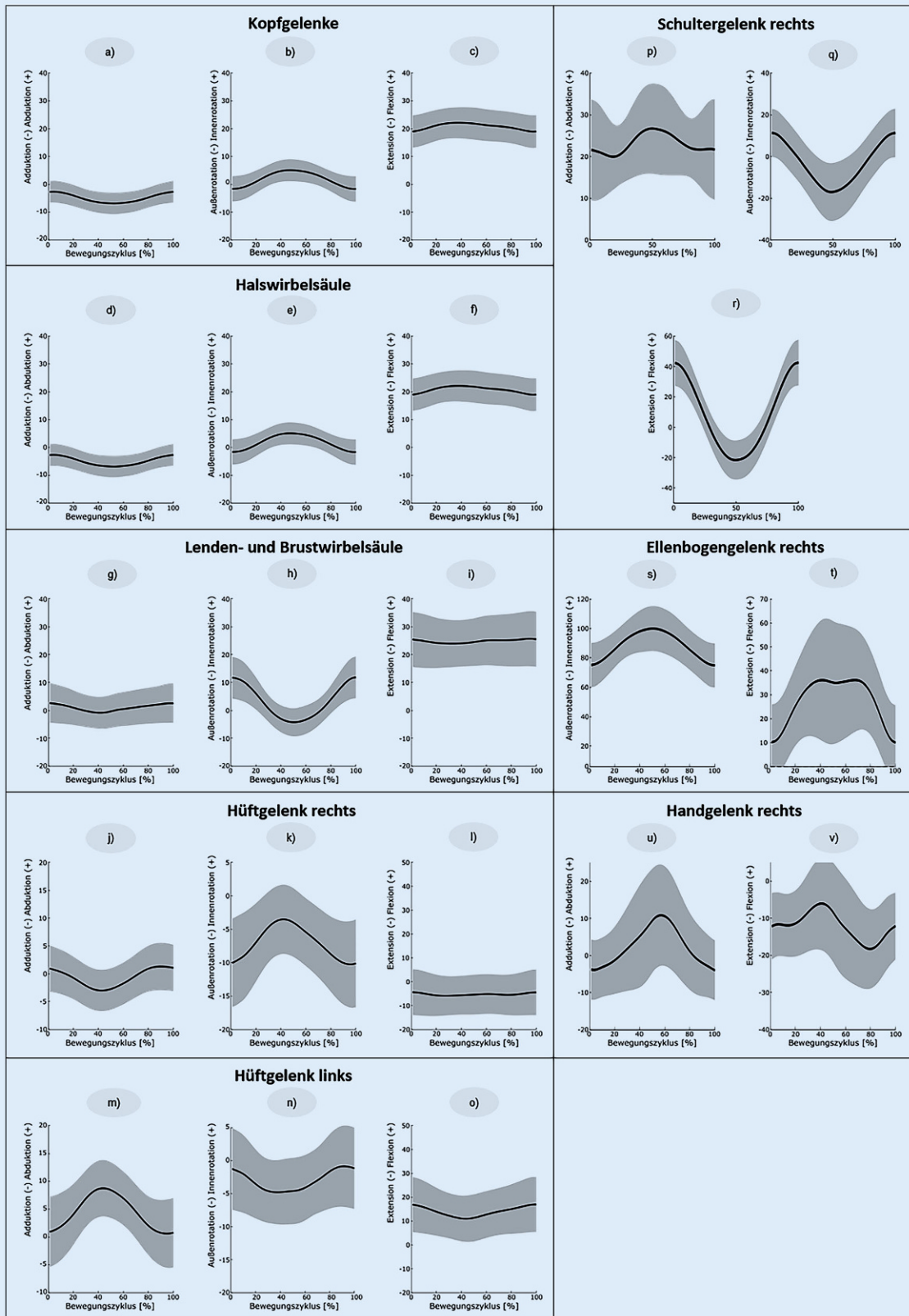


Abb. 1 ▲ Mittlere Bewegungsprofile mit Konfidenzintervall beim habituellen Saugen als Saugzyklus der untersuchten Gelenke: Kopfgelenke, Halswirbelsäule, Lenden- und Brustwirbelsäule, Hüfte rechts und links, Schulter rechts, Ellbogen rechts und Handgelenk rechts. Proximaler Wendepunkt: 50%; distaler Wendepunkt: 0% bzw. 100%. (Mod. nach [18])

