

Zbl Arbeitsmed 2020 · 70:236–239
<https://doi.org/10.1007/s40664-020-00386-7>
Online publiziert: 14. Februar 2020
© Der/die Autor(en) 2020



L. Maltry¹ · F. Holzgreve · C. Maurer · E. M. Wanke · D. Ohlendorf

¹Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umweltmedizin, Goethe-Universität, Frankfurt am Main, Deutschland

Präzisere ergonomische Risikobeurteilung durch die Kombination von Inertialsensoren mit observatorischen Methoden am Beispiel von RULA

Beurteilung von ergonomischem Risikopotenzial

Zum Aufgabenfeld von Arbeitsmedizinern gehört die Evaluation ergonomischer Risiken am Arbeitsplatz. Hier stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, um Ungleichgewichte zwischen den Arbeitsplatzbedingungen und den physiologischen Möglichkeiten des Arbeitnehmers zu eruieren. Diese werden als „ergonomic risk assessment tools“ (ERAT) zusammengefasst [6–8, 12, 17]. Das Ziel ist, mithilfe der ERAT strukturierte und möglichst objektivierte Analysen der Arbeitsplätze zu generieren. Auf Basis dessen können schließlich präventive Lösungsstrategien entwickelt werden [25]. Um bei der Wahl der Methode strukturiert vorgehen zu können, schlagen Winkel und Mathiassen [28] eine Differenzierung der Risiken in Dimensionen vor, die in die verschiedenen Tools unterschiedlich stark einfließen. Dazu gehören:

- Kräfte, die vom Arbeitnehmer aufgebracht werden, und solche, die durch die Verrichtung der Arbeit auf einzelne Körperregionen wirken, z. B. den Rücken
- Häufigkeiten, mit der diese Kräfte aufgebracht werden bzw. wirken
- Dauer der körperlichen Arbeit

- Posturale Variabilität – entweder statische Haltungen oder dynamische Bewegungen
- Vibrationen
- Psychologische Belastungen

Arbeitsmediziner müssen entscheiden, welche Dimensionen in dem jeweiligen Setting von Interesse sind, und dementsprechend ein oder mehrere passende Tool(s) auswählen. Unterschieden wird grundsätzlich zwischen den drei Techniken Eigenangaben, observatorische Methoden und direkte Messung, die jeweils unterschiedliche Vor- und Nachteile in der Anwendung mit sich bringen [7, 22, 25]. Im Folgenden werden die Ansätze kurz erläutert und neuere Ansätze zur Kombination von direkten Messungen mit observatorischen Methoden am Beispiel von RULA vorgestellt.

Über Eigenangaben (z. B. erhoben mittels Interviews, Rating-Skalen oder Fragebögen) kann das persönliche Empfinden zu physischer und psychologischer Belastung der Mitarbeiter untersucht werden. Diese können allerdings ein verzerrtes Bild liefern; beispielsweise überschätzen Mitarbeiter, die unter muskuloskelettalen Beschwerden leiden, die physische Belastung [2].

Bei observatorischen Methoden werden die ergonomischen Belastungen für einzelne Körperteile und auch für den gesamten Körper häufig in Scores zu-

sammenfasst [6]. Diese Scores ermöglichen einfache Einschätzungen von Gefährdungspotenzialen bspw. über Ampelsysteme, auf Basis derer Entscheidungen für den Aufbau des Arbeitsplatzes getroffen werden können. Außerdem können die Scores im Zeitverlauf verglichen werden. Die Erfassung erfolgt üblicherweise über Papierbögen oder Eingabegeräte, die von geschultem Personal während der Betrachtung der Arbeitsabläufe ausgefüllt bzw. bedient werden [18]. Ein Nachteil ist jedoch, dass der Beobachter den kompletten Arbeitsvorgang kaum im Verlauf beurteilen kann, da nur der Gesamteindruck der häufig komplexen Arbeitsschritte notiert wird. Dies kann dazu führen, dass nur worst-case-Situationen aufgenommen werden, deren Bedeutung jedoch im Gesamtkontext gesehen werden sollte [21, 24]. Weiterhin ist ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden oft nur schlecht möglich. Dies liegt zum einen daran, dass die Tools unterschiedliche Dimensionen ansprechen, aber auch unterschiedlich liberal oder konservativ in der Einschätzung der ergonomischen Risiken sind [6].

