

VU Research Portal

Towards ambulatory assessment of spinal loading in the field

Faber, G.S.

2010

document version

Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link to publication in VU Research Portal](#)

citation for published version (APA)

Faber, G. S. (2010). *Towards ambulatory assessment of spinal loading in the field.*

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

E-mail address:

vuresearchportal.ub@vu.nl

REFERENCES

- Adams MA & Hutton WC. The relevance of torsion to the mechanical derangement of the lumbar spine. *Spine* (1981), 6(3), 241-248.
- Adams MA & Hutton WC. Prolapsed intervertebral-disk: a hyperflexion injury. *Spine* (1982), 7(3), 184-191.
- Adams MA & Hutton WC. Gradual disc prolapse. *Spine* (1985), 10(6), 524-531.
- Adams MA & Hutton WC. Has the lumbar spine a margin of safety in forward bending. *Clinical Biomechanics* (1986), 1(1), 3-6.
- Allread WG, Marras WS & Parnianpour M. Trunk kinematics of one-handed lifting, and the effects of asymmetry and load weight. *Ergonomics* (1996), 39(2), 322-334.
- Andersson GBJ. Epidemiological features of chronic low-back pain. *Lancet* (1999), 354(9178), 581-585.
- Arbouw (2002). A-blad metselen en lijmen [A-document: Bricklaying]. Amsterdam: Arbouw.
- Bakker EWP, Verhagen AP, van Trijffel E, Lucas C & Koes BW. Spinal Mechanical Load as a Risk Factor for Low Back Pain - A Systematic Review of Prospective Cohort Studies. *Spine* (2009), 34(8), E281-E293.
- Bell AL, Pedersen DR & Brand RA. A comparison of the accuracy of several hip center location prediction methods. *Journal of Biomechanics* (1990), 23(6), 617-621.
- Bernard BP (1997). Low-back musculoskeletal disorders: Evidence for work-relatedness. In NIOSH (Ed.), *Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back*. Cincinnati: National Institute for Occupational Safety and Health.
- Bigos SJ, Holland J, Holland C, Webster JS, Battie M & Malmgren JA. High-quality controlled trials on preventing episodes of back problems: systematic literature review in working-age adults. *Spine Journal* (2009), 9(2), 147-168.
- Bogduk N, Johnson G & Spalding D. The morphology and biomechanics of latissimus dorsi. *Clinical Biomechanics* (1998), 13(6), 377-385.

- Bos EH, Krol B, Van der Star A & Groothoff JW. The effects of occupational interventions on reduction of musculoskeletal symptoms in the nursing profession. *Ergonomics* (2006), 49(7), 706-723.
- Bovenzi M & Hulshof CTJ. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986-1997). *International Archives of Occupational and Environmental Health* (1999), 72(6), 351-365.
- Briggs AH, Wonderling DE & Mooney CZ. Pulling cost-effectiveness analysis up by its bootstraps: A non-parametric approach to confidence interval estimation. *Health Economics* (1997), 6(4), 327-340.
- Brinckmann P, Biggemann M & Hilweg D. Fatigue fracture of human lumbar vertebrae. *Clinical Biomechanics* (1988), 3, S1-S28.
- Brinckmann P, Biggemann M & Hilweg D. Prediction of the compressive strength of human lumbar vertebrae. *Spine* (1989), 14(6), 606-610.
- Buseck M, Schipplein OD, Andersson GBJ & Andriacchi TP. Influence of dynamic factors and external loads on the moment at the lumbar spine in lifting. *Spine* (1988), 13(8), 918-921.
- Callaghan JP & McGill SM. Intervertebral disc herniation: studies on a porcine model exposed to highly repetitive flexion/extension motion with compressive force. *Clinical Biomechanics* (2001), 16(1), 28-37.
- Cappozzo A, Catani F, Croce UD & Leardini A. Position and orientation in space of bones during movement, anatomical frame definition and determination. *Clinical Biomechanics* (1995), 10(4), 171-178.
- Chen SM, Liu MF, Cook J, Bass S & Lo SK. Sedentary lifestyle as a risk factor for low back pain: a systematic review. *International Archives of Occupational and Environmental Health* (2009), 82(7), 797-806.
- Choi HJ & Mark LS. Scaling affordances for human reach actions. *Human Movement Science* (2004), 23(6), 785-806.
- Commissaris DACM & Toussaint HM. Load knowledge affects low-back loading and control of balance in lifting tasks. *Ergonomics* (1997), 40(5), 559-575.
- Coventry MB, Ghormley RK & Kernohan JW. The Intervertebral Disc - Its Microscopic Anatomy and Pathology .3. Pathological Changes in the Intervertebral Disc. *Journal of Bone and Joint Surgery* (1945), 27(3), 460-474.

- Cutti AG, Ferrari A, Garofalo P, Raggi M, Cappello A & Ferrari A. 'Outwalk': a protocol for clinical gait analysis based on inertial and magnetic sensors. *Medical & Biological Engineering & Computing* (2010), 48(1), 17-25.
- Dagenais S, Caro JJ & Haldeman S. A systematic review of low back pain cost of illness studies in the United States and internationally. *Value in Health* (2008), 11(3), A160-A161.
- Davis KG & Marras WS. Load spatial pathway and spine loading: how does lift origin and destination influence low back response? *Ergonomics* (2005), 48(8), 1031-1046.
- Davis KG & Marras WS. Assessment of the relationship between box weight and trunk kinematics: Does a reduction in box weight necessarily correspond to a decrease in spinal loading? *Human Factors* (2000), 42(2), 195-208.
- Davis KG, Marras WS & Waters TR. Reduction of spinal loading through the use of handles. *Ergonomics* (1998), 41(8), 1155-1168.
- Dawson AP, McLennan SN, Schiller SD, Jull GA, Hodges PW & Stewart S. Interventions to prevent back pain and back injury in nurses: a systematic review. *Occupational and Environmental Medicine* (2007), 64(10), 642-650.
- de Looze MP, Kingma I, Thunnissen W, van Wijk MJ & Toussaint HM. The evaluation of a practical biomechanical model estimating lumbar moments in occupational activities. *Ergonomics* (1994), 37(9), 1495-1502.
- de Looze MP, Visser B, Houting I, van Rooy MAG, van Dieën JH & Toussaint HM. Weight and frequency effect on spinal loading in a bricklaying task. *Journal of Biomechanics* (1996), 29(11), 1425-1433.
- de Vries WHK, Veeger HEJ, Baten CTM & van der Helm FCT. Magnetic distortion in motion labs, implications for validating inertial magnetic sensors. *Gait & Posture* (2009), 29(4), 535-541.
- deLeva P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *Journal of Biomechanics* (1996), 29(9), 1223-1230.
- Dempsey PG. A survey of lifting and lowering tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics* (2003), 31(1), 11-16.
- Dempsey PG, Burdorf A & Webster BS. The influence of personal variables on work-related low-back disorders and implications for future research. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* (1997), 39(8), 748-759.