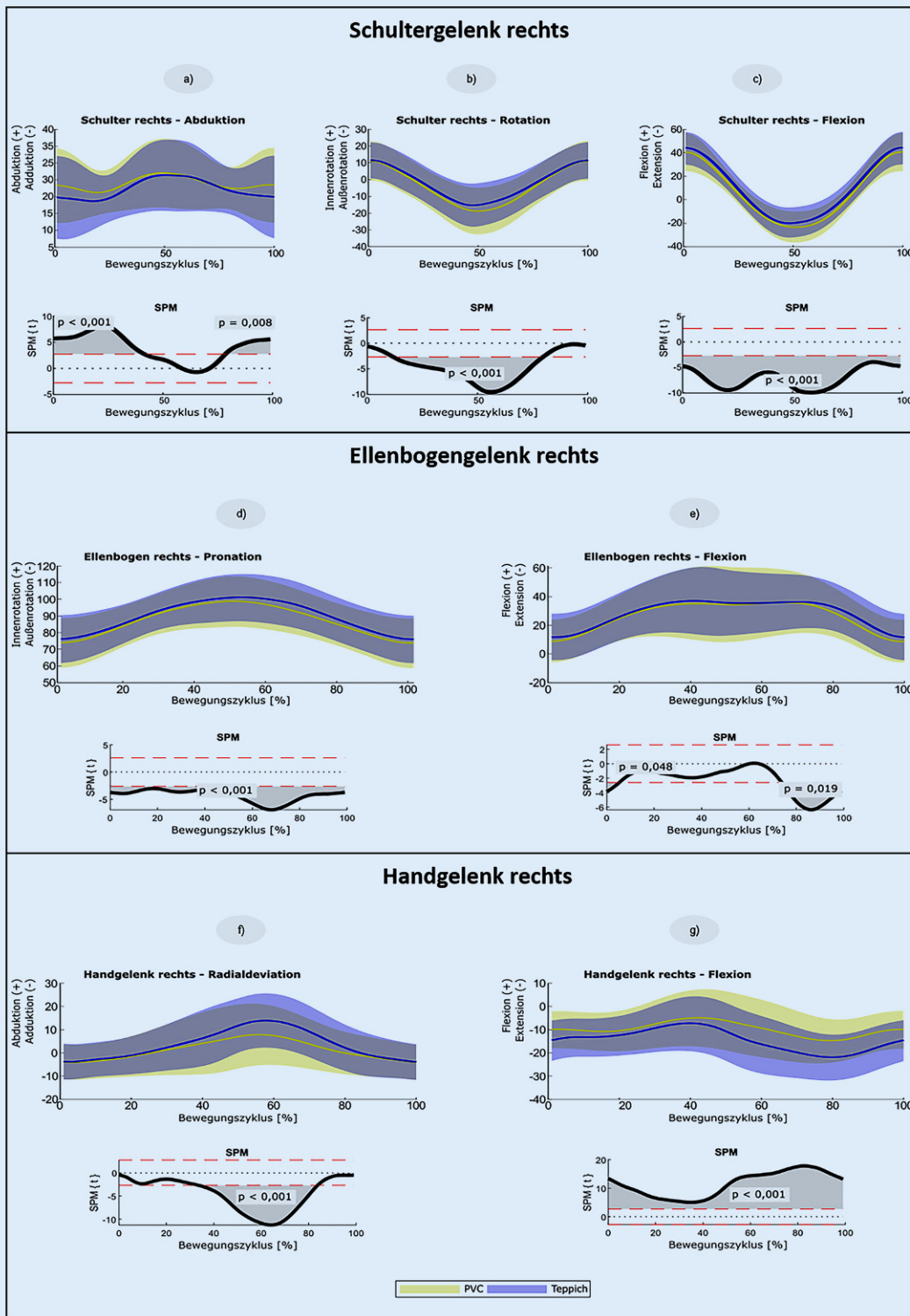


Abb. 2 ▲ Bewegungsprofile und Inferenzstatistik der rechten oberen Extremität für die untersuchten Konditionen PVC und Teppich für das habituelle Säu-gen. Dargestellt sind die rechte Schulter, der rechte Ellbogen und das rechte Handgelenk (Mittelwert: dicke Linie, Standardabweichung: Konfidenzbereich). Die zeitabhängigen Gelenkwinkel wurden zu einem gesamten Bewegungszyklus zeitnormalisiert. Proximales Wendepunkt: 50 %, distales Wendepunkt: 0 % bzw. 100 %. Gelb Kondition PVC, blau Kondition Teppichboden. Positive Werte der SPM weisen auf größere Winkel für die Kondition PVC als für den Teppich zu dem jeweiligen Zeitpunkt hin. Signifikante Unterschiede in der Inferenzstatistik mit kontinuierlichen Daten sind dann erreicht, wenn der z-Wert der SPM außerhalb der rot gestrichelten Linien liegt. (Mod. nach [18])