In Deutschland sind verschiedene Methoden gebräuchlich. Beispielsweise hat die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) Leitmerkmalmethoden (LMM) entwickelt, die auch von Sozial- und Unfallversicherungen anerkannt sind [4]. Im Jahr 2019

wurden die bestehenden LMM überarbeitet und weitere Beurteilungsbögen für die „Ausübung von Ganzkörperkräften“, zur „Körperfortbewegung“ und zu „Körperzwangshaltungen“ herausgegeben [1]. Somit können sechs verschiedene Belastungsarten (1. manuelles Heben, Halten und Tragen von Lasten, 2. manuelles Ziehen und Schieben von Lasten, 3. manuelle Arbeitsprozesse, 4. Ganzkörperkräfte, 5. Körperfortbewegung und 6. Körperzwangshaltung) im Rahmen dieser Gefährdungsbeurteilung evaluiert werden. DIN- und ISO-Normen unterstützen den Untersucher bei der ergonomischen Beurteilung der Belastung. Bei der direkten Messung mittels des CUELA (Computer-unterstützte Erfassung und Langzeitanalyse von Muskel-Skelett-Belastungen)-Messsystems, entwickelt vom Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, wird die Belastung beispielsweise auf Basis der ergonomischen Standards DIN EN 1005-4 [9] und ISO 11226 [11] beurteilt.

International ist das Rapid Upper Limb Assessment (RULA; [16]) ein viel verwendetes und auch wissenschaftlich gut evaluiertes Verfahren. Evaluiert werden hier die Dimensionen Kraft, Frequenz und Dauer unter besonderer Berücksichtigung der Körperregionen Nacken, Schultern, Rumpf, Arme und Hände. RULA gilt als relativ konservative Methode, mit der mehr Situationen als mit anderen Tools als hoch risikobehaftet eingeschätzt werden [6].

In direkten Messungen werden Arbeitsvorgänge kontinuierlich aufgenommen und anhand objektiver Daten festgehalten. Dies ermöglicht es, den gesamten Arbeitsablauf unabhängig von subjektiven Experteneinschätzungen darzustellen. Dafür werden Messsysteme benötigt, deren Verlässlichkeit und Genauigkeit in den letzten Jahren einen Standard erreicht haben, der die Verwendung im arbeitsmedizinischen Kontext rechtfertigt. Bereits häufig verwendet wurden optische Sensoren (Tiefensensoren auf Infrarot-Basis) wie das Kinect von Microsoft Corp. (Redmond, Washington, USA; [5, 8, 15, 21]). Das Kinect ist ohne Marker und ohne Kalibrierung anwendbar. So bald es jedoch geringfügig falschplatziert

Zbl Arbeitsmed 2020 · 70:236–239 <https://doi.org/10.1007/s40664-020-00386-7>
© Der/die Autor(en) 2020

L. Maltry · F. Holzgreve · C. Maurer · E. M. Wanke · D. Ohlendorf

Präzisere ergonomische Risikobeurteilung durch die Kombination von Inertialsensoren mit observatorischen Methoden am Beispiel von RULA

Zusammenfassung

Zur ergonomischen Beurteilung von Arbeitsplätzen werden „ergonomic risk assessment tools“ (ERAT) verwendet. Mithilfe dieser kann die körperliche Belastung evaluiert und hinsichtlich eines biomechanischen Überlastungsrisikos bewertet werden. Dazu gehören neben Eigenangaben auch observatorische Methoden, deren Ergebnisse in Punktwerten („Scores“) zusammengefasst werden, wie z. B. die RULA-Methode („rapid upper limb assessment“). Durch die technische Weiterentwicklung direkter Messmethoden können inertielle Motion-Capture-Systeme im 21. Jahrhundert

präzise und kontinuierliche objektive Daten liefern. In einem neuen Ansatz wurde die observatorische Scoring-Methode RULA modifiziert und auf die digital erhobenen Daten angewendet, was differenzierte ergonomische Betrachtungen ganzer Arbeitsabläufe ermöglicht.