- Dennis GJ & Barrett RS. Spinal loads during individual and team lifting. *Ergonomics* (2002), 45(10), 671-681.
- Dolan P, Earley M & Adams MA. Bending and compressive stresses acting on the lumbar spine during lifting activities. *Journal of Biomechanics* (1994), 27(10), 1237-&.
- Dolan P, Kingma I, van Dieën JH, de Looze MP, Toussaint HM, Baten CTM & Adams MA. Dynamic forces acting on the lumbar spine during manual handling - Can they be estimated using electromyographic techniques alone? *Spine* (1999), 24(7), 698-703.
- Drake JDM, Aultman CD, McGill SM & Callaghan JP. The influence of static axial torque in combined loading on intervertebral joint failure mechanics using a porcine model. *Clinical Biomechanics* (2005), 20(10), 1038-1045.
- Elders LAM, van der Beek AJ & Burdorf A. Return to work after sickness absence due to back disorders - A systematic review on intervention strategies. *International Archives of Occupational and Environmental Health* (2000), 73(5), 339-348.
- Faber GS, Kingma I, Bruijn SM & van Dieën JH. Optimal inertial sensor location for ambulatory measurement of trunk inclination. *Journal of Biomechanics* (2009a), 42(14), 2406-2409.
- Faber GS, Kingma I, Delleman NJ & van Dieën JH. Effect of ship motion on spinal loading during manual lifting. *Ergonomics* (2008), 51(9), 1426-1440.
- Faber GS, Kingma I, Hoozemans MJ, van der Molen HF, Kuijer PPFM & van Dieën JH. Changes in lifting behaviour attenuate the effects of ergonomic interventions on low back loading. *International Ergonomics Association conference* (2006), Maastricht, The Netherlands.
- Faber GS, Kingma I, Kuijer PPFM, van der Molen HF, Hoozemans MJM, Frings-Dresen MHW & van Dieën JH. Working height, block mass and one- vs. two-handed block handling: the contribution to low back and shoulder loading during masonry work. *Ergonomics* (2009b), 52(9), 1104-1118.
- Faber GS, Kingma I & van Dieën JH. The effects of ergonomic interventions on low back moments are attenuated by changes in lifting behaviour. *Ergonomics* (2007), 50(9), 1377-1391.
- Farfan HF, Cossette JW, Robertson GH, Wells RV & Kraus H. The effects of torsion on the lumbar intervertebral joints: the role of torsion in the production of

- disc degeneration. *Journal of Bone and Joint Surgery-American Volume* (1970), 52(3), 468-497.
- Fathallah FA, Marras WS & Parnianpour M. The effect of complex dynamic lifting and lowering characteristics on trunk muscles recruitment. *Journal of Occupational Rehabilitation* (1997), 7(3), 121-138.
- Fathallah FA, Marras WS & Parnianpour M. An assessment of complex spinal loads during dynamic lifting tasks. *Spine* (1998), 23(6), 706-716.
- Favre J, Aissaoui R, Jolles BM, de Guise JA & Aminian K. Functional calibration procedure for 3D knee joint angle description using inertial sensors. *Journal of Biomechanics* (2009), 42(14), 2330-2335.
- Ferguson SA, Gaudes-MacLaren LL, Marras WS, Waters TR & Davis KG. Spinal loading when lifting from industrial storage bins. *Ergonomics* (2002), 45(6), 399-414.
- Ferguson SA & Marras WS. A literature review of low back disorder surveillance measures and risk factors. *Clinical Biomechanics* (1997), 12(4), 211-226.
- Ferguson SA, Marras WS & Waters TR. Quantification of back motion during asymmetric lifting. *Ergonomics* (1992), 35(7-8), 845-859.
- Freitag S, Ellegast R, Dulon M & Nienhaus A. Quantitative measurement of stressful trunk postures in nursing professions. *Annals of Occupational Hygiene* (2007), 51(4), 385-395.
- Gagnon M. Box tilt and knee motions in manual lifting: two differential factors in expert and novice workers. *Clinical Biomechanics* (1997), 12(7-8), 419-428.
- Gagnon M. The efficacy of training for three manual handling strategies based on the observation of expert and novice workers. *Clinical Biomechanics* (2003), 18(7), 601-611.
- Gagnon M. Ergonomic identification and biomechanical evaluation of workers' strategies and their validation in a training situation: Summary of research. *Clinical Biomechanics* (2005), 20(6), 569-580.
- Gagnon M, Delisle A & Desjardins P. Biomechanical differences between best and worst performances in repeated free asymmetrical lifts. *International Journal of Industrial Ergonomics* (2002), 29(2), 73-83.
- Gagnon M, Larrive A & Desjardins P. Strategies of load tilts and shoulders positioning in asymmetrical lifting. A concomitant evaluation of the reference systems of axes. *Clinical Biomechanics* (2000), 15(7), 478-488.

