

# Samenvatting

Wereldwijd nemen de levensverwachting en de pensioengerechtigde leeftijd snel toe. Dit heeft als gevolg een vergrijzende beroepsbevolking die vaak een disbalans tussen werkcapaciteit en werklust ervaart. Dit zal zowel het welzijn van werknemers als hun werkbaarheid, werkprestaties en veiligheid beïnvloeden en zal hoge verzuimkosten veroorzaken voor bedrijven, de overheid en de (werkende) bevolking, niet alleen in Nederland maar in heel Europa en de westerse wereld. Om de kosten van veroudering terug te dringen en een stabiele beroepsbevolking en economie te behouden, hebben meerdere landen de pensioenleeftijd verhoogd. Dit alleen zal echter niet voldoende zijn om een duurzame en gezonde beroepsbevolking in stand te houden. In *hoofdstuk 1* ligt de focus op hoe een duurzame beroepsbevolking kan worden gecreëerd en wat de behoeften zijn van werknemers en werkgevers. Om een duurzame en gezond ouder wordende beroepsbevolking te krijgen, moet een disbalans tussen werkcapaciteit en werklust worden voorkomen. Lichamelijk actieve werknemers en kantoormedewerkers ervaren werkgerelateerde gezondheidsproblemen die worden veroorzaakt door een lagere capaciteit als gevolg van veroudering en de hoge of lage fysieke belasting van hun werk. De drie belangrijkste factoren zijn een hoge mechanische belasting, interne energetische belasting en externe blootstelling aan warmte. Sensortechnologieën kunnen erg nuttig zijn om de werkdruk van werknemers continu te bewaken. Er is alleen een gebrek aan objectieve sensortechnologieën die de werkbelasting tijdens het werk kunnen valideren en betrouwbaar kunnen meten zonder de werkbaarheid te verstoren. Daarnaast ontbreken ook effectieve interventies die een onbalans verminderen. Het doel van dit proefschrift is het ontwikkelen en valideren van sensortechnologieën om de werkhoudingen en de gerelateerde mechanische werkbelasting, de interne energetische werkbelasting en interne reactie op externe blootstelling aan warmte te monitoren en te verbeteren.

In *hoofdstuk 2*, de mechanische belasting van kantoorpersoneel is onderzocht. Een “slimme” bureaustoel kan het zitgedrag monitoren en een tactiele feedback geven. Het doel van deze feedback is het zitgedrag te verbeteren en gezondheidsproblemen en musculoskeletaal ongemak als gevolg van langdurig zitten te voorkomen. In een prospectief cohortonderzoek van 12 weken onder kantoormedewerkers werden de zitduur en -houding, feedbacksignalen en musculoskeletale ongemakken gemeten. Deze studie toonde aan dat de “slimme” stoel het zitgedrag kan monitoren. Het feedbacksignaal leidde echter tot kleine, niet-significante veranderingen in het zitgedrag van kantoormedewerkers.

In *hoofdstuk 3* de mechanische belasting van fysiek actieve werknemers is onderzocht. Met een “sensorpak” werden de werkhoudingen van meerdere typen werknemers gemonitord en met een neurale netwerk werd het corresponderende moment van het lumbale gebied automatisch berekend. Deze studie stelde vast dat het sensorsysteem verschillen vertoonde in de intensiteitsniveaus en variatie van de fysieke belasting van het lumbale gebied in samenhang met de waargenomen intensiteitsniveaus en de aard van de werktaken in fysiek veeleisende beroepen.

In *hoofdstuk 4 en 5* focust op het monitoren van de energetische belasting. In *hoofdstuk 4* een octrooiaanvraag is gepresenteerd. Er is een headset ontwikkeld en getest die ademgassen analyseert om het energieverbruik te bepalen. Dit is de eerste werkende headset die ademgassen kan analyseren zonder een mondmasker. Unieke aspecten van dit apparaat zijn het ontwerp van de box die de lucht opvangt en het mondmasker vervangt, het algoritme om het volume te berekenen uit de ademstroom uit neus of mond, en de geïntegreerde windsensor en het algoritme om invloeden van omgevingswind te elimineren. In *hoofdstuk 5*, de validiteit en

gebruikerservaring van het proof-of-concept is bediscussieerd. De headset lijkt bruikbaar voor het monitoren van de ontwikkeling van de energetische belasting van fysiek actieve werknemers. De headset is meer valide dan hartslagmonitoring en praktischer dan indirecte calorimetrie met een mondmasker. De proefpersonen gaven de voorkeur aan de headset boven het mondmasker omdat deze comfortabeler was, de communicatie niet belemmerde en een lagere ademhalingsweerstand had.

