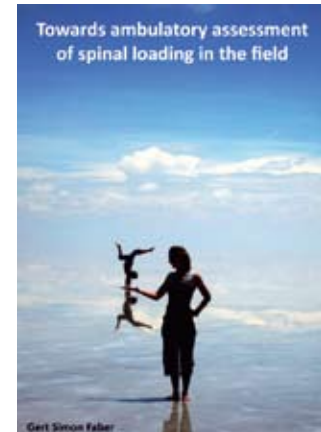


Op weg naar het ambulant meten van rugbelasting op de werkplek

In dit artikel wordt een samenvatting gegeven van het proefschrift dat Gert Faber op 25 juni 2010 zal verdedigen aan de Vrije Universiteit Amsterdam. Het belangrijkste doel van het proefschrift was het onderzoek naar rugbelasting tijdens zwaar werk een stap dichterbij de praktijk te brengen.

G.S. Faber, Idsart Kingma en J.H van Dieën



Informatie over de auteurs:

Alle auteurs zijn werkzaam bij het Onderzoeksinstituut MOVE aan de Faculteit der Bewegingswetenschappen van de Vrije Universiteit in Amsterdam.

Drs. Gert Faber is werkzaam als promovendus en wordt in zijn promotietraject begeleid door dr. Idsart Kingma en prof. dr. Jaap H. van Dieën. Op 25 juni 2010 zal hij zijn proefschrift verdedigen. <http://www.move.vu.nl/members/gert-faber/>

Dr. Idsart Kingma is werkzaam als universitair hoofddocent in de onderzoeksgroep van prof.dr. Jaap van Dieën. <http://www.move.vu.nl/members/idsart-kingma/>

Prof.dr. Jaap van Dieën is werkzaam als hoogleraar biomechanica. In zijn onderzoeksgroep worden de mechanische aspecten van aandoeningen en letsels van het bewegingsapparaat bestudeerd vanuit een klinisch en preventief (ergonomisch) perspectief. <http://www.move.vu.nl/members/jaap-van-dieen/>

Correspondentieadres:

Dr. Idsart Kingma
Vrije Universiteit van Amsterdam
Van der Boechorststraat 9
1081 BT Amsterdam
+31 20 59 88492

Achtergrond

Om werkgerelateerde rugklachten te voorkomen, zijn veel ergonomische interventies bedacht om de rugbelasting tijdens werk te reduceren. Het effect van deze ergonomische interventies is veelal getest in een laboratoriumsetting. Het is echter de vraag of de uitkomsten van deze studies generaliseerbaar zijn naar de praktijksituatie. In het eerste deel van het proefschrift werd geconcludeerd dat de resultaten uit typische laboratoriumstudies niet zonder meer generaliseerbaar zijn naar de praktijk. Het is voor de ergonoom daarom van belang de effecten van toegepaste ergonomische interventies zelf in de praktijk te testen. De huidige technieken voor het meten van rugbelasting in de praktijk hebben nog veel beperkingen, die het in de praktijk toepassen belemmeren. In het laatste deel van het proefschrift zijn nieuwe meettechnieken onderzocht waarmee de ergonoom in de toekomst op een eenvoudiger manier het effect van ergonomische interventies op de rugbelasting kan onderzoeken.

Inleiding

Uit de literatuur is bekend dat pijn in de lage rug nog steeds een belangrijk medisch en economisch probleem is in de westerse samenleving (Dagenais e.a., 2008). Tevens weten we dat het uitvoeren van zwaar werk, zoals het frequent handmatig tillen van zware objecten, een belangrijke oorzaak is voor het

ontstaan van deze pijnklachten (Hoogendoorn e.a., 1999; Kuiper e.a., 1999; Lötters e.a., 2003). Dit is waarschijnlijk het geval omdat handmatig tillen, in vergelijking met andere taken, tot een relatief hoge mechanische belasting van de wervelkolom kan leiden (de Looze e.a., 1995; Schibye e.a., 2001; Wilke e.a., 1999). Om deze reden is het handmatig tillen van lasten veelvuldig bestudeerd in de literatuur, bijvoorbeeld om te onderzoeken wat het effect is van ergonomische interventies op de rugbelasting.

De in de literatuur bestudeerde ergonomische interventies met betrekking tot het handmatig tillen van lasten zijn in te delen in drie groepen (voor een overzicht van deze studies wordt verwezen naar: Faber, 2010; van Dieën & van der Beek, 2009):

- initiële positie van het te tillen object (hoogte en horizontale afstand tot de rug);
- de eigenschappen van het te tillen object (tilgewicht, objectgrootte, aanwezigheid van handvaten en onverwacht licht/zwaar gewicht);
- gebruikte strategie bij het tillen (tilhouding, kantelen van de last, één- vs. tweehandig tillen, teamtillen, symmetrie van de tilhandeling en tilsnelheid).