- Garg A & Herrin GD. Stoop or squat, a biomechanical and metabolic evaluation. *AIE Transactions* (1979), 11(4), 293-302.
- Garling EH, Kaptein BL, Mertens B, Barendregt W, Veeger HEJ, Nelissen RGHH & Valstar ER. Soft-tissue artefact assessment during step-up using fluoroscopy and skin-mounted markers. *Journal of Biomechanics* (2007), 40, S18-S24.
- Glitsch U, Ottersbach HJ, Ellegast R, Schaub K, Franz G & Jager M. Physical workload of flight attendants when pushing and pulling trolleys aboard aircraft. *International Journal of Industrial Ergonomics* (2007), 37(11-12), 845-854.
- Goetzel RZ, Hawkins K, Ozminkowski RJ & Wang SH. The health and productivity cost burden of the "top 10" physical and mental health conditions affecting six large US employers in 1999. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* (2003), 45(1), 5-14.
- Goldberg MS, Scott SC & Mayo NE. A review of the association between cigarette smoking and the development of nonspecific back pain and related outcomes. *Spine* (2000), 25(8), 995-1014.
- Gordon SJ, Yang KH, Mayer PJ, Mace AH, Jr., Kish VL & Radin EL. Mechanism of disc rupture. A preliminary report. *Spine* (1991), 16(4), 450-456.
- Granata KP & Marras WS. Relation between spinal load factors and the high-risk probability of occupational low-back disorders. *Ergonomics* (1999), 42(9), 1187-1199.
- Granata KP & Marras WS. Cost-benefit of muscle cocontraction in protecting against spinal instability. *Spine* (2000), 25(11), 1398-1404.
- Grubb SA, Lipscomb HJ & Guilford WB. The relative value of lumbar roentgenograms, metrizamide myelography, and discography in the assessment of patients with chronic low-back syndrome. *Spine* (1987), 12(3), 282-286.
- Hamberg-van Reenen HH, Ariens GAM, Blatter BM, van Mechelen W & Bongers PM. A systematic review of the relation between physical capacity and future low back and neck/shoulder pain. *Pain* (2007), 130(1-2), 93-107.
- Hansson TH, Roos B & Nachemson A. The bone-mineral content and ultimate compressive strength of lumbar vertebrae. *Spine* (1980), 5(1), 46-55.

- Hansson TH, Keller TS & Spengler DM. Mechanical-behavior of the human lumbar spine .2. Fatigue-strength during dynamic compressive loading. *Journal of Orthopaedic Research* (1987), 5(4), 479-487.
- Hartvigsen J, Lings S, Leboeuf-Yde C & Bakketeig L. Psychosocial factors at work in relation to low back pain and consequences of low back pain; a systematic, critical review of prospective cohort studies. *Occupational and Environmental Medicine* (2004), 61(1), -.
- Hildebrandt VH. Back Pain in the Working Population - Prevalence Rates in Dutch Trades and Professions. *Ergonomics* (1995), 38(6), 1283-1298.
- Hilton RC, Ball J & Benn RT. Vertebral end-plate lesions (Schmorl's nodes) in the dorsolumbar spine. *Annals of the Rheumatic Diseases* (1976), 35(2), 127-132.
- Hof AL. An explicit expression for the moment in multibody systems. *Journal of Biomechanics* (1992), 25(10), 1209-1211.
- Holmström E & Engholm G. Musculoskeletal disorders in relation to age and occupation in Swedish construction workers. *American Journal of Industrial Medicine* (2003), 44(4), 377-384.
- Hoogendoorn WE, Bongers PM, de Vet HCW, Douwes M, Koes BW, Miedema MC, Ariens GAM & Bouter LM. Flexion and rotation of the trunk and lifting at work are risk factors for low back pain - Results of a prospective cohort study. *Spine* (2000a), 25(23), 3087-3092.
- Hoogendoorn WE, van Poppel MNM, Bongers PM, Koes BW & Bouter LM. Physical load during work and leisure time as risk factors for back pain. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health* (1999), 25(5), 387-403.
- Hoogendoorn WE, van Poppel MNM, Bongers PM, Koes BW & Bouter LM. Systematic review of psychosocial factors at work and private life as risk factors for back pain. *Spine* (2000b), 25(16), 2114-2125.
- Hoozemans MJM, Kingma I, de Vries WHK & van Dieën JH. Effect of lifting height and load mass on low back loading. *Ergonomics* (2008), 51(7), 1053 - 1063.
- Jäger M, Luttmann A & Laurig W. Lumbar load during one-handed bricklaying. *International Journal of Industrial Ergonomics* (1991), 8(3), 261-277.
- Keppel G (1991). Design and analysis: A researcher's handbook (3 ed.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall.

- Kerr MS, Frank JW, Shannon HS, Norman RWK, Wells RP, Neumann WP, Bombardier C & Grp OUBPS. Biomechanical and psychosocial risk factors for low back pain at work. *American Journal of Public Health* (2001), 91(7), 1069-1075.
- Kingma I, Bosch T, Bruins L & van Dieën JH. Foot positioning instruction, initial vertical load position and lifting technique: effects on low back loading. *Ergonomics* (2004), 47(13), 1365-1385.
- Kingma I, de Looze MP, Toussaint HM, Klijnsma HG & Bruijnen TBM. Validation of a full body 3-D dynamic linked segment model. *Human Movement Science* (1996), 15(6), 833-860.
- Kingma I, Delleman NJ & van Dieën JH. The effect of ship accelerations on three-dimensional low back loading during lifting and pulling activities. *International Journal of Industrial Ergonomics* (2003), 32(1), 51-63.
- Kingma I, Faber GS, Bakker AJM & van Dieën JH. Can low back loading during lifting be reduced by placing one leg beside the object to be lifted? *Physical Therapy* (2006), 86(8), 1091-1105.
- Kingma I & van Dieën JH. Lifting over an obstacle: effects of one-handed lifting and hand support on trunk kinematics and low back loading. *Journal of Biomechanics* (2004), 37(2), 249-255.
- Kingma I, van Dieën JH, de Looze M, Toussaint HM, Dolan P & Baten CTM. Asymmetric low back loading in asymmetric lifting movements is not prevented by pelvic twist. *Journal of Biomechanics* (1998), 31(6), 527-534.
- Koes BW, van Tulder MW & Thomas S. Diagnosis and treatment of low back pain. *British Medical Journal* (2006), 332(7555), 1430-1434A.
- Kuijer PPFM, Hoozemans MJM, Kingma I, van Dieën JH, De Vries WHK, Veeger DJ, Van der Beek AJ, Visser B & Frings-Dresen MHW. Effect of a redesigned two-wheeled container for refuse collecting on mechanical loading of low back and shoulders. *Ergonomics* (2003), 46(6), 543-560.
- Kuiper JI, Burdorf A, Frings-Dresen MH, Kuijer PPFM, Spreeuwiers D, Lötters FJ & Miedema HS. Assessing the work-relatedness of nonspecific low-back pain. *Scandinavian journal of work, environment & health*. (2005), 31(3), 237-243.
- Kuiper JI, Burdorf A, Verbeek JHAM, Frings-Dresen MHW, van der Beek AJ & Viikari-Juntura ERA. Epidemiologic evidence on manual materials handling