Schlüsselwörter

Ergonomie am Arbeitsplatz · Ergonomische Analyse · Bewegungsanalyse mit Inertialsensoren · RULA · Muskuloskeletale Erkrankungen

Improved ergonomic risk assessment through the combination of inertial sensors and observational methods exemplified by RULA

Abstract

Ergonomic risk assessment tools are used for the ergonomic assessment of workplaces. These tools can be used to evaluate the risks for biomechanical overload. In addition to self-declarations this also includes observational methods, the results of which are summarized in scores, such as the rapid upper limb assessment (RULA) method. Through the technical development of direct measurement methods, inertial motion capture systems can provide continuous

objective data in the twenty-first century. In a new approach, the observational scoring method RULA has been modified and applied to digitally collected data, enabling differentiated ergonomic observations of entire workflows.

Keywords

Workplace ergonomics · Ergonomic analysis · Inertial motion capture · RULA · Musculoskeletal diseases

wird, sind die erhobenen Daten nicht mehr verlässlich [8], was eine Anwendung an engen Arbeitsplätzen erschwert. Fehlerhafte Werte müssen anschließend aufwändig über Filterberechnungen ausgeglichen werden [21]. Bei korrekter Verwendung liefert das relativ günstige Kinect jedoch Ergebnisse, die vergleichbar sind mit denen teurerer markerbasierter Systeme [19]. Letztere sind auch wegen des aufwändigen Aufbaus mit mehreren platzraubenden Kameras am Arbeitsplatz häufig nicht einsetzbar.

Eine weitere Methode zur kontinuierlichen Aufzeichnung posturaler Belastung stellen Inertialsensoren („inertial motion units“, IMU) dar. Hier wird über am Körper platzierte Sensoren – u. a. mit-

tels Beschleunigungssensoren und Gyroskopen – ein biomechanisches Modell erstellt, das kinematische Parameter wie z. B. Positionen von Körpersegmenten und Gelenkwinkelverläufe am Computer reproduziert. Viele Inertialsensoren wurden allerdings erst in den letzten Jahren stabil gegen magnetische Störeinflüsse und sind ebenfalls erst seit Kurzem vom Aufbau so diskret gestaltet, dass sie keine Behinderung bei der Arbeit darstellen [7]. Validität und Reliabilität einzelner Systeme wurde bereits in einigen Studien vorgestellt [12, 23, 27]. Untersucht wurden Arbeitsplätze in der in der Automobilindustrie [10], in Büros [12], an Supermarktkassen [20] und Arbeitsplätze mit manuellen Tätigkeiten [3].

Kombinierte Anwendung von IMU und RULA

Um die kinematischen Daten für die Arbeitsmedizin nutzbar zu machen, kann es günstig sein, etablierte Scoring-Modelle auf die inertial erhobenen Daten anzuwenden. Dies bietet auch einen Lösungsansatz für die Problematik observatorischer Methoden, mit denen komplexe Arbeitsabläufe nur unspezifisch beurteilt werden können. Außerdem können Bewegungen, die mit bloßem Auge schwierig zu erfassen sind, objektiviert werden [14, 15, 22].

Wissenschaftlich fundiert beschreibt beispielsweise die Arbeitsgruppe von Vignais 2017 [25] eine Kombination aus Bewegungserfassung mit Inertialsensoren und dem RULA-Verfahren zur ergonomischen Beurteilung von Arbeitsplätzen. Für die kinematische Analyse wurde der Oberkörper mit 7 Inertialsensoren (CAPTIV motion, TEA, Nancy, France) ausgestattet. Für die Anwendung des RULA-Verfahrens zur ergonomischen Risikobewertung auf eine kontinuierliche kinematische Bewegungsanalyse waren einige Anpassungen einzelner Parameter notwendig. So führen die Autoren detailliert auf, wie bekannte Schwächen des RULA-Verfahrens – beispielsweise fehlende Schwellenwerte für die Armabduktion, Radial- bzw. Ulnarabduktion sowie die Kopfabduktion und Rumpfrotation – durch eine Quantifizierung von Winkeln und anschließende Schwellenfestlegung überwunden werden konnten. Innovativ ist insbesondere die Berechnung der Scores zu jedem Zeitpunkt (abhängig von der Aufnahmefrequenz des Messsystems, hier 64 Hz). Dazu gehören der RULA-Gesamtscore sowie alle Subscores einzelner Gelenke für die rechte und linke Körperhälfte. Der Vorteil ist, dass so auch eine relative Verteilung der jeweiligen RULA-Werte über den Zeitverlauf dargestellt werden kann (Bsp.: 30 % der Arbeitszeit wurde im ergonomischen Risikobereich verbracht). Die Gesamtbelastung kann demnach dezidiert und objektiver erhoben werden, als dies bei ausschließlicher Anwendung observatorischer Methoden der Fall wäre. Daraus resultiert eine präzisere und umfassendere ergonomische Beurteilung von Arbeitsplätzen.