De meest directe maat voor rugbelasting is de intradisciale druk, maar omdat voor het meten hiervan een drukgevoelige naald in de tussenwervelschijf gestoken moet worden, is in de meeste studies gebruik gemaakt van biomechanische modellen om een schatting te krijgen van de rugbelasting (spinale krachten of momenten). Deze biomechanische modellen vereisen meting van lichaambewegingen met een bewegingregistratiesysteem en meting van externe krachten met krachtenplatforms of met krachtstransducers. Omdat toepassen van deze meetmethoden 'in het veld' erg moeilijk is, zijn de meeste studies uitgevoerd in het laboratorium.

In het promotieproject waar de eerste auteur van dit artikel de afgelopen ruim vier jaar aan heeft gewerkt, was het belangrijkste doel om dit soort studies een stap dichterbij de praktijk te brengen. In dit artikel wordt een samenvatting gegeven van de bevindingen die uit dit promotieproject zijn voortgekomen. Het proefschrift is in te delen in drie delen. In het eerste deel is onderzocht of typische laboratoriumstudies generaliseerbaar zijn naar de praktijksituatie. Omdat dit niet het geval bleek te zijn, zijn in het tweede deel twee veldstudies uitgevoerd die elk een andere methode gebruikten om de rugbelasting te meten. Vanwege nadelen die kleven aan deze methoden voor het meten in de praktijk is in het derde deel onder-

zocht hoe nieuwe ambulante, meer geautomatiseerde meettechnieken kunnen worden gebruikt voor het meten van rugbelasting op de werkplek.

Generaliseerbaarheid van resultaten uit typische laboratoriumstudies

In de eerste deel van het proefschrift staan twee studies beschreven waarin is onderzocht of resultaten uit typische laboratoriumstudies waarin de effecten van ergonomische interventies op de rugbelasting worden gemeten, generaliseerbaar zijn naar de praktijk.

In de eerste studie (Faber e.a., 2007) werd in het laboratorium het effect van drie ergonomische interventies bij het handmatig tillen van lasten onderzocht: verlaging van tilgewicht, verhogen van de hoogte van het te tillen gewicht en verkleinen van de horizontale afstand tot het te tillen gewicht. In tegenstelling tot de meeste laboratoriumexperimenten, werden de tiltaken uitgevoerd door ervaren bouwvakkers in een nagebootste werksituatie (figuur 1) en waren de bouwvakkers vrij om te tillen zoals ze normaal doen tijdens hun dagelijks werk. De resultaten van dit onderzoek lieten zien dat de bouwvakkers, als reactie op de ergonomische interventies, hun tilstrategie over het algemeen zo aanpasten dat de beoogde effecten van de interventies op de rugbelasting werden verzwakt. De bouwvakkers reikten bijvoorbeeld verder en tilden sneller bij een licht bouwblok dan bij een zwaar bouwblok. Verder werd er, in tegenstelling tot in voorgaande laboratoriumstudies, geen effect op de rugbelasting gevonden van het verkleinen van de horizontale positie van de last bij het tillen van bouwblokken laag bij de grond. Het is onduidelijk of dit verschil in bevindingen tus-



Afbeelding 1. Bouwvakker tilt bouwblokken in nagebootste werksituatie

sen de studies werd veroorzaakt door het verschil in type tiltaak of door het verschil in tilervaring van de proefpersonen.

Om meer inzicht te krijgen in de effecten van het type tiltaak en van de tilervaring op de rugbelasting werd er een tweede studie uitgevoerd (Faber e.a., submitted-a). Proefpersonen zonder professionele tilervaring tilden dozen van de grond vanaf een kleine en een grote initiële horizontale positie voor de voeten. Eerst voerden de proefpersonen deze tiltaken uit zoals in typische laboratoriumexperimenten vaak wordt gedaan: proefpersonen tilden de last op en zetten hem weer terug op dezelfde plek. Na deze typische laboratoriumtiltaak voerden de proefpersonen een meer realistische tiltaak uit, waarbij de last na het optillen getransporteerd werd naar een plek op een paar meter afstand. Vervolgens kregen de proefpersonen een korte training, waarin ze oefenden met verschillende werkmethodes die ze konden gebruiken bij het tillen, bijvoorbeeld schuiven en kantelen van de last. Na deze korte training herhaalden de nu 'ervaren' proefpersonen de meer realistische tiltaak met transport. In overeenstemming met de literatuur werd er voor de typische laboratoriumtiltaak een significant effect van initiële horizontale positie van de last op de rugbelasting gevonden. Tevens werd er, in overeenstemming met de resultaten van het onderzoek in de eerste studie van het proefschrift, geen effect gevonden in de meer realistische taak die werd uitgevoerd na de korte training. Het verdwijnen van het effect van initiële horizontale afstand van de last bleek veroorzaakt te worden door zowel het type tiltaak als door de tilervaring.