- as a risk factor for back disorders: a systematic review. *International Journal of Industrial Ergonomics* (1999), 24(4), 389-404.
- Kuslich SD, Ulstrom CL & Michael CJ. The tissue origin of low back pain and sciatica: a report of pain response to tissue stimulation during operations on the lumbar spine using local anesthesia. *Orthopaedic Clinics of North America* (1991), 22(2), 181-187.
- Lavender SA, Andersson GBJ, Schipplein OD & Fuentes HJ. The effects of initial lifting height, load magnitude, and lifting speed on the peak dynamic L5/S1 moments. *International Journal of Industrial Ergonomics* (2003), 31(1), 51-59.
- Lavender SA, Li YC, Andersson GBJ & Natarajan RN. The effects of lifting speed on the peak external forward bending, lateral bending, and twisting spine moments. *Ergonomics* (1999), 42(1), 111-125.
- Leardini A, Cappozzo A, Catani F, Toksvig-Larsen S, Petitto A, Sforza V, Cassanelli G & Giannini S. Validation of a functional method for the estimation of hip joint centre location. *Journal of Biomechanics* (1999), 32(1), 99-103.
- Leardini A, Chiari L, Della Croce U & Cappozzo A. Human movement analysis using stereophotogrammetry - Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation. *Gait & Posture* (2005), 21(2), 212-225.
- Leboeuf-Yde C. Back pain - individual and genetic factors. *Journal of Electromyography and Kinesiology* (2004), 14(1), 129-133.
- Leskinen TPJ. Comparison of static and dynamic biomechanical models. *Ergonomics* (1985), 28(1), 285-291.
- Li GY & Buckle P. Current techniques for assessing physical exposure to work-related musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. *Ergonomics* (1999), 42(5), 674-695.
- Liang KY & Zeger SL. Regression analysis for correlated data. *Annual Review of Public Health* (1993), 14, 43-68.
- Liedtke C, Fokkenrood SAW, Menger JT, van der Kooij H & Veltink PH. Evaluation of instrumented shoes for ambulatory assessment of ground reaction forces. *Gait & Posture* (2007), 26(1), 39-47.
- Lindbeck L. Dynamic, semidynamic and static analyses of heavy lifting: Three approaches applied to sack handling. *Clinical Biomechanics* (1995), 10(8), 407-412.

- Lipscomb HJ, Loomis D, McDonald MA, Kucera K, Marshall S & Li LM. Musculoskeletal symptoms among commercial fishers in North Carolina. *Applied Ergonomics* (2004), 35(5), 417-426.
- Lis AM, Black KM, Korn H & Nordin M. Association between sitting and occupational LBP. *European Spine Journal* (2007), 16(2), 283-298.
- Liu YK, Goel VK, Dejong A, Njus G, Nishiyama K & Buckwalter J. Torsional fatigue of the lumbar intervertebral joints. *Spine* (1985), 10(10), 894-900.
- Liu YK, Njus G, Buckwalter J & Wakano K. Fatigue response of lumbar intervertebral joints under axial cyclic loading. *Spine* (1983), 8(8), 857-865.
- Lötters F & Burdorf A. Are changes in mechanical exposure and musculoskeletal health good performance indicators for primary interventions? *International Archives of Occupational and Environmental Health* (2002), 75(8), 549-561.
- Lötters F, Burdorf A, Kuiper J & Miedema H. Model for the work-relatedness of low-back pain. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health* (2003), 29(6), 431-440.
- Luinge HJ & Veltink PH. Measuring orientation of human body segments using miniature gyroscopes and accelerometers. *Medical and Biological Engineering and Computing* (2005), 43(2), 273-282.
- Macfarlane GJ, Pallewatte N, Paudyal P, Blyth FM, Coggon D, Crombez G, Linton S, Leino-Arjas P, Silman AJ, Smeets RJ & van der Windt D. Evaluation of work-related psychosocial factors and regional musculoskeletal pain: results from a EULAR Task Force. *Annals of the Rheumatic Diseases* (2009), 68(6), 885-891.
- Maetzel A & Li L. The economic burden of low back pain: a review of studies published between 1996 and 2001. *Best Practice & Research in Clinical Rheumatology* (2002), 16(1), 23-30.
- Malmivaara A, Videman T, Kuosma E & Troup JD. Plain radiographic, discographic, and direct observations of Schmorl's nodes in the thoracolumbar junctional region of the cadaveric spine. *Spine* (1987), 12(5), 453-457.
- Manchikanti L, Singh V, Pampati V, Damron K, Barnhill R, Beyer C & Cash K. (2001). Evaluation of the relative contributions of various structures in chronic low back pain. *Pain Physician* (2001), 4(4), 308-316.

- Manek NJ & MacGregor AJ. Epidemiology of back disorders: prevalence, risk factors, and prognosis. *Current Opinion in Rheumatology* (2005), 17(2), 134-140.
- Marras WS & Davis KG. Spine loading during asymmetric lifting using one versus two hands. *Ergonomics* (1998), 41(6), 817-834.
- Marras WS, Davis KG, Kirking BC & Granata KP. Spine loading and trunk kinematics during team lifting. *Ergonomics* (1999a), 42(10), 1258-1273.
- Marras WS, Granata KP, Davis KG, Allread WG & Jorgensen MJ. Spine loading and probability of low back disorder risk as a function of box location on a pallet. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing* (1997), 7(4), 323-336.
- Marras WS, Granata KP, Davis KG, Allread WG & Jorgensen MJ. Effects of box features on spine loading during warehouse order selecting. *Ergonomics* (1999b), 42(7), 980-996.
- Marras WS, Lavender SA, Ferguson SA, Splittstoesser RE, Yang G & Schabo P. Instrumentation for measuring dynamic spinal load moment exposures in the workplace. *Journal of Electromyography and Kinesiology* (2010), 20(1), 1-9.
- Martimo KP, Verbeek J, Karppinen J, Furlan AD, Takala EP, Kuijer PPFM, Jauhiainen M & Viikari-Juntura E. Effect of training and lifting equipment for preventing back pain in lifting and handling: systematic review. *British Medical Journal* (2008), 336(7641), 429-431.
- Matthews JD, MacKinnon SN, Albert WJ, Holmes M & Patterson A. Effects of moving environments on the physical demands of heavy materials handling operators. *International Journal of Industrial Ergonomics* (2007), 37(1), 43-50.
- McConville JT & Churchill TD. (1980). *Anthropometric relationships of body and body segment moments of inertia* (No. AFAMRL-TR-80-119): Air force aerospace medical research laboratory, Ohio.
- McGill SM. A revised anatomical model of the abdominal musculature for torso flexion efforts. *Journal of Biomechanics* (1996), 29(7), 973-977.
- McGill SM & Norman RW. Dynamically and statically determined low back moments during lifting. *Journal of Biomechanics* (1985), 18(12), 877-885.