Es bleibt jedoch bei der weiteren Entwicklung von kombinierten Erhebungsmethoden zu beachten, dass die observatorischen Methoden vorwiegend zur Evaluation statischer Positionen entwickelt wurden. Eventuell müssen die Scores an komplexe Arbeitsabläufe angepasst werden. Weiterer Forschungsbedarf besteht auch hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen dem IMU-basierten Ergebnissen und muskuloskeletalen Erkrankungen (MSE). So konnten Lobo et al. [14] bei Chirurgen einen Zusammenhang zwischen den RULA-Scores und den empfundenen MSE herstellen [14]. Andere Autoren konnten jedoch keine epidemiologischen Daten aufführen, die einen Zusammenhang zwischen dem Auftreten von MSE und der Berechnung des Expositionsrisikos unterstützen [13, 26]. Dafür sind weitere Untersuchungen auch mit Kontroll-Interventionsstudien nötig.

Fazit für die Praxis

- Zur ergonomischen Beurteilung von Arbeitsplätzen stehen verschiedene Verfahren zur ergonomischen Risikobeurteilung (ERAT) zur Verfügung.
- Durch eine Zusammenfassung der Ergebnisse in Scores zur Belastung des gesamten Körpers und auch einzelner Körperteile können Rückschlüsse über das Gefährdungspotenzial gezogen werden (Nachweise über den konkrete Punktwert-Risiko-Beziehungen stehen allerdings häufig noch aus).
- Neu entwickelte Inertial-Motion-Capture-Methoden sind stabil gegen magnetische Störungen, schränken den Arbeitnehmer nicht in seiner Bewegungsfreiheit ein und können auch bei Messungen an der Arbeitsstätte reliable und valide Ergebnisse liefern.
- Zur ergonomischen Beurteilung der IMU-Daten können die Bewertungskriterien von traditionellen observatorischen Methoden (z. B. RULA) angewendet werden.
- Dafür müssen die etablierten Scores teilweise modifiziert werden, wofür es jedoch in der Literatur noch keine einheitlichen Lösungen gibt.

- Zukünftig versprechen genaue, reliable und kontinuierliche Erhebungen optimierte Beurteilungen ergonomischer Risikosituationen am Arbeitsplatz.

Korrespondenzadresse

L. Maltry, M.A.

Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umweltmedizin, Goethe-Universität
Theodor-Stern-Kai 7, Haus 9b, 60590 Frankfurt
am Main, Deutschland
Maltry@med.uni-frankfurt.de

Funding. Open Access funding provided by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. L. Maltry, F. Holzgreve, C. Maurer, E. M. Wanke und D. Ohlendorf geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

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

1. BAuA (2016) Volkswirtschaftliche Kosten durch Arbeitsunfähigkeit 2016. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund
2. Balogh I, Orbaek P, Ohlsson K et al (2004) Self-assessed and directly measured occupational physical activities—influence of musculoskeletal complaints, age and gender. *Appl Ergon* 35:49–56
3. Battini D, Persona A, Sgarbossa F (2014) Innovative real-time system to integrate ergonomic evalua-