Op basis van de uitkomsten van de twee hier beschreven studies werd geconcludeerd dat typische laboratoriumstudies niet zonder meer generaliseerbaar zijn naar de praktijk: de effecten van de ergonomische interventies blijken afhankelijk te zijn van zowel het type tiltaak als de tilervaring.

Huidige methoden voor meting van rugbelasting in het veld

Omdat uit het eerste deel van het proefschrift bleek dat de effecten van typische laboratoriumstudies niet zonder meer generaliseerbaar zijn naar de praktijk, werden er twee veldstudies uitgevoerd, elk gebruikmakend van een andere meetmethode voor het meten van rugbelasting.

In de eerste veldstudie (Faber e.a., 2008) werden metingen verricht in een schip varend op zee. Hierbij werd gebruik gemaakt van meetapparatuur (krachtenplatform en bewegingsregistratiecamera's)



Afbeelding 2. Laboratoriummeetmethoden voor het bepalen van rugbelasting toegepast bij metingen op een schip

die normaal alleen in het laboratorium wordt ingezet (figuur 2). In deze studie werd het effect van scheepsbewegingen op de rugbelasting onderzocht tijdens tiltaken die werden uitgevoerd door ervaren zeelieden. Er werd gevonden dat de bewegingen van het schip voor een kleine maar significante verhoging van de rugbelasting zorgden.

In de tweede veldstudie (van Dieën e.a., in press) werd een veel simpelere methode toegepast voor het meten van rugbelasting in de werksituatie (figuur 3). Dit werd gedaan bij bouwvakkers voor dezelfde taken als de taken die onderzocht zijn in de eerste studie van het proefschrift. Op basis van simpele metingen met een rolmaat werd met behulp van regressievergelijkingen uit de literatuur een schatting gemaakt van de statische rugbelasting. Uitkomsten



Afbeelding 3. Werkplek op de bouw waar metingen met de rolmaat werden uitgevoerd

van deze zogenoemde statische veldmethode werden vergeleken met de uitkomsten van het laboratorium-experiment beschreven in de eerste studie van het proefschrift, waarbij gebruik was gemaakt van een 'state of the art' dynamische analyse van de rugbelasting (dynamische laboratoriummethode). Uitkomsten van de tweede veldstudie gaven aan dat de statische veldmethode een goede methode is voor het meten van de effecten van ergonomische interventies.

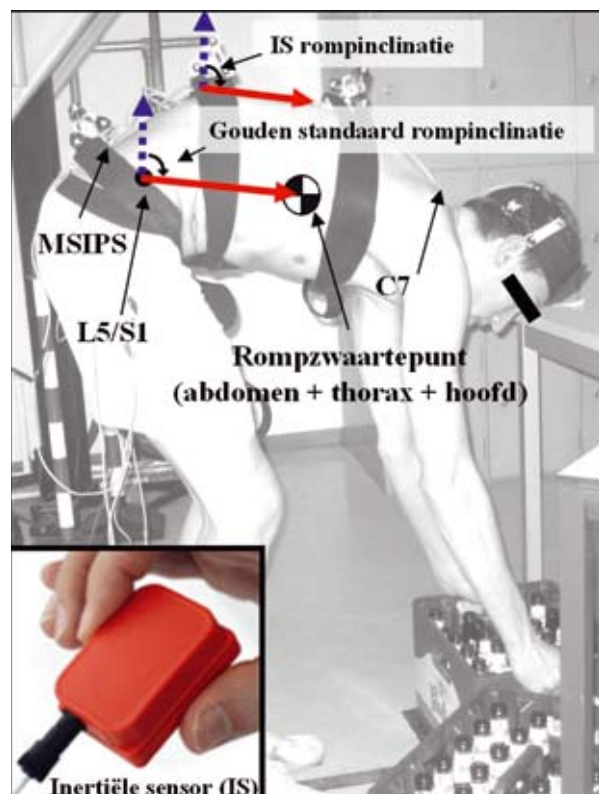
Hoewel beide methoden succesvol werden toegepast in de praktijk, zijn er verschillende belangrijke beperkingen die het op grote schaal in de praktijk toepassen belemmeren. De belangrijkste beperkingen van het gebruik van de laboratoriummeetmethode in de praktijk is dat de proefpersonen nog steeds niet hun normale werk kunnen uitvoeren, omdat de metingen

moeten plaatsvinden op een krachtenplatform in het zicht van de bewegingsregistratiecamera's. De belangrijkste beperking van de statische veldmethode is dat de meetmethode erg arbeidsintensief wordt wanneer metingen moeten worden uitgevoerd over een langere periode.

