

Untersuchung der körperlichen Belastung hinsichtlich Abwechslung und Einseitigkeit anhand eines Fallbeispiels zu Lean Production

Michael KELTERBORN¹, Hans TAVS², Willibald A. GÜNTNER¹

¹ *Lehrstuhl für Fördertechnik, Materialfluss, Logistik, Technische Universität München
Boltzmannstraße 15, D-85748 Garching*

² *MAN Truck & Bus AG
Dachauerstr. 667, D-80995 München*

Kurzfassung: Die Trennung von Produktions- und Logistiktätigkeiten, welche im Rahmen des Lean Production Ansatzes vorangetrieben wird, ermöglicht Produktivitätssteigerungen. Allerdings kann dies zu monotonen Tätigkeiten und einseitigen Belastungen führen. Im nachfolgenden Beitrag wird exemplarisch untersucht, inwieweit sich durch Trennung von Produktions- und Logistiktätigkeiten die körperliche Belastung verändert. Zur Untersuchung wird ein System vorbestimmter Zeiten mit einem Verfahren zur Untersuchung der Körperhaltung kombiniert. Mithilfe dieses Ansatzes konnte gezeigt werden, dass es aus ergonomischer Sicht sinnvoll sein kann Vormontage- und Kommissioniertätigkeiten nicht zu trennen, da sich hierdurch abwechslungsreichere Arbeitsabläufe ergeben.

Schlüsselwörter: Produktionsergonomie, Logistik, Belastung, Abwechslung, Systeme vorbestimmter Zeiten, Lean

1. Einleitung

Die Trennung von Produktions- und Logistiktätigkeiten, welche im Rahmen des Lean Production Ansatzes vorangetrieben wird, verspricht durch Standardisierung, Transparenz und Outsourcing von Nebentätigkeiten Produktivitätssteigerungen. Dies kann allerdings zu monotonen Tätigkeiten und einseitigen Belastungen führen, welche im Widerspruch zu den Anforderungen an ergonomische Arbeitsplätze stehen.

Grundsätzliche Konsensmeinung in der Wissenschaft ist, dass abwechselnde Belastung gesundheitsförderlich ist (Wells et al. 2007) und die Arbeitszufriedenheit erhöhen kann (Mathiassen 2006). Verfahren zur Bewertung der Arbeitsbelastung (z.B. EAWS, LMM) ignorieren diesen Aspekt allerdings, da die zeitliche Abfolge von Tätigkeiten nicht berücksichtigt wird. Zur Beschreibung der zeitlichen Abfolge von Tätigkeiten werden in der Fertigungsplanung Systeme vorbestimmter Zeiten (z.B. MTM) verwendet, welche sich eignen könnten die zeitliche Abfolge ergonomisch zu berücksichtigen (Wells et al. 2007; Kelterborn et al. 2014). Im nachfolgenden Beitrag wird dieser Ansatz aufgegriffen. Untersucht wird ein für die Automobilindustrie charakteristischer Versorgungsprozesses, bestehend aus Kommissionierung, Vormontage und Bereitstellung. Hierzu wird ein System vorbestimmter Zeiten mit einem Verfahren zur Beschreibung der Körperhaltung kombiniert. Als System vorbestimmter Zeiten wird das MTM System und zur Analyse der Körperhaltung die OWAS Methode verwendet.

2. Einseitige und wechselnde Belastung

Biomechanische Grundlage für die gesundheitsförderliche Wirkung von Abwechslung stellen die unterschiedlichen Mechanismen zur Energieerzeugung im Muskel dar. Kurzzeitige anaerobe Kraftleistungen müssen immer durch eine Erholungsphase ausgeglichen werden (Hartmann et al. 2013). Werden den Muskeln keine ausreichende Regenerationsmöglichkeit gegeben kann es sogar zur Schädigung kommen (Visser et al. 2006).