- tions into warehouse design and management. *Comput Ind Eng* 77:1–10
4. BAuA (2019) Gefährdungsbeurteilung mit Leitmerkmalmethode. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund
 5. Bonnechere B, Jansen B, Salvia P et al (2014) Validity and reliability of the Kinect within functional assessment activities: comparison with standard stereophotogrammetry. *Gait Posture* 39:593–598
 6. Chiasson M-È, Imbeau D, Aubry K et al (2012) Comparing the results of eight methods used to evaluate risk factors associated with musculoskeletal disorders. *Int J Ind Ergon* 42:478–488
 7. David GC (2005) Ergonomic methods for assessing exposure to risk factors for work-related musculoskeletal disorders. *Occup Med* 55:190–199
 8. Diego-Mas JA, Alcaide-Marzal J (2014) Using Kinect™ sensor in observational methods for assessing postures at work. *Appl Ergon* 45:976–985
 9. DIN EN 1005-4 (2005) Menschliche körperliche Leistung Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen. Beuth, Berlin
 10. Ide D, Tokcalar O, Gunduz T (2018) The effect of joint forces and torques on speed variation in automobile assembly lines. *Work* 61:211–224
 11. ISO 11226 (2000) Ergonomics—Evaluation of static working postures. International Organization for Standardization, Geneva.
 12. Jun D, Johnston V, Mcphail SM et al (2019) Are measures of postural behavior using motion sensors in seated office workers reliable? *Hum Factors* 61:1141–1161
 13. Li G, Buckle P (1999) Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. *Ergonomics* 42:674–695
 14. Lobo D, Anuarbe P, Lopez-Higuera JM et al (2019) Estimation of surgeons' ergonomic dynamics with a structured light system during endoscopic surgery. *Int Forum Allergy Rhinol* 9:857–864
 15. Manghisi VM, Uva AE, Fiorentino M et al (2017) Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor. *Appl Ergon* 65:481–491
 16. Mcatamney L, Corlett NE (1993) RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Appl Ergon* 24:91–99
 17. Mokhlespour Esfahani MI, Nussbaum MA, Kong Z (2019) Using a smart textile system for classifying occupational manual material handling tasks: evidence from lab-based simulations. *Ergonomics* 62:823–833
 18. Ohlendorf D, Schwarzer M, Rey J et al (2015) Medical work assessment in German hospitals: a study protocol of a movement sequence analysis (MAGRO-MSA). *J Occup Med Toxicol* 10:1
 19. Patrizi A, Pennestri E, Valentini PP (2016) Comparison between low-cost marker-less and high-end marker-based motion capture systems for the computer-aided assessment of working ergonomics. *Ergonomics* 59:155–162
 20. Peppoloni L, Filippeschi A, Ruffaldi E et al (2016) A novel wearable system for the online assessment of risk for biomechanical load in repetitive efforts. *Int J Ind Ergon* 52:1–11
 21. Plantard P, Shum HPH, Le Pierres A-S et al (2017) Validation of an ergonomic assessment method using Kinect data in real workplace conditions. *Appl Ergon* 65:562–569
 22. Plantard P, Shum HPH, Le Pierres AS et al (2017) Validation of an ergonomic assessment method using Kinect data in real workplace conditions. *Appl Ergon* 65:562–569
 23. Robert-Lachaine X, Larue C, Denis D et al (2019) Feasibility of quantifying the physical exposure of materials handlers in the workplace with magnetic and inertial measurement units. *Ergonomics*. <https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1612941>
 24. Takala EP, Pehkonen I, Forsman M et al (2010) Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work. *Scand J Work Environ Health* 36:3–24
 25. Vignais N, Bernard F, Touvenot G et al (2017) Physical risk factors identification based on body sensor network combined to videotaping. *Appl Ergon* 65:410–417
 26. Vignais N, Miezal M, Bleser G et al (2013) Innovative system for real-time ergonomic feedback in industrial manufacturing. *Appl Ergon* 44:566–574
 27. Wang D, Dai F, Ning X et al (2017) Assessing work-related risk factors on low back disorders among roofing workers. *J Constr Eng Manage* 143:4017026
 28. Winkel J, Mathiassen SE (1994) Assessment of physical work load in epidemiologic studies: concepts, issues and operational considerations. *Ergonomics* 37:979–988