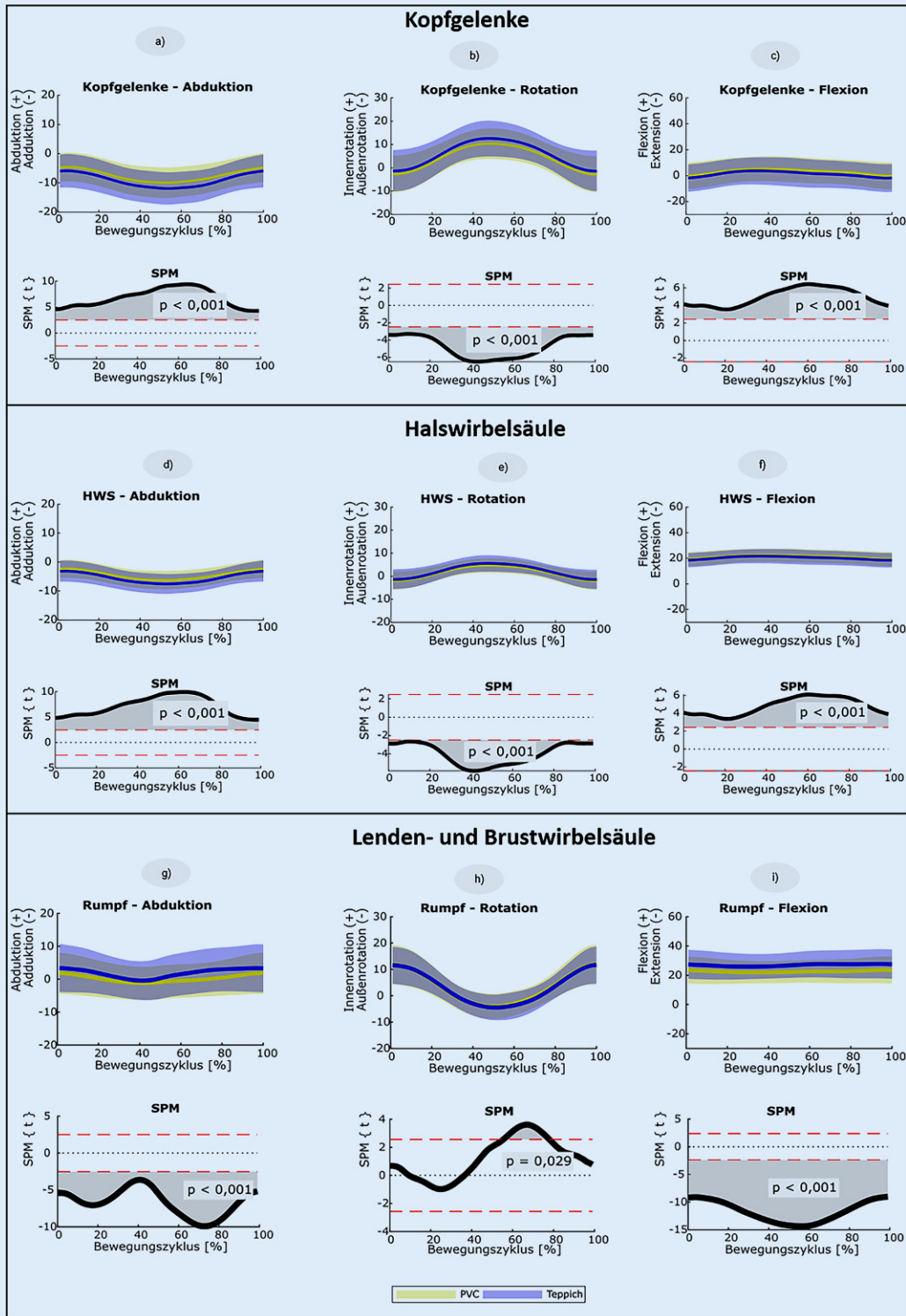


Abb. 3 ▲ Bewegungsprofile und Inferenzstatistik der Wirbelsäule (Kopfgelenke, Halswirbelsäule und Lenden- und Brustwirbelsäule) für die untersuchten Konditionen PVC und Teppich für das habituelle Saugen (Mittelwert: dicke Linie, Standardabweichung: Konfidenzbereich). Die zeitabhängigen Gelenkwinkel wurden zu einem gesamten Bewegungszyklus zeitnormalisiert. Proximaler Wendepunkt: 50 %, distaler Wendepunkt: 0 % bzw. 100 %. Gelb Kondition PVC, blau Kondition Teppichboden. Positive Werte der SPM weisen auf größere Winkel für die Kondition PVC als für den Teppich zu dem jeweiligen Zeitpunkt hin. Signifikante Unterschiede in der Inferenzstatistik mit kontinuierlichen Daten ist dann erreicht, wenn der z-Wert der SPM außerhalb der rot gestrichelten Linien liegt. (Mod. nach [17])