- McGill SM, Norman RW & Cholewicki J. A simple polynomial that predicts low-back compression during complex 3-D tasks. *Ergonomics* (1996), 39(9), 1107-1118.
- McNally DS, Shackelford IM, Goodship AE & Mulholland RC. In vivo stress measurement can predict pain on discography. *Spine* (1996), 21(22), 2580-2587.
- Nachemson A & Elfstrom G. Intravital dynamic pressure measurements in lumbar discs. A study of common movements, maneuvers and exercises. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine Supplement* (1970), 1, 1-40.
- Nachemson A & Morris J. Lumbar Discometry - Lumbar Intradiscal Pressure Measurements in Vivo. *Lancet* (1963), 1(729), 1140-&.
- Norman R, Wells R, Neumann P, Frank J, Shannon H & Kerr M. A comparison of peak vs cumulative physical work exposure risk factors for the reporting of low back pain in the automotive industry. *Clinical Biomechanics* (1998), 13(8), 561-573.
- Nussbaum MA, Chaffin DB & Baker G. Biomechanical analysis of materials handling manipulators in short distance transfers of moderate mass objects: joint strength, spine forces and muscular antagonism. *Ergonomics* (1999), 42(12), 1597-1618.
- O'Donovan KJ, Kamnik R, O'Keeffe DT & Lyons GM. An inertial and magnetic sensor based technique for joint angle measurement. *Journal of Biomechanics* (2007), 40(12), 2604-2611.
- Parkinson RJ & Callaghan JP. Can periods of static loading be used to enhance the resistance of the spine to cumulative compression? *Journal of Biomechanics* (2007), 40(13), 2944-2952.
- Picavet HSJ & Schouten JSAG. Musculoskeletal pain in the Netherlands: prevalences, consequences and risk groups, the DMC3-study. *Pain* (2003), 102(1-2), 167-178.
- Picerno P, Cereatti A & Cappozzo A. Joint kinematics estimate using wearable inertial and magnetic sensing modules. *Gait & Posture* (2008), 28(4), 588-595.
- Plagenhoef S, Evans FG & Abdelnour T. Anatomical Data for Analyzing Human Motion. *Research Quarterly for Exercise and Sport* (1983), 54(2), 169-178.

- Plamondon A, Delisle A, Larue C, Brouillette D, McFadden D, Desjardins P & Lariviere C. Evaluation of a hybrid system for three-dimensional measurement of trunk posture in motion. *Applied Ergonomics* (2007), 38(6), 697-712.
- Plamondon A, Gagnon M & Desjardins P. Validation of two 3-D segment models to calculate the net reaction forces and moments at the L(5)/S-1 joint in lifting. *Clinical Biomechanics* (1996), 11(2), 101-110.
- Plamondon A, Gagnon M & Gravel D. Moments at the L5/S1 joint during asymmetrical lifting: effects of different load trajectories and initial load positions. *Clinical Biomechanics* (1995), 10(3), 128-136.
- Potvin JR. Use of NIOSH equation inputs to calculate lumbosacral compression forces. *Ergonomics* (1997), 40(7), 691-707.
- Potvin JR, Norman RW, Eckenrath ME, McGill SM & Bennett GW. Regression-models for the prediction of dynamic L4/L5 compression forces during lifting. *Ergonomics* (1992), 35(2), 187-201.
- Potvin JR, Norman RW & McGill SM. Mechanically corrected EMG for the continuous estimation of erector spinae muscle loading during repetitive lifting. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* (1996), 74(1-2), 119-132.
- Punnett L, Fine LJ, Keyserling WM, Herrin GD & Chaffin DB. Back disorders and nonneutral trunk postures of automobile assembly workers. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health* (1991), 17(5), 337-346.
- Reynolds HM, Snow CC & Young JW (1982). Spatial geometry of the human pelvis. Oklahoma City: Technical report, FFA civil aeromedical institute.
- Rivilis I, Van Eerd D, Cullen K, Cole DC, Irvin E, Tyson J & Mahood Q. Effectiveness of participatory ergonomic interventions on health outcomes: A systematic review. *Applied Ergonomics* (2008), 39(3), 342-358.
- Roetenberg D, Luinge HJ, Baten CTM & Veltink PH. Compensation of magnetic disturbances improves inertial and magnetic sensing of human body segment orientation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* (2005), 13(3), 395-405.
- Roetenberg D, Slycke PJ & Veltink PH. Ambulatory position and orientation tracking fusing magnetic and inertial sensing. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* (2007), 54(5), 883-890.

- Roffey DM, Wai EK, Bishop P, Kwon BK & Dagenais S. Causal assessment of awkward occupational postures and low back pain: results of a systematic review. *Spine Journal* (2010), 10 (1), 89-99.
- Roffey DM, Wai EK, Bishop P, Kwon BK & Dagenais S. Causal assessment of occupational sitting and low back pain: results of a systematic review. *Spine Journal* (2010), 10(3), 252-261.
- Schepers HM, Koopman HFJM & Veltink PH. Ambulatory assessment of ankle and foot dynamics. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* (2007), 54(5), 895-902.
- Schepers HM, Roetenberg D & Veltink PH. Ambulatory human motion tracking by fusion of inertial and magnetic sensing with adaptive actuation. *Medical & Biological Engineering & Computing* (2010), 48(1), 27-37.
- Schepers HM, van Asseldonk EHF, Buurke JH & Veltink PH. Ambulatory Estimation of Center of Mass Displacement During Walking. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* (2009), 56(4), 1189-1195.
- Schipplein OD, Reinsel TE, Andersson GBJ & Lavender SA. The influence of initial horizontal weight placement on the loads at the lumbar spine while lifting. *Spine* (1995), 20(17), 1895-1898.
- Schipplein OD, Trafimow JH, Andersson GBJ & Andriacchi TP. Relationship between moments at the L5-S1 level, hip and knee-joint when lifting. *Journal of Biomechanics* (1990), 23(9), 907-912.
- Schwarzer AC, Aprill CN, Derby R, Fortin J, Kine G & Bogduk N. The prevalence and clinical features of internal disc disruption in patients with chronic low back pain. *Spine* (1995), 20(17), 1878-1883.
- Seo A, Kakehashi M, Tsuru S & Yoshinaga F. Estimation of trunk inclination by means of an inclinometer. *Journal of Occupational Health* (1997), 39(1), 51-56.
- Stokes IA & Gardner-Morse M. Lumbar spine maximum efforts and muscle recruitment patterns predicted by a model with multijoint muscles and joints with stiffness. *Journal of Biomechanics* (1995), 28(2), 173-186.
- Taloni S, Cassavia GC, Ciavarro GL, Andreoni G, Santambrogio GC & Pedotti A. An index for back pain risk assessment in nursery activities. *Occupational Ergonomics* (2004), 4(4), 281-290.