Toepassing van nieuwe technologieën voor het meten van rugbelasting in het veld

Gezien de beperkingen die aan de eerder beschreven veldmethoden kleven, werd geconcludeerd dat het wenselijk zou zijn om alternatieve meetmethoden te ontwikkelen die de rugbelasting over een lange tijdsperiode geautomatiseerd kunnen meten zonder daarbij het natuurlijke bewegingspatroon te belemmeren. In het derde deel van het proefschrift zijn drie studies beschreven waarin de toepasbaarheid is onderzocht van recent ontwikkelde, op het lichaam draagbare sensoren.

Omdat rompinclinatie (de hoek van de romp met de verticaal) een belangrijke determinant is van de rugbelasting, werd in de eerste studie (Faber e.a., 2009; Faber e.a., 2010) gekeken naar de bruikbaarheid van inertiaële sensoren (IMSen) voor het meten van



Afbeelding 4. Experimentele opstelling waarin de optimale positie van een IMS (= IS) is bepaald voor het meten van rompinclinatie

rompinclinatie. Een IMS (zie linksonder in figuur 4) is een kleine sensor die, zonder externe apparatuur, zijn eigen oriëntatie in de ruimte kan meten met behulp van accelerometers (versnellingsopnemers), gyroscopen (hoeksnelheidsmeters) en magnetometers (sensoren die de richting van het aardmagnetisch veld meten). In deze studie werd onderzocht wat de optimale plaatsingshoogte van IMS op de rug is voor het meten van rompinclinatie. De resultaten van het onderzoek lieten zien dat rompinclinatie goed is te schatten met een enkele IMS en dat de optimale plaatsing voor het meten van de rompinclinatie relatief laag is (figuur 4): op ongeveer 25% van de afstand van het middelpunt tussen spina iliaca posterior superior (MSIPS) tot de zevende cervicale wervel (C7).

In de tweede studie (Faber e.a., submitted-b) werd de bruikbaarheid van krachtschoenen getest voor het ambulant meten van grondreactiekrachten en voor het kwantificeren van resulterende rugbelasting. Bij verschillende taken, waaronder handmatig tillen, werden metingen met de krachtschoenen vergeleken met de metingen van twee krachtenplatforms (figuur 5). Resultaten van deze studie laten zien dat meten met krachtschoenen bij de meeste taken een goed alternatief is voor het meten met krachtenplatforms.

Wanneer krachtschoen en IMS-metingen gecombineerd worden, zou met behulp van de gemeten grondreactiekrachten en de gemeten kinematica van



Afbeelding 5. Validatie-experiment voor het meten van grondreactiekrachten met krachtschoenen. Metingen met krachtschoenen werden vergeleken met de metingen van krachtenplatforms

de benen en van het bekken, een biomechanische 'bottom-up' analyse van de rugbelasting mogelijk zijn. Echter, omdat IMSen alleen segmentoriëntaties meten, moeten de posities van de segmenten ten opzichte van elkaar en ten opzichte van de grondreactiekracht bepaald worden door het aan elkaar koppelen van segmenten in de gewrichten. Hierbij wordt dan uitgegaan van vaste segmentlengtes en van gewrichten waarin geen translatie plaatsvindt. In de laatste studie van het proefschrift (Faber e.a., 2010) zijn de fouten onderzocht die worden gemaakt in een dergelijke bottom-up analyse.

Omdat we in deze studie voornamelijk waren geïnteresseerd in de fouten veroorzaakt door de analysemethode (gebruik van alleen oriëntatie in plaats van oriëntatie + positie) werd voor het meten van de input voor beide analysemethoden gebruik gemaakt van een 'state of the art' meetsysteem. Segmentbewegingen werden gemeten met het Optotrak bewegingsregistratiesysteem en de grondreactiekrachten met een krachtenplatform. De resultaten van deze studie lieten zien dat, zolang de proefpersonen niet te diep door hun knieën buigen, de rugbelasting met een redelijk hoge precisie gemeten kan worden. Wanneer men deze analysemethode op de werkvloer wil toepassen, zullen de segmentbewegingen en grondreactiekrachten gemeten moeten worden met IMSen en krachtschoenen. Vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen of de rugbelasting dan nog steeds met acceptabele precisie kan worden gemeten.