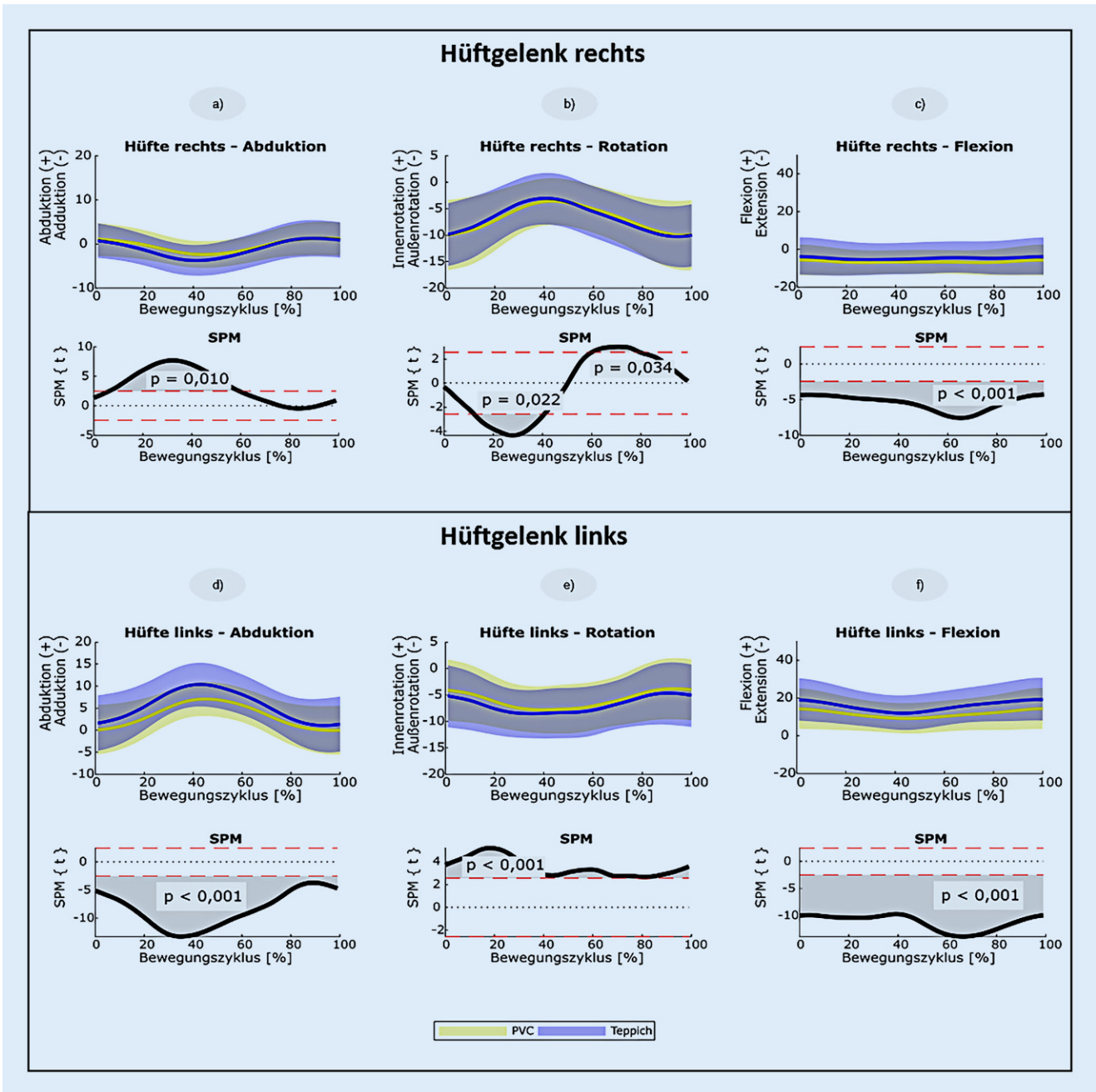


Abb. 4 ▲ Bewegungsprofile und Inferenzstatistik der linken und rechten Hüfte für die untersuchten Konditionen PVC und Teppich für das habituelle Saugen (Mittelwert: dicke Linie, Standardabweichung: Konfidenzbereich). Die zeitabhängigen Gelenkwinkel wurden zu einem gesamten Bewegungszyklus zeitnormalisiert. Proximaler Wendepunkt: 50%, distaler Wendepunkt: 0% bzw. 100%. Gelb Kondition PVC, blau Kondition Teppichboden. Positive Werte der SPM weisen auf größere Winkel für die Kondition PVC als für den Teppich zu dem jeweiligen Zeitpunkt hin. Signifikante Unterschiede in der Inferenzstatistik mit kontinuierlichen Daten ist dann erreicht, wenn der z-Wert der SPM außerhalb der rot gestrichelten Linien liegt. (Mod. nach [18])

Saugen mit der festen Fußposition weniger Variabilität im Rumpf einhergehen könnte als unter realen Bedingungen [17, 24, 27]. Chang et al. [7] bestätigen mit ihrer Analyse relativ große Intervalle zwischen dem 5. und 95. Perzentil der Saugbewegung für die obere Extremität,

während für den unteren Rücken, Nacken und untere Extremitäten eher eine geringere Variabilität beobachtet wurde.

Beim Vergleich der beiden Bodenbeschaffenheiten im vorliegenden Projekt verdeutlichte die deskriptive Analyse