Wissenschaftlich ist der Effekt von Abwechslung nicht ausreichend untersucht (Wells et al. 2007; Mathiassen 2006). Nach Wells et al. (2007) dürfte dies an der Schwierigkeit liegen zeitbezogene Daten zu aggregieren. Während Menschen sehr gut Tätigkeiten und Aufgaben beschreiben können, ist die Fähigkeit Zeiten und Zeitanteile abzuschätzen deutlich geringer ausgeprägt. Notwendig wären hierfür Daten aus direkten Messungen. Mathiassen (2006) sieht als zusätzliche Erschwernis den Mangel einer einheitlichen Definition für Belastungsabwechslung. Allerdings sind aus verwandten Bereichen wissenschaftliche Studien verfügbar, welche die Annahme einer gesundheitsförderlichen Wirkung von Abwechslung unterstützen. So wurde in Laborstudien festgestellt, dass ein Zeitregime mit Unterbrechungen die Ermüdung reduziert, auch wenn sich die Gesamtarbeitsmenge nicht ändert (Sundelin 1993). Verschiedene Studien zeigen zudem, dass die Einführung von standardisierten, kurz getakteten Tätigkeiten zu einem Anstieg an Muskel-Skelett Erkrankungen führen kann (Ólafsdóttir 1998; Fredriksson et al. 2001; Moreau 2003).

Ansätze, welche zur Quantifizierung von Belastungsabwechslung vorgeschlagen werden (Mathiassen & Winkel 1991; Waters et al. 2007; Mathiassen 2006), sind vielversprechend, beziehen sich aber nur auf eine Belastungsgröße und können noch nicht in eine Risikoeinschätzung überführt werden. Auf Arbeitsplatzebene stehen somit noch keine Methoden zur Untersuchung der Abwechslung zur Verfügung.

3. Untersuchungsmethode

In der Untersuchung wird die Versorgung eines Achsmontagebandes mit dem Bremsgestängesteller betrachtet. Dieses Standardbauteil hält bei Verschleiß des Bremsklotzes den Abstand zwischen Bremscheibe und Bremsklotz konstant. Der Versorgungsprozess besteht aus Kommissionierung, Vormontage und Bereitstellung des Bauteils am Montageband (siehe Abb.1). Am ersten Arbeitsplatz (AP1.1) wird der Bremsgestängesteller fahrzeugbezogen kommissioniert und in der Verbaureihenfolge in einem Spezialbehälter (Sequenzbehälter) abgelegt. Es werden jeweils zwei Bauteile aus dem sortenreinen Behälter entnommen und im Sequenzbehälter abgelegt. Der Mitarbeiter hat an diesem Arbeitsplatz keine Sitzmöglichkeit. Am zweiten Arbeitsplatz (AP1.2) wird der Bremsgestängesteller in einer verbauortnahen Vormontage eingestellt. Dem Mitarbeiter steht an diesem Arbeitsplatz eine Stehhilfe zur Verfügung. Im Rahmen der Untersuchung wird dieser Ablauf mit dem Szenario verglichen, die Kommissionierung und Vormontage kombiniert in einem Schritt auszuführen (AP 2). Dabei wird die Einstellvorrichtung inklusive der Stehhilfe neben dem Sequenzbehälter platziert. Der Mitarbeiter entnimmt jeweils zwei Bauteile, geht zur Einstellvorrichtung, setzt sich auf die Stehhilfe, führt den Einstellvorgang durch und legt die Bauteile anschließend im Sequenzbehälter ab.