Om de blootstelling aan hitte van fysiek actieve werknemers te kunnen volgen, zijn twee draagbare thermometers geïntroduceerd en onderzocht op betrouwbaarheid en validiteit. In *hoofdstuk 6* wordt een studie over de validiteit en betrouwbaarheid van een commerciële draagbare en niet-invasieve kerntemperatuur thermometer, Cosinuss<sup>o</sup>, tijdens simulatietaken voor brandbestrijding gepresenteerd. Daarnaast is de ontwikkeling van de kerntemperatuur van brandweerlieden bij het werken in twee soorten beschermende kleding vergeleken. Zonder kalibratie was de nauwkeurigheid van de thermometer onaanvaardbaar laag. Bij individuele kalibratie was de nauwkeurigheid acceptabel, maar dit verminderde tijdens werken. In *hoofdstuk 7* werd de nauwkeurigheid van deze draagbare thermometer geëvalueerd en de bruikbaarheid onderzocht in een laboratoriumomgeving en in reële werkomstandigheden. Er werd wederom geconcludeerd dat de thermometer zonder correctiefactor onnauwkeurig is. Met correctie werd de nauwkeurigheid van deze draagbare binnenoorthermometer bevestigd in rust, maar niet in werkomstandigheden buitenshuis of tijdens het dragen van een helm of gehoorbescherming. In *bijlage 1* is een andere draagbare, niet-invasieve kernthermometer ontwikkeld, beschreven en gevalideerd in laboratoriumomgevingen. Dit apparaat vertoonde goede correlaties vergeleken met infrarood-thermometrie die wordt gebruikt in ziekenhuisomgevingen, maar meet soms ook onrealistische hoge waarden en blijkt een lagere bruikbaarheid te vertonen.

In *hoofdstuk 8* worden de ethische overwegingen achter het bewaken van de werkbelasting van werknemers beschreven. Het doel van de studie was om twee werkgerelateerde ethische kwesties, privacy en autonomie, te analyseren in een realistische onderzoek- en werkomgeving. De resultaten laten zien dat het beschermen van de privacy en autonomie van werknemers niet als op zichzelf staande kwesties kunnen worden gezien, maar dat er een wisselwerking is tussen deze waarden, de werkcontext en de verantwoordelijkheden van werknemers en hun werkgever. Door te focussen op een contextuele conceptualisering van ethische kernprincipes die tijdens het project zijn geïdentificeerd, worden compartimentering, generalisatie en verwaarlozing van verantwoordelijkheid voorkomen. Het ontwikkelen van context-specifieke ethiek maakt het mogelijk om de specifieke implicaties van een bepaalde waarde voor een specifieke situatie te onderzoeken. Het ontbreekt aan een praktisch adaptief instrument voor het ethisch ontwerpen en implementeren van technologieën voor gezondheidsbevordering op de werkplek en aan kennis hoe belanghebbenden hun verantwoordelijkheid kunnen nemen en autonomie kunnen ondersteunen. Ingenieurs en wetenschappers moeten overwegen hoe het ontwerp en de implementatie van hun technologieën de waarden van werkgevers en werknemers beïnvloeden en vormen en moeten hun technologieën aanpassen om de ethische acceptatie te vergroten. Dit samenspel tussen ontwerp en implementatie is onderbelicht in de literatuur, maar is cruciaal voor het succes van verantwoorde innovaties.

In *hoofdstuk 9* worden de sensortechnologieën en implementatie op de werkplek besproken in termen van evaluatie van de resultaten, relevantie van deze ontwikkelingen en mogelijk toekomstig onderzoek. Met de gegevens die met deze sensortechnologieën zijn verkregen, kan de individuele fysiologische respons op de werklast worden gevolgd en kan een disbalans worden voorkomen. Na definitief ontwerp en validatie zijn deze sensortechnologieën klaar om te worden gebruikt om bij te dragen aan de realisatie van een duurzame beroepsbevolking.