- Törner M, Almstrom C, Karlsson R & Kadefors R. Working on a Moving Surface - a Biomechanical Analysis of Musculoskeletal Load Due to Ship Motions in Combination with Work. *Ergonomics* (1994), 37(2), 345-362.
- Törner M, Blide G, Eriksson H, Kadefors R, Karlsson R & Petersen I. Musculoskeletal Symptoms as Related to Working-Conditions among Swedish Professional Fishermen. *Applied Ergonomics* (1988), 19(3), 191-201.
- Tsuang YH, Schipplein OD, Trafimow JH & Andersson GBJ. Influence of body segment dynamics on loads at the lumbar spine during lifting. *Ergonomics* (1992), 35(4), 437-444.
- van den Bogert AJ, Reinschmidt C & Lundberg A. Helical axes of skeletal knee joint motion during running. *Journal of biomechanics* (2008), 41(8), 1632-1638.
- van der Beek AJ & Frings-Dresen MH. Assessment of mechanical exposure in ergonomic epidemiology. *Occupational and Environmental Medicine* (1998), 55(5), 291-299.
- van der Burg JCE, van Dieën JH & Toussaint HM. Lifting an unexpectedly heavy object: the effects on low-back loading and balance loss. *Clinical Biomechanics* (2000), 15(7), 469-477.
- van der Molen HF, Kuijer PPFM, Hopmans PP, Houweling AG, Faber GS, Hoozemans MJ & Frings-Dresen MH. Effect of block weight on work demands and physical workload during masonry work. *Ergonomics* (2008), 51(3), 355-366.
- van der Molen HF, Sluiter JK, Hulshof CTJ, Vink P & Frings-Dresen MHW. Effectiveness of measures and implementation strategies in reducing physical work demands due to manual handling at work. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health* (2005), 31, 75-87.
- van Dieën JH. Are recruitment patterns of the trunk musculature compatible with a synergy based on the maximization of endurance? *Journal of Biomechanics* (1997), 30(11-12), 1095-1100.
- van Dieën JH, Hoozemans MJ & Toussaint HM. Stoop or squat: a review of biomechanical studies on lifting technique. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)* (1999a), 14(10), 685-696.
- van Dieën JH, Hoozemans MJM, van der Beek AJ & Mullender M. Precision of estimates of mean and peak spinal loads in lifting. *Journal of Biomechanics* (2002), 35(7), 979-982.

- van Dieën JH & Kingma I. Total trunk muscle force and spinal compression are lower in asymmetric moments as compared to pure extension moments. *Journal of Biomechanics* (1999a), 32(7), 681-687.
- van Dieën JH & Kingma I. Total trunk muscle force and spinal compression are lower in asymmetric moments as compared to pure extension moments. *Journal of Biomechanics* (1999b), 32(7), 681-687.
- van Dieën JH & Kingma I. Effects of antagonistic co-contraction on differences between electromyography based and optimization based estimates of spinal forces. *Ergonomics* (2005), 48(4), 411-426.
- van Dieën JH & Toussaint HM. Evaluation of the probability of spinal damage caused by sustained cyclic compression. *Human Factors* (1997), 39(3), 469-480.
- van Dieën JH, Weinans H & Toussaint HM. Fractures of the lumbar vertebral endplate in the etiology of low back pain: a hypothesis on the causative role of spinal compression in aspecific low back pain. *Medical Hypotheses* (1999b), 53(3), 246-252.
- van Oostrom SH, Driessen MT, de Vet HCW, Franche RL, Schonstein E, Loisel P, van Mechelen W & Anema JR. Workplace interventions for preventing work disability. *Cochrane Database of Systematic Reviews* (2009)(2), -.
- van Tulder MW, Koes BW & Bouter LM. A Cost-of-Illness Study of Back Pain in the Netherlands. *Pain* (1995), 62(2), 233-240.
- van Zandwijk JP (1998). *The dynamics of muscle force development. An experimental and simulation study of the behaviour of human skeletal muscles*. Unpublished PhD thesis, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Vanharanta H, Sachs BL, Spivey MA, Guyer RD, Hochschuler SH, Rashbaum RF, Johnson RG, Ohnmeiss D & Mooney V. The relationship of pain provocation to lumbar disc deterioration as seen by CT/discography. *Spine* (1987), 12(3), 295-298.
- Veltink PH, Liedtke C, Droog E & van der Kooij H. Ambulatory measurement of ground reaction forces. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* (2005), 13(3), 423-427.
- Vernon-Roberts B & Pirie CJ. Healing trabecular microfractures in the bodies of lumbar vertebrae. *Annals of the Rheumatic Diseases* (1973), 32(5), 406-412.

- Wai EK, Rodriguez S, Dagenais S & Hall H. Evidence-informed management of chronic low back pain with physical activity, smoking cessation, and weight loss. *Spine Journal* (2008), 8(1), 195-202.
- Walsh TR, Weinstein JN, Spratt KF, Lehmann TR, Aprill C & Sayre H. Lumbar discography in normal subjects. A controlled, prospective study. *The Journal of Bone and Joint Surgery* (1990), 72(7), 1081-1088.
- Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A & Fine LJ. Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics* (1993), 36(7), 749-776.
- White AA & Panjabi MM (1990). Clinical biomechanics of the spine. Philadelphia: J.B. Lippincott company.
- Wilke HJ, Neef P, Caimi M, Hoogland T & Claes LE. New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. *Spine* (1999), 24(8), 755-762.
- Wilke HJ, Neef P, Hinz B, Seidel H & Claes L. Intradiscal pressure together with anthropometric data - a data set for the validation of models. *Clinical Biomechanics* (2001), 16, Suppl No. 1, S111-S126.
- Williams RM, Westmorland MG, Lin CA, Schmuck G & Creen M. Effectiveness of workplace rehabilitation interventions in the treatment of work-related low back pain: A systematic review. *Disability and Rehabilitation* (2007), 29(8), 607-624.
- Woittiez RD, Huijing PA, Boom HBK & Rozendal RH. A 3-dimensional muscle model - a quantified relation between form and function of skeletal-muscles. *Journal of Morphology* (1984), 182(1), 95-113.
- Zatsiorsky VM (2002). Kinetics of human motion. Champaign, IL: Human Kinetics.