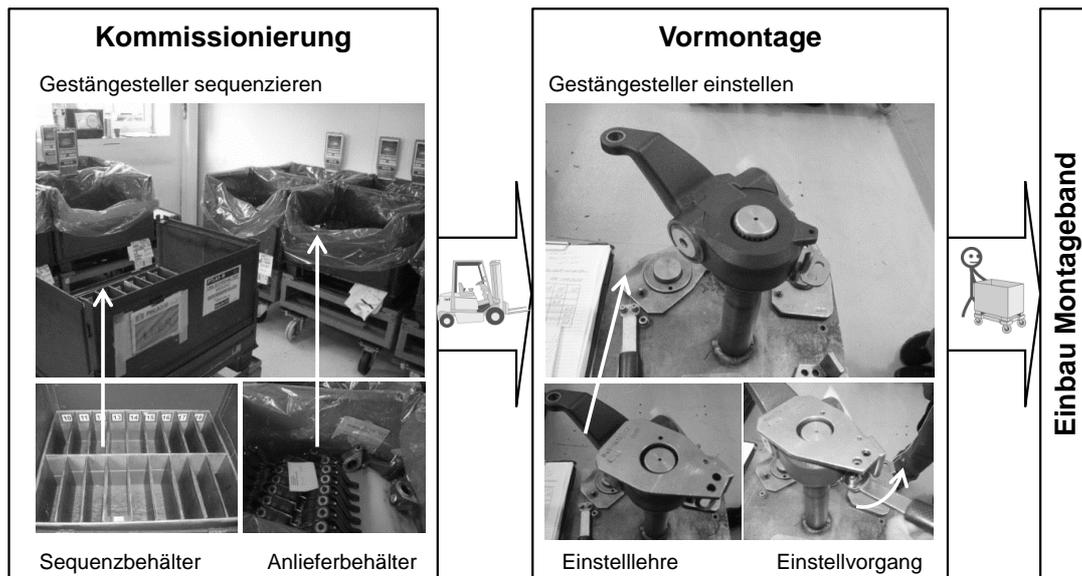


Abbildung 1: Versorgungsprozess Bremsgestängesteller

Der Arbeitsablauf wurde mithilfe dem MTM-1 System und der OWAS Methode beschrieben. Das MTM Verfahren ermöglicht die Modellierung eines manuellen Arbeitsablaufs unter Verwendung von standardisierten Grundbewegungen, welchen Zeiten zugeordnet sind. Das OWAS Verfahren codiert die Körperhaltung mithilfe von 4 möglichen Rückenhaltungen, 3 Armhaltungen, 7 Beinhaltenungen und 3 Gewichtskategorien (Karhu et al. 1977). Den Haltungen und möglichen Kombinationen ist jeweils ein Risikoindex zugeordnet. Das einfach anzuwendende Verfahren wird auch von aktuellen Motion-Capturing-Systemen zur Beschreibung und Analyse der Körperhaltung verwendet (z. B. CUELA: Glitsch 2004; Gudehus 2009).

4. Ergebnis

Die Zeit für einen Grundzyklus hat sich von 22s (AP1.1, für 2 Stück) und 10s (AP1.2, für 1 Stück) auf 41s (AP2, für 2 Stück) erhöht. Die Produktivität, gemessen in Arbeitszeit pro Bauteil, verändert sich damit nur geringfügig. Allerdings stellt die Erhöhung der Zykluszeit von 23s respektive 10s auf 41s eine ergonomische Verbesserung dar, da Zykluszeiten unter 30s als hoch repetitiv und damit belastend zu bewerten sind (Silverstein et al. 1986). Abb. 2 zeigt die Auswertung der Körperhaltungen.

Rücken: An AP 1.1 befindet sich der Mitarbeiter zu 38 % der Zeit in gebeugter und gedrehter Haltung (4) und erreicht damit Aktionskategorie 3 (Gesundheitsgefährdend, Maßnahmen zur Abhilfe sollten so schnell wie möglich ergriffen werden). An AP 2 befindet sich der Mitarbeiter nur noch zu 21% in dieser Haltung, wodurch sich die Aktionskategorie um eine Stufe auf 2 (Gesundheitsgefährdung möglich, Maßnahmen zur Abhilfe sollten in naher Zukunft ergriffen werden) verbessert.

Beine: Während an Arbeitsplatz 1.1 der Mitarbeiter die ganze Zeit über steht und geht, sitzt der Mitarbeiter an Arbeitsplatz 1.2 durchgehend. Beides ist nicht optimal, besser wäre eine Abwechslung zwischen gehen, stehen und sitzen. Der Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (Berger 2009) schlägt ein

Verhältnis von 60% Sitzen, 30% Stehen und 10% Gehen vor. AP2 kommt dieser Verteilung mit 63% Sitzen, 20% Stehen und 17% Gehen sehr nahe. Dies stellt somit eine weitere wesentliche Verbesserung der Ergonomie dar.

Arme: Arbeit über Schulterhöhe kommt an keinem der Arbeitsplätze vor, so dass sich keine Unterschiede zwischen AP 1.1, AP 1.2 und AP 2 ergeben.