In eerdergenoemde drie studies zijn de eerste stappen gezet om nieuwe technologieën gereed te maken om rugbelasting in de praktijk te kunnen kwantificeren. In de eerste studie is een methode onderzocht waarmee de ergonoom op een eenvoudige manier geautomatiseerd romphouding kan meten op de werkvloer. In de twee laatste studies zijn meer geavanceerde meetmethoden onderzocht, maar voordat deze bruikbaar zijn in de praktijk is vervolgonderzoek noodzakelijk.

Referenties

- Dagenais, S., Caro, J.J. en Haldeman, S. (2008). A systematic review of low back pain cost of illness studies in the United States and internationally. *Value in Health*, 11(3): A160-A161.
- De Looze, M.P., Stassen, A.R.A., Markslag, A.M.T., Borst, M.J., Wooning, M.M. en Toussaint, H.M. (1995). Mechanical Loading on the Low-Back in 3 Methods of Refuse Collecting. *Ergonomics*, 38, 10, 1993-2006.
- Faber, G.S. (2010). Towards ambulatory assessment of spinal loading in the field. Proefschrift, VU University, Amsterdam.
- Faber, G.S., Kingma, I., Bruijn, S.M. en van Dieën, J.H. (2009). Optimal inertial sensor location for ambulatory measurement of trunk inclination. *Journal of Biomechanics* 42, 14, 2406-2409.
- Faber, G.S., Kingma, I., Delleman, N.J. en Van Dieën, J.H. (2008). Effect of ship motion on spinal loading during manual lifting. *Ergonomics*

51, 9: 1426-40.

Faber G.S., Kingma, I. en van Dieën, J.H. (2010). Signaal uit de praktijk: Meten van rompinclinatie op de werkplek met een inertiële sensor. *Tijdschrift voor Ergonomie* 35, 1, 14-17.

Faber, G.S., Kingma, I., Schepers, H.M., Veltink, P.H. en van Dieën, J.H. Determination of 3D L5-S1 moments using instrumented shoes. submitted-b.

Faber, G.S., Kingma, I. en van Dieën, J.H. (2007). The effects of ergonomic interventions on low back moments are attenuated by changes in lifting behaviour. *Ergonomics*, 50, 9, 1377-1391.

Faber G.S., Kingma, I. en van Dieën, J.H. (2010). Bottom-up estimation of joint moments during manual lifting using orientation sensors instead of position sensors. *Journal of Biomechanics*, 43, 7, 1432-6.

Faber G.S., Kingma, I. en van Dieën, J.H. Effects of horizontal transport and familiarization with different working methods on low back loading in manual lifting. submitted-a.

Hoogendoorn, W.E., van Poppel, M.N.M., Bongers, P.M., Koes, B.W. en Bouter, L.M. (1999). Physical load during work and leisure time as risk factors for back pain. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 25, 5, 387-403.

Kuiper, J.I., Burdorf, A., Verbeek, J.H.A.M., Frings-Dresen, M.H.W., van der Beek, A.J. en Viikari-Juntura, E.R.A. (1999). Epidemiologic evidence on manual materials handling as a risk factor for back disorders: a systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 4, 389-404.

Lötters, F., Burdorf, A., Kuiper, J. en Miedema, H. (2003). Model for the work-relatedness of low-back pain. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 29, 6, 431-440.

Schibye, B., Sogaard, K., Martinsen, D. en Klausen, K. (2001). Mechanical load on the low back and shoulders during pushing and pulling of two-wheeled waste containers compared with lifting and carrying of bags and bins. *Clinical Biomechanics* (Bristol, Avon), 16, 7, 549-59.

van Dieën, J.H., Faber, G.S., Loos, R.C.C., Kuijper, P.P.F.M., Kingma, I., van der Molen, H.F. en Frings-Dresen, M.H.W. Validity of estimates of spinal compression forces obtained from worksite measurements. *Ergonomics in press*.

van Dieën, J.H. en van der Beek, A.J. (2009). Work-Related Low-Back Pain: Biomechanical Factors and Primary Prevention. In: S. Kumar (Ed.), *Ergonomics for Rehabilitation Professionals*. Boca Raton, FL: CRC Press. 359-395.

Wilke, H.J., Neef, P., Caimi, M., Hoogland, T. en Claes, L.E. (1999). New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. *Spine* 24, 8, 755-762.