[19], dass beim Saugen auf PVC-Belag das Schultergelenk bei der Rückwärtsbewegung vermehrt abduzierte (Abb. 2a) und am proximalen Drehpunkt verstärkt außenrotierte (Abb. 2b). Innerhalb der signifikanten Cluster des SPM deutete dies auf eine weniger harmonische

(ergonomische) Bewegung hin. Ferner lag eine hohe Bewegungsvervielfältigung der oberen Extremität (Schulterbeugung/-streckung und -abduktion/-adduktion, Handgelenkbeugung/-streckung und -radial/-ulnarabweichung), Ellenbogenbeugung/-streckung) über beide Bedingungen und Probanden hinweg vor (Abb. 2a, b, d–g). Insbesondere an den Extrempunkten des Saugzyklus traten größere Schwankungsbreiten der Standardabweichungen auf als bei den Wendepunkten. Allerdings waren Rotations- oder Pro-/Supinationsbewegungen in der Breite der Standardabweichungen über den Saugzyklus relativ homogen. Die mittlere Standardabweichung betrug 11,7° (Rotation der Schulter; Abb. 2) bzw. 13,7° (Pro-/Supination des Ellbogens; Abb. 2d).

Bei Haushaltsarbeiten, wie dem Staubsaugen, wird die gesamte obere Extremität beansprucht [1, 5–7, 11, 16], wodurch die hohe Prävalenz von muskuloskeletalen Beschwerden erklärt werden kann [7, 24, 27, 28]. Daher werden hier häufige Bewegungswiederholungen (unter Berücksichtigung der Dauer) aufgrund kumulativer Belastung und Ermüdung mit muskuloskeletalen Beschwerden und Erkrankungen in Verbindung gebracht [14]. Auch das Produktdesign gilt als wichtiger Einflussfaktor auf Haltung, Bewegung und körperliche Belastung bei der Produktnutzung [5, 8, 9].