SAMENVATTING

Op weg naar een ambulante methode voor het meten van rugbelasting op de werkplek

Pijn in de lage rug is een belangrijk medisch en economisch probleem in de westerse samenleving. Uitkomsten van epidemiologische studies wijzen erop dat zowel persoonlijke, psychosociale als fysische risicofactoren invloed hebben op het risico om rugpijn te krijgen. Van de fysische risicofactoren zijn handmatig tillen en werken in een gebogen romphouding het sterkst gerelateerd aan pijn in de lage rug, waarschijnlijk doordat deze taken tot een relatief hoge mechanische belasting van de rug leiden. Om deze reden is het handmatig tillen van lasten, dat vaak gepaard gaat met gebogen romphoudingen, veelvuldig bestudeerd in het laboratorium, bijvoorbeeld om te onderzoeken wat het effect is van ergonomische interventies op de rugbelasting. Het belangrijkste doel van dit proefschrift was om dit soort studies een stap dichterbij de praktijk te brengen.

In de eerste twee studies die beschreven worden in dit proefschrift is onderzocht of resultaten van typische laboratorium studies, die de effecten van ergonomische interventies op de rugbelasting bestuderen, generaliseerbaar zijn naar de praktijk. In **hoofdstuk 2** werd het effect onderzocht van drie ergonomische interventies bij het handmatig tillen van lasten: verlaging van tilgewicht, verhogen van de hoogte van het te tillen gewicht en tenslotte het 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 in het laboratorium 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 voor een licht bouwblok dan voor een zwaar bouwblok. Verder werd er, in tegenstelling tot voorgaande laboratoriumstudies, geen effect

op de rugbelasting gevonden van het verkleinen van de horizontale lastpositie bij het tillen van bouwblokken laag bij de grond. Het is onduidelijk of dit verschil in bevindingen tussen de studies is veroorzaakt door het verschil tussen de uitgevoerde tiltaken of door het verschil in til-ervaring van de proefpersonen.

Om meer inzicht te krijgen in het effect van het soort tiltaak en van til-ervaring op de rugbelasting is er een vervolgonderzoek uitgevoerd dat is beschreven in **hoofdstuk 3**. In dit experiment tilden proefpersonen zonder professionele til-ervaring lasten vanaf de grond. Hierbij varieerde de horizontale afstand tussen de voeten en de last over trials. 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 laboratorium tiltaak 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 waarbij 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 lijn met voorgaande studies werd er voor de typische laboratorium tiltaak een significant effect van initiële horizontale positie op de rugbelasting gevonden. Tevens werd er, in overeenstemming met de resultaten van de studie die is beschreven in Hoofdstuk 2, geen effect gevonden in de meer realistische taak die werd uitgevoerd na de korte training. Het verdwijnen van het effect van initiële horizontale afstand bleek veroorzaakt te worden door een effect van type tiltaak en door een effect van til-ervaring.

Concluderend kan op basis van de twee hierboven samengevatte studies gesteld worden 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 van de til-ervaring.

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

In de eerste veldstudie (**hoofdstuk 4**) werden metingen verricht op een schip terwijl het op zee voer. Hierbij werd gebruik gemaakt van meetapparatuur (krachtenplatform en bewegingsregistratiecamera's) die normaal gesproken alleen in het laboratorium wordt ingezet. In deze studie werd het effect van scheepsbewegingen op de rugbelasting onderzocht tijdens tiltaken die uitgevoerd werden door ervaren zeelieden. Er werd gevonden dat de beweging van het schip voor een kleine maar significante verhoging van de rugbelasting zorgde.

In de tweede veldstudie (**hoofdstuk 5**) is een veel simpelere methode toegepast voor het meten van rugbelasting in de werksituatie. Dit werd gedaan bij bouwvakkers voor dezelfde taken als die in het experiment in Hoofdstuk 2. Op basis van simpele metingen met een rolmaat werd met behulp van regressievergelijkingen uit de literatuur een schatting gemaakt van de statische rugbelasting. Uitkomsten van deze zogenoemde statische veldmethode werden vergeleken met de uitkomsten van het laboratoriumexperiment beschreven in hoofdstuk 2, 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, mits de effecten van de ergonomische interventie substantieel zijn.

Alhoewel beide methoden succesvol werden toegepast in de praktijk, zijn er een aantal belangrijke beperkingen die het op grote schaal in de praktijk toepassen belemmeren. De belangrijkste beperkingen van het gebruik van de laboratorium meetmethode 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 uitgevoerd moeten worden over een langere tijdsperiode. Een belangrijke beperking van beide meetmethoden is dat de uitkomsten van de metingen beïnvloed kunnen worden door een waarnemerbias (het zogenaamde Hawthorne-effect): mensen gedragen zich anders wanneer ze geobserveerd worden. Dit kan een groot probleem vormen in ergonomische interventiestudies, waarbij mensen vaak op de hoogte zijn van het doel van de interventie.

Gezien de beperkingen die aan de boven beschreven veldmethoden kleven, is het wenselijk om alternatieve meetmethoden te ontwikkelen die de rugbelasting over een lange tijdsperiode geautomatiseerd kunnen meten zonder daarbij het natuurlijke bewegingspatroon te belemmeren. In de laatste drie hoofdstukken van dit proefschrift is de toepasbaarheid onderzocht van twee recent ontwikkelde, op het lichaam draagbare meettechnieken: ten eerste inertieële/magnetische sensoren (IMSen), die in plaats van bewegingsregistratiecamera's gebruikt kunnen worden voor het meten van segmentbewegingen en ten tweede krachtschoenen, die in plaats van een krachtenplatform gebruikt kunnen worden voor het meten van grondreactiekrachten.