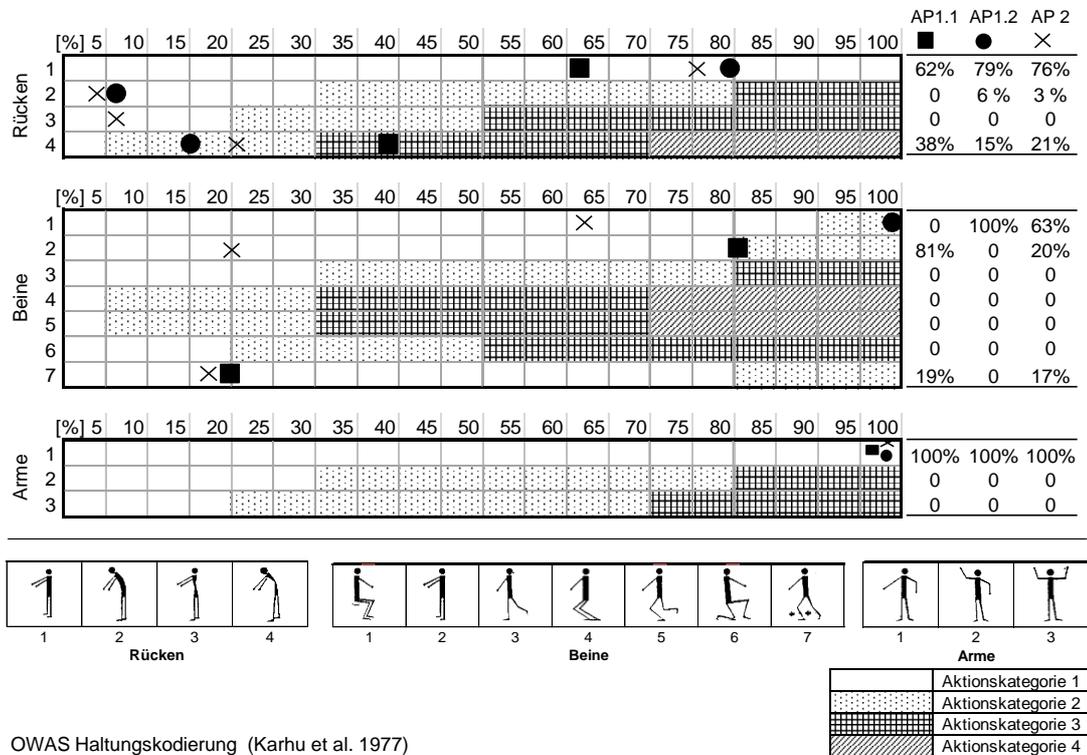


Abbildung 2: Körperhaltung und Zeitanteile nach Arbeitsplatz

5. Diskussion

Das Ergebnis zeigt exemplarisch, dass es aus ergonomischer Sicht sinnvoll sein kann Vormontage und Kommissionierung an einem Arbeitsplatz zu kombinieren. Hieraus ergibt sich ein längerer Grundzyklus, was aus ergonomischer Sicht grundsätzlich positiv zu bewerten ist. Weiterhin ist es möglich, dass sich durch die Kombination eine abwechslungsreichere Kombination an unterschiedlichen Haltungen ergibt. Im untersuchten Beispiel ergab die Kombination eines Steharbeitsplatzes mit einem Sitzarbeitsplatz eine ergonomisch günstige Verteilung von Sitzen, Stehen und Gehen. Abwechslung zwischen verschiedenen Körperhaltungen ist für die anderen Körperpartien ebenso anzustreben (u.a. Hartmann et al. 2013; Sämann 1970). Sämann (1970) schrieb hierzu „Es soll ein Haltungswechsel möglich sein, damit die Belastung alternierend von verschiedenen Muskelgruppen aufgenommen werden kann. Keine Haltung ist so vollkommen, dass sie über längere Zeit eingenommen werden kann.“

Mithilfe des vorgestellten Ansatzes ist es möglich, bereits in der Planungsphase die Zeitanteile der verschiedenen Körperhaltungen zu bestimmen. Zur Vereinfachung und Objektivierung der Interpretation wäre in diesem Zusammenhang eine „Abwechslungskennzahl“ nützlich. Der Ansatz des Haltungsverteilungskoeffizient (HVK) stellt eine einfache Möglichkeit hierfür dar und wird im Folgenden kurz

vorgestellt. Der HVK quantifiziert die Abweichung von einer anzustrebenden Verteilung der Körperhaltung nach folgender Formel:

$$HVK = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^k \sqrt{(p_n - q_n)^2} \quad (1)$$

mit: k = Anzahl Kategorien für entsprechende Körperregion
p = tatsächlicher Anteil der Haltung
q = Anteil aus Zielverteilung