Der Rumpf wurde hauptsächlich in Flexion gehalten und rotiert (Abb. 1i, h); die Bewegung in der Sagittalebene wurde hauptsächlich vom Hüftgelenk des kontralateralen Beins zur dominanten Hand initiiert (Abb. 1o). Insgesamt erwies sich das Staubsaugen als eine dynamische Tätigkeit. Die Bewegungsmuster der Halswirbelsäule (Abb. 1d–f) sind vergleichbar mit denen professioneller Reinigungskräfte, wobei diese Rumpfflexionswinkel von 20–60° und -rotationen von bis zu 45° häufig einnehmen [27, 28]. Insbesondere Probanden, die mit beiden Armen am Griff reinigen, hatten eine Bewegungshaltung, wie sie mit den ISO-Normen für eine schiebende und ziehende Tätigkeit (ISO 11228-2) vergleichbar sind.

Beim Vergleich der Bodenbeschaffenheiten (PVC- und Teppichboden) lagen

die Gelenke auf PVC-Boden zwischen 2° bis 3° näher an der neutralen Position als auf Teppichboden, abgesehen von der Rotation der Nackenhöhe mit größeren Unterschieden (Abb. 3b, e). Auch wurde die Vorwärts- und Rückwärtsbewegung des Rumpfes vorwiegend durch die Hüftgelenke initiiert (Abb. 4c, f). Zudem kam es zu einer Dynamik in der rotatorischen Bewegungsdimension ohne statische Haltearbeit des Rumpfes (Abb. 3h). Auch war die Bewegungsdynamik in der Brustwirbelsäule aufgrund der damit verbundenen begrenzten Bewegungsmöglichkeiten geringer als in der Hals- und Lendenwirbelsäule [2]. Bei Betrachtung der Daten zeigte sich zudem, dass der Unterschied der beiden Bodenbeschaffenheiten mit der SPM im Durchschnitt bei ±5°, wobei der Messfehler von ±1° bedacht werden sollte. In diesem Zusammenhang muss berücksichtigt werden, dass in diesem Projekt keine beruflich tätigen Reinigungskräfte analysiert werden.

Limitationen und zukünftige Forschungsfragen

Da die Beinstellung vorgegeben gewesen war, war weniger Rumpfvariabilität möglich als unter realen Bedingungen. So war zwar die externe Validität eingeschränkt, dafür konnten große Streuungen der Hüftflexion/-extension (Abb. 1i, o) verhindert werden. Inwiefern kinematische Daten ohne diese Vorgaben von bereits vorliegenden Daten abweichen, gilt es zukünftig zu erforschen. Gleiches lässt sich auf die vorgegebene Handhabung (ein- oder beidarmig) projizieren.

Da rein kinematische Daten aufgezeichnet wurden, können keine Schlussfolgerungen auf Belastungen (z. B. durch die Erfassung von Kräften oder Drücken) gezogen werden. Vielmehr kann aufgrund der kinematischen Daten ein ergonomisches Risiko, z. B. mittels der ergonomischen Risikobeurteilung RULA („rapid upper limb assessment“) berechnet werden. Die ergonomische Einordnung der erhobenen Kinematik könnte die aktuellen Daten des Staubsaugens präzisieren. Mit Hilfe von RULA könnte basierend auf kinematischen

Daten das ergonomische Risiko insbesondere für die obere Extremität und den Rumpf eingeschätzt werden [20]. Ferner sollte in weiteren Studien eingängiger erforscht werden, ob mit zunehmender Anzahl der Stunden, die ein Staubsauger benutzt wird, sich auch das kinematische Saugprofil des Einzelnen signifikant verändert.

Die Resultate der SVM könnten des Weiteren dafür genutzt werden, um betriebliche Modifizierungen der bisherigen Staubsaugmodelle umzusetzen. So könnten selbst kleine Unterschiede die Weiterentwicklung des Saugkopfes für die Umstellungen zwischen glattem Boden und Teppich voranbringen. Auch könnten weitere SVM-Analysen dazu genutzt werden, die Unterschiede der einzelnen Staubsaugermodelle vordergründig zu betrachten. Hier könnten bereits kleine Winkeldifferenzen, Anpassungen an die jeweilige Gegebenheit verbessern.