Omdat rompinclinatie (de hoek van de romp met de verticaal) een belangrijke determinant is van de rugbelasting, richtte **hoofdstuk 6** zich op het meten hiervan. Hierbij werd gebruik gemaakt van een enkele IMS geplaatst op de rug. In deze studie werd de optimale plaatsingshoogte van de IMS onderzocht. Uitkomsten laten zien rompinclinatie goed is te schatten met een enkele IMS en dat de optimale plaatsing voor het meten van de rompinclinatie relatief laag is: op ongeveer 25% van de afstand vanaf het heiligbeen tot de nek.

In **hoofdstuk 7** is de bruikbaarheid van krachtschoenen getest voor het meten van grondreactiekrachten en voor het kwantificeren van resulterende rugbelasting. Bij verschillende taken werden metingen met de krachtschoenen vergeleken met de metingen van twee krachtenplatforms. Resultaten van deze studie laten zien dat meten met krachtschoenen bij de meeste taken een goed alternatief is voor het meten met krachtplatforms.

Wanneer krachtschoen en IMS-metingen gecombineerd zouden worden, zou met behulp van de gemeten grondreactiekrachten en de gemeten kinematica van de benen en van de pelvis, een "bottom-up" analyse van de rugbelasting mogelijk zijn. Echter, omdat IMSen alleen segmentoriëntaties meten, moet 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 **hoofdstuk 8** zijn de fouten onderzocht die worden gemaakt in deze bottom-up analyse. Vooral wanneer er bij tillen diep door de knieën werd gezakt werden substantiële fouten in de berekende rugbelasting gevonden.

Samenvattend kan dat op basis van de eerste vier studies van dit proefschrift gesteld worden dat de effecten van typische laboratoriumstudies niet zonder meer generaliseerbaar zijn naar de praktijk. Daarnaast bleek dat het wenselijk is dat er nieuwe ambulante meetmethoden worden ontwikkeld die het mogelijk maken om de rugbelasting op een makkelijke manier geautomatiseerd in het veld te kunnen meten. In de laatste drie hoofdstukken zijn de eerste stappen gezet in het ontwikkelen van dit soort meetmethoden.

DANKWOORD

Als eerste wil ik mijn dank betuigen aan Idsart Kingma en Jaap van Dieën die mij op een fantastische manier hebben begeleid in het onderzoek dat ik de laatste jaren in het kader van mijn promotie heb mogen uitvoeren. **Idsart**, ik wil je bedanken voor het feit dat je praktisch gezien altijd voor me klaar stond als ik je nodig had. Je bent een toegewijde wetenschapper en voelt je erg verantwoordelijk voor het werk van je PhD-studenten. Veder was het opmerkelijk dat je je ook echt met de details van mijn onderzoek bezig hield. Dit is waarschijnlijk een belangrijke rede waarom het publiceren van onze artikelen altijd relatief makkelijk verliep. **Jaap**, ondanks je supervolle hooglerarenagenda wist je altijd wel een gaatje te vinden om even met mij en Idsart om de tafel te gaan zitten om de loop van mijn onderzoeksprojecten te bespreken. Tijdens deze prettige besprekingen zat jij vaak relaxed met je handen achter je hoofd en een glimlach op je gezicht te luisteren naar mijn verhalen. Bijzonder vond ik dat, als ik met een probleem zat dat moeilijk was uit te leggen, jij meestal in een mum van tijd begreep waar ik het over had en vaak nog geen moment later een met een elegante oplossing kwam.

Ik wil de **Faculteit der Bewegingswetenschappen** aan de VU bedanken voor de goede wetenschappelijke opleiding die ik heb genoten, waardoor ik kritisch heb leren kijken naar de wereld om mij heen. Verder wil ik al mijn **collega's** bedanken voor de prettige, informele, open en gezellige werksfeer op de faculteit. De **TOD** wil ik bedanken voor de technische ondersteuning bij mijn experimenten, waardoor ik mijn aandacht altijd volledig kon richten op mijn onderzoeksprotocol. In het bijzonder wil ik **Hans de Koning** en **Leon Schutte** bedanken. Zij zijn altijd intensief bij mijn onderzoek betrokken geweest. Ik zal nooit vergeten dat we een heel laboratorium hebben gebouwd in de cafetaria van een marineschip!

Sjoerd, ik kwam er achter dat we nu al zo'n tien jaar vrienden zijn! Ik wil je bedanken voor de leuke vakanties op snow- en skateboard. We hebben bijna vier jaar zij aan zij op dezelfde kamer gewerkt aan onze promotie. Dit was erg gezellig en leerzaam voor ons beiden. Van jou leerde ik alle Matlab-tricks en samen hebben we het 3D-model van Idsart "gepimpt", waardoor het nu door velen mensen op de faculteit makkelijk gebruikt kan worden. Hiervoor hebben we in 2008 zelfs een gratificatie gekregen! **Nienke**, je was de afgelopen twee jaar mijn kamergenoot op de VU. Bedankt voor je attente slingers op mijn verjaardag en dat

je altijd bereid was mijn teksten vol dislectische (ehhh... dyslectische) fouten te checken. **Martin** en **Josien**, met jullie heb ik veel meetplezier beleefd met de Xsens-sensoren en de krachtschoenen. **Maarten** en **Dinant**, bedankt voor de leuke reizen die we achter de ISB-congressen in Taiwan en Zuid-Afrika plakte. Alle mede promovendi wil ik bedanken voor alle gezellige filmavondjes, AIO weekendjes etc. Al mijn **vrienden**, bedankt voor jullie vriendschap. Dit zorgde ervoor dat ik steeds nieuwe energie en inspiratie had voor mijn werk. Verder wil ik mijn dank betuigen aan mijn **turn-, kung-fu- en salsaverenigingen**, waar ik wekelijks bijna evenveel tijd doorbracht als op mijn werk. Naast het feit dat het uitvoeren van deze sporten mij veel plezier en mentale ontspanning brengt, heeft het me ook een goede fitheid en velen goede vriendschappen opgeleverd.

Als laatste wil ik mijn ouders **Richard** en **Ariël** en mijn zusjes **Roos** en **Marieke** bedanken voor een fijne jeugd. Richard en Ariël, bedankt voor de goede opvoeding die jullie mij hebben gegeven. Dat maakt het leven een stuk makkelijker! Daarnaast wil ik jullie bedanken voor het feit dat jullie deur en hart altijd voor mij open staan.

Production of this thesis was financially supported by Northern Digital Inc., Xsens Technologies, STEP Nederland, and the FreeMotion project.

