
ANALYSE VAN MUSCULO-SKELETALE AANDOENINGEN IN DE ARBEIDSOMGEVING DOOR REPETITIEVE ARBEID EN RUGBELASTING

Prof. A. Spaepen (Promotor)
M. Hautekiet

Faculteit Lichamelijke Opvoeding en Kinesithérapie,
Departement Kinesiologie, Laboratorium Ergonomie -KUL-

INHOUDSTAFEL

I. INLEIDING.....	1
II. THEORISCHE CONTEXT.....	2
III. METHODOLOGIE	3
Analyse van indicatoren voor vermoeidheid	
Model voor de verklaring van vermoeidheid	
Model voor coördinatie	
Predictie van vermoeidheid	
Toepassing van de methodes in de praktijk	
IV. RESULTATEN	4
Indicatoren voor vermoeidheid	5
Verklaring van EMG-veranderingen bij vermoeidheid	6
Model coördinatie van spierwerking	7
Predictie van spiervermoeidheid	8
Toegepast onderzoek	9
. Interventies	
. Training	
V. BESPREKING	10
Theoretisch onderzoek	11
Toegepast onderzoek	12
VI. BIJLAGEN	14
Lijst van publikaties	

I. INLEIDING

Ondanks de vergaande automatisatie in vele bedrijven blijken regelmatig letsels te ontstaan tijdens het uitvoeren van een arbeidstaak als gevolg van fysieke inspanning. Waar vroeger vooral sprake was van fysiologische overbelasting, komen nu meer lokale overbelastingsletsels voor, meestal als gevolg van repetitieve taken en/of statische spierinspanningen ter hoogte van de ledematen en de onderrug.

Een belangrijke doelstelling in het project 'Analyse van musculo-skeletale aandoeningen in de arbeidsomgeving door repetitieve arbeid en rugbelasting' is het kunnen detecteren van musculo-skeletale letsels in de arbeidsomgeving tijdens de uitvoering van een arbeidstaak. Hiervoor werd een coherent instrumentarium met bijhorende methodologie en gegevenspresentatie ontwikkeld.

Om het ontstaan van deze letsels beter te begrijpen wordt het verband gelegd tussen de krachtproductie en het elektromyografisch signaal in een al dan niet vermoeide spier. Daarnaast onderzoekt men hoe de coördinatie tussen verschillende spieren beïnvloed wordt door de lokale vermoeidheid. Tevens wordt nagegaan of er een mogelijkheid bestaat om een graad van vermoeidheid te bepalen voor een spier.

In een praktische studie gebruikt men de verworven kennis bij de analyse van problemen op arbeidsposten en bij het voorstellen van interventies. Deze studie vindt plaats in een reiskofferassemblebedrijf. Het project voorziet in een evaluatie van de verschillende interventies om na te gaan of de beoogde doelstellingen behaald werden.

De Welzijnswet Werknemers van 4 augustus 1996 bevat voor het eerst een aantal algemene preventiebeginselen. Eén van de preventiebeginselen die de werkgever moet toepassen is de 'aanpassing van het werk aan de mens, met name wat betreft de inrichting van de werkposten, en de keuze van de werkkuitrusting en werk- en produktiemethoden, met name om monotone arbeid en tempogebonden arbeid draaglijker te maken en gevolgen daarvan voor de gezondheid te beperken. Dit project sluit hierbij perfect aan en wil door het basis- en het toegepast onderzoek bijdragen tot de preventie van risico's in de arbeidsomgeving. De opgedane kennis en ervaring wordt via seminars en workshops doorgegeven aan de verantwoordelijken voor de preventie in de bedrijven-

II THEORETISCHE CONTEXT

Elektromyografie wordt gebruikt om de spierbelasting te bestuderen. Met oppervlakte-elektroden wordt het elektrisch signaal dat ontstaat tijdens een spiercontractie bestudeerd. Oorspronkelijk kon dit enkel gebeuren in laboratoriumomstandigheden maar door verbeterde technieken is dit nu ook mogelijk in de werksomgeving.

Naast de registratiemogelijkheden is ook de analyse van het EMG-signaal verder geëvolueerd. Waar er oorspronkelijk gekeken werd naar het al dan niet actief zijn van een spier, gaat men heden ten dage een heel stuk verder. In eerste fase zijn er technieken ontwikkeld die het mogelijk maken om op een objectieve wijze aan te tonen dat spieren vermoeid zijn. Wanneer bepaalde spieren vermoeid zijn, zullen andere spieren de taak overnemen. Deze spieren zijn meestal niet echt geschikt om dergelijke taken uit te voeren zodat er op termijn bepaalde risico's ontstaan. Aan de hand van spiermodellen wordt het systeem van coördinatie onderzocht. Daarnaast is het interessant om te weten aan welke capaciteit spieren moeten werken tijdens het uitvoeren van een arbeidstaak. Zo kan men tijdelijk weten of een bepaalde taak al dan niet risico's inhoudt voor een bepaalde werknemer.

Elk van deze items biedt interessante informatie over de wijze waarop arbeidstaken uitgevoerd worden. Ook wanneer een arbeidspost aangepast wordt, kan me op een objectieve wijze nagaan wat de gevolgen zijn voor de werknemer die de arbeidstaken uitvoert. Deze informatie kan enkel bekomen worden aan de hand van EMG-registraties. In de literatuur is over deze items weinig of geen informatie te vinden met betrekking tot de werksomgeving. Daarom werden in het kader van dit project de volgende deelonderzoeken opgezet:

- Hoe kan spiervermoeidheid bij submaximale taken geobjectiveerd worden?
- Hoe kunnen de veranderingen in het EMG-signaal verklaard worden?
- Hoe verloopt de coördinatie van spieren? Wat gebeurt er wanneer spieren vermoeid geraken en de taak toch volgehouden moet worden?
- In welke mate is een spier vermoeid. Is het mogelijk om aan de hand van een aantal parameters een predictie te doen over de uithouding van een spier?
- In welke mate kunnen deze methodes ook in de praktijk gebruikt worden?

Elk van deze vragen wordt in dit rapport verder behandeld.

III METHODOLOGIE

Afhankelijk van de beoogde doelstellingen worden verschillende methodes gebruikt. De methodes zijn gebaseerd op verschillende verwerkingstechnieken van het elektromyografisch signaal.

Analyse van indicatoren voor vermoeidheid

Elektromyografie wordt gebruikt om de spierbelasting te bestuderen. Met oppervlakte-elektroden wordt het elektrisch signaal dat ontstaat tijdens een spiercontractie bestudeerd en dit zowel in laboratoriumomstandigheden, als in de arbeidsomgeving.

Om het ruwe EMG-signaal te kwantificeren worden parameters berekend die de amplitude- en frequentie-inhoud van het signaal weergeven. De amplitudo van het ruwe EMG wordt weergegeven door middel van de Root Mean Square (RMS) en een activiteitswaarde die bepaald wordt met een differentiatietechniek (ACT). De