Neben der physischen Analyse des Staubsaugens ist es zukünftig sinnvoll, subjektive Parameter, wie beispielsweise das Komfortempfinden, mit zu bewerten, um weitreichendere Schlussfolgerungen ziehen zu können.

Fazit

Aus ersten Ergebnissen des MoCapVac-Projekts [18, 19] wurde deutlich, dass habituelles Staubsaugen eine dynamische Tätigkeit mit einer großen Variabilität in der oberen Extremität gegenüber dem Rumpf und der Hüfte ist. Die Gelenkwinkel in Rumpf und Nacken wiesen keine Extremwerte auf. Zudem zeigten sich vereinzelte Unterschiede zwischen den untersuchten Konditionen PVC- und Teppichboden.

Anschließende Analysen sollen im Hinblick auf weitere, zu beantwortende Projektfragen bereits bekannte Resultate nutzen, um zu evaluieren, ob die ergonomische Gefährdungsbeurteilung in Bereichen der oberen Extremität größer ausfällt als in Rumpf bzw. Hüfte. Diese Identifikation gefährdeter Bewegungssegmente soll helfen, präventiv der Entwicklung von Muskel-Skelett-Erkrankungen beim Staubsaugen entgegenzuwirken.

In diesem Zusammenhang sollen des Weiteren konstitutionsabhängige sowie situations- und anforderungsbedingte Parameter identifiziert werden, welche die Beanspruchung beim Staubsaugen optimieren können.

Korrespondenzadresse

Dr. F. Holzgreve

Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Goethe-Universität Frankfurt am Main
Theodor-Stern-Kai 7, Haus 9a, 60596 Frankfurt am Main, Deutschland
holzgreve@med.uni-frankfurt.de

Danksagung. Wir möchten uns an dieser Stelle bei den Staubsaugerfirmen Miele & Cie. KG, Rowenta (Groupe SEB Deutschland GmbH), Kärcher (Alfred Kärcher SE & Co. KG) und Vorwerk SE & Co. KG für die Bereitstellung der zur Durchführung dieser Studie notwendigen Staubsauger bedanken. Das gesamte Projekt ist ein Eigenprojekt des Instituts für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Goethe-Universität Frankfurt.