Entsprechend der Zielstellung können unterschiedliche Verteilungen als Zielstellung angenommen werden. Für die Untersuchung wurde als anzustrebende Verteilung vorgegeben, dass jede Körperhaltung vorkommen soll und dass der Zeitanteil an dieser Körperhaltung umso größer ist, je weniger belastend eine Körperhaltung ist. Hierzu wurde die Grenze zwischen Aktionskategorie 1 und 2 aus der OWAS Methode normiert (siehe Abb. 3)

Der HVK für AP1.2 ist mit 0,261 am niedrigsten, da hier der Zeitanteil an der kritischen Haltung 4 (gebeugt und gedreht) am geringsten ist. Für die Beine zeigt der Haltungsverteilungskoeffizient, dass sowohl an AP 1.1 (HVK Beine: 0,55) mit Steh-/Geharbeit als auch an AP1.2 (HVK Beine: 0,71) mit Sitzarbeit eine einseitige Haltung vorliegt, während sich der Ablauf an AP2 (HVK Beine: 0,337) abwechslungsreicher darstellt. Für die Arme ergibt sich kein Unterschied, da an keinem der drei Arbeitsplätze Arbeit über Schulterhöhe auftritt.

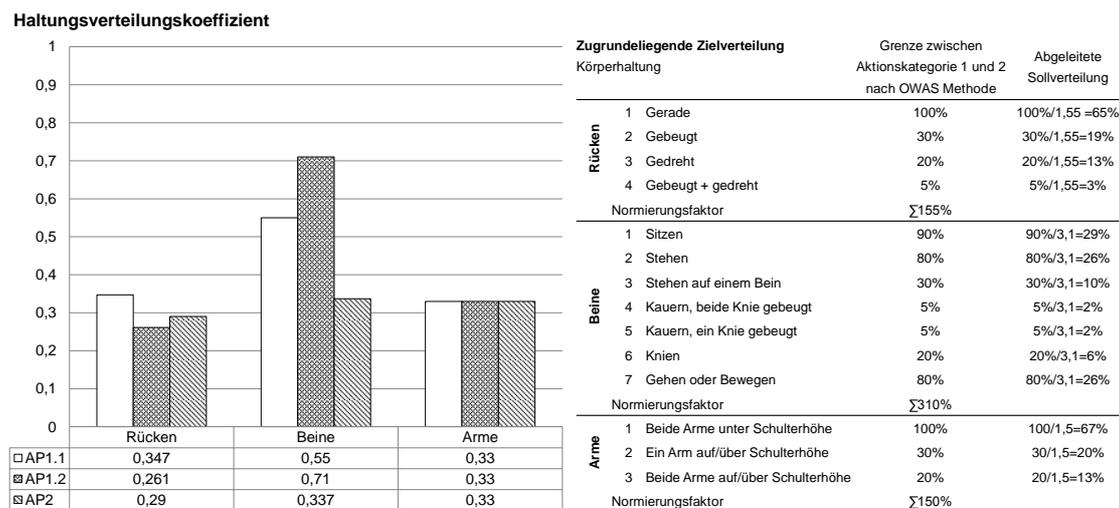


Abbildung 3: Ableitung einer abwechslungsreichen Haltungsverteilung aus der OWAS Methode und Auswertung des Haltungsverteilungskoeffizienten nach (1)

Der Haltungsverteilungskoeffizient zeigt für das Untersuchungsbeispiel ein aussagekräftiges Ergebnis und könnte generell als Kennzahl zur Beschreibung von Belastungsabwechslung hilfreich sein, wobei folgende Einschränkungen zu berücksichtigen sind. Erstens muss die Sollverteilung sinnvoll gewählt werden, da der HVK die Abweichung hiervon bestimmt. Zweitens unterscheidet der HVK nicht hinsichtlich Abfolge und Dauer der eingenommenen Haltungen, sondern berücksichtigt nur die summierten Zeitanteile in einer Haltung. Zur Berücksichtigung dieses Aspektes sind weitere Kennzahlen notwendig, eine Möglichkeit hierfür ist der von uns vorgeschlagene Variationskoeffizient (Kelterborn et al. 2015). Drittens muss berücksichtigt werden, dass die OWAS Methode an sich Anwendungsgrenzen

unterliegt. Sie ermöglicht die Haltung des gesamten Köpers mit geringem Aufwand zu erfassen, ist dafür allerdings relativ grob. Dies gilt insbesondere für die Arme, bei welchen nur zwischen über und unter Schulterhöhe unterschieden wird. Für Logistik-tätigkeiten mit dominanten Ganzkörperbewegungen (z.B. Stehen, Gehen, Bücken, Strecken) ist die Methode gut geeignet. Für Montagebewegungen mit dominanten Hand-Arm Bewegungen kann die OWAS Methode allerdings zu ungenau sein.

Mithilfe des vorgestellten Ansatzes wurde gezeigt, dass es aus ergonomischer Sicht sinnvoll sein kann Vormontage- und Kommissioniertätigkeiten nicht zu trennen. Die verwendete Methodik ist einfach anzuwenden und wäre insofern auch in der industriellen Praxis anwendbar. Allerdings ist hierfür eine weitere Erprobung und Validierung notwendig.

6. Literatur

- Berger H, Caffier G, Schultz K, Trippler D (2009): Bewegungsergonomische Gestaltung von andauernder Steharbeit. Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen.
- Fredriksson K, Bildt C, Hägg G, Kilbom Å (2001) The impact on musculoskeletal disorders of changing physical and psychosocial work environment conditions in the automobile industry. *International Journal of Industrial Ergonomics* 28:31–45.
- Glitsch U (2004) Untersuchung der Belastung von Flugbegleiterinnen und Flugbegleitern beim Schieben und Ziehen von Trolleys in Flugzeugen. Sankt Augustin: BIA (BIA-Report / Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz - BIA, 2004,5).
- Gudehus T C (2009): Entwicklung eines Verfahrens zur ergonomischen Bewertung von Montagetätigkeiten durch Motion-Capturing. Dissertation. Kassel: Kassel Univ. Press.
- Hartmann B, Ellegast R P, Spallek M (2013): Arbeitsbezogene Muskel-Skelett-Erkrankungen. Ursachen, Prävention, Ergonomie, Rehabilitation. Heidelberg, München [u.a.]: Ecomed Medizin
- Kelterborn M, Jeschke V, Meissner S, Intra C, Günthner W A (2015) Elimination of non-value-adding operations and its effects on exposure variation at an order picking workplace. *Contemporary Ergonomics and Human Factors 2015* (In Druck).
- Kelterborn M, Burghart C, Kraul R, Intra C, Günthner W A (2014) Zeitliche und ergonomische Bewertung in der Kommissionierung. *Industrie Management* 30:41-44.
- Karhu O, Kansu P, Kuorinka I (1977) Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics* 8:199–201.
- Mathiassen S E (2006) Diversity and variation in biomechanical exposure: What is it, and why would we like to know? *Applied Ergonomics* 37:419–427.
- Mathiassen S E, Winkel J (1991) Quantifying variation in physical load using exposure-vs-time data. *Ergonomics* 34:1455–1468.
- Moreau M (2003) Corporate ergonomics programme at automobiles Peugeot-Sochaux. *Applied Ergonomics* 34:29–34.
- Ólafsdóttir H, Rafnsson V (1998) Increase in musculoskeletal symptoms of upper limbs among women after introduction of the flow-line in fish-fillet plants. *International Journal of Industrial Ergonomics* 2:69–77.
- Sämann W (1970) Charakteristische Merkmale und Auswirkungen ungünstiger Arbeitshaltungen. Band 17 von *Arbeitswissenschaft und Praxis*: Beuth.
- Silverstein B A, Fine L J, Armstrong T J (1986): Hand wrist cumulative trauma disorders in industry. In: *Occupational and Environmental Medicine* 43:779–784.
- Sundelin G (1993) Patterns of electromyographic shoulder muscle fatigue during MTM-paced repetitive arm work with and without pauses. *International archives of occupational and environmental health*, 64: 485-493.
- Visser B, van Dieën, Jaap H (2006) Pathophysiology of upper extremity muscle disorders. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 16:1–16.
- Waters TR, Lu M-L, Occhipinti E (2007) New procedure for assessing sequential manual lifting jobs using the revised NIOSH lifting equation. *Ergonomics* 50:1761–1770.
- Wells R, Mathiassen S E, Medbo L, Winkel J (2007) Time—A key issue for musculoskeletal health and manufacturing. *Applied Ergonomics* 38:733–744.