Funding. Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. F. Holzgreve, C. Maurer-Grubinger, L. Fraeulin, E.M. Wanke, D.A. Groneberg und D. Ohlendorf geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Es liegt ein positives Ethikvotum der Ethikkommission des Fachbereichs Medizin der Goethe-Universität Frankfurt am Main (Ethik-Nummer: 335/18) vor. Alle Proband*innen nahmen freiwillig an der Studie teil und unterzeichneten eine Einverständniserklärung.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Apostoli P, Sala E, Curti S, Cooke RM, Violante FS et al (2012) Loads of housework? Biomechanical assessments of the upper limbs in women performing common household tasks. *Int Arch Occup Environ Health* 85:421–425. <https://doi.org/10.1007/s00420-011-0690-z>
- Appel P, Schuler M, Vogel H, Oezelsel A, Faller H (2017) Short Questionnaire for Workplace Analysis (KFZA): factorial validation in physicians and nurses working in hospital settings. *J Occup Med Toxicol* 12:11. <https://doi.org/10.1186/s12995-017-0157-6>
- Bak H, D'souza C, Shin G (2019) Upper extremity muscular load during carpet vacuuming with household upright cleaners. *Appl Ergon* 79:38–44. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.04.008>
- Begg R, Kamruzzaman J (2005) A machine learning approach for automated recognition of movement patterns using basic, kinetic and kinematic gait data. *J Biomech* 38:401–408. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.002>
- Bell AF, Steele JR (2012) Risk of musculoskeletal injury among cleaners during vacuuming. *Ergonomics* 55:237–427. <https://doi.org/10.1080/00140139.2011.592605>
- Cabeças JM (2007) The risk of distal upper limb disorder in cleaners: A modified application of the Strain Index method. *Int J Ind Ergon* 37:563–571. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.03.002>
- Chang J-H, Wu J-D, Liu C-Y, Hsu D-J (2012) Prevalence of musculoskeletal disorders and ergonomic assessments of cleaners. *Am J Ind Med* 55:593–604. <https://doi.org/10.1002/ajim.22064>
- Chang J, Jung K, Lee W, You H (2017) Development of a usability evaluation method using natural product-use motion. *Appl Ergon* 60:171–182. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.11.015>
- Choi S, Shin G (2018) Effects of the center of mass of a stick vacuum cleaner on the muscle activities of the upper extremity during floor vacuuming. *Appl Ergon* 70:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.02.001>
- Electrolux (2013) Electrolux global vacuuming survey 2013 report
- Gallagher S, Heberger JR (2013) Examining the interaction of force and repetition on musculoskeletal disorder risk: a systematic literature review. *Hum Factors* 55:108–124. <https://doi.org/10.1177/0018720812449648>
- Hinnenkamp H (2017) Unfallstatistik 2015 Unfalltote und Unfallverletzte 2015 in Deutschland
- Knieps F, Pfaff H (2019) BKK Gesundheitsreport 2019. Psychische Gesundheit und Arbeit. MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Berlin.
- Kumar R, Kumar S (2008) Musculoskeletal risk factors in cleaning occupation—A literature review. *Int J Ind Ergon* 38:158–170. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2006.04.004>
- Kunst A (2017) Umfrage in Deutschland zur Häufigkeit des Staubsaugens. <https://de.statista.com/prognosen/996076/umfrage-in-deutschland-zur-haeufigkeit-des-staubsaugens>. Zugegriffen: 27. Mai 2019
- Lim D, Cho Y-K, Choi HH, Hwang SJ, Han P et al (2012) Evaluation of loads imposed on muscles and joints by repeated vacuum cleaning works for estimation of a potentiality of musculo-skeletal disorder occurrence. *Int J Precis Eng Manuf* 13:429–438. <https://doi.org/10.1007/s12541-012-0055-x>
- Marut M, Hedge A (1999) Ergonomic survey of household tasks and products. *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet* 43:506–510. <https://doi.org/10.1177/154193129904300608>
- Maurer-Grubinger C, Haenel J, Fraeulin L, Holzgreve F, Wanke E et al (2021) The movement profile of trunk and neck during habitual vacuuming. *Sci Rep* 11:1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99664-4>
- Maurer-Grubinger C, Haenel J, Fraeulin L, Holzgreve F, Wanke EM et al (2020) The movement profile of habitual vacuuming as a cyclic movement—A pilot study. *Int J Environ Res Public Health* 17:8793. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238793>
- Maurer-Grubinger C, Holzgreve F, Fraeulin L, Betz W, Erbe C et al (2021) Combining ergonomic risk assessment (RULA) with inertial motion capture technology in dentistry—using the benefits from two worlds. *Sensors* 21:4077
- Maurer C, Federolf P, Von Tscharnar V, Stirling L, Nigg BM (2012) Discrimination of gender-, speed-, and shoe-dependent movement patterns in runners using full-body kinematics. *Gait Posture* 36:40–45. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.12.023>
- Maurer C, Stief F, Jonas A, Kovac A, Groneberg DA et al (2015) Influence of the lower jaw position on the running pattern. *PLoS ONE* 10:e135712. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135712>
- Pataro SMS, Fernandes RDCP (2014) Heavy physical work and low back pain: the reality in urban cleaning. *Rev Bras Epidemiol* 17:17–30. <https://doi.org/10.1590/1809-4503201400010003eng>
- Pekkarinen A (2009) Development in professional cleaning work brings challenges to ergonomics. *Ergon Open J* 2:40–46. <https://doi.org/10.2174/1875934300902010040>
- Von Tscharnar V, Enders H, Maurer C (2013) Subspace identification and classification of healthy human gait. *Plos One* 8:e65063. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065063>
- Wai EK, Roffey DM, Bishop P, Kwon BK, Dagenais S (2010) Causal assessment of occupational bending or twisting and low back pain: results of a systematic review. *Spine J* 10:76–88. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2009.06.005>
- Woods V, Buckle P (2005) An investigation into the design and use of workplace cleaning equipment. *Int J Ind Ergon* 35:247–266. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2004.09.004>
- Woods V, Buckle P (2006) Musculoskeletal ill health amongst cleaners and recommendations for work organisational change. *Int J Ind Ergon* 36:61–72. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2005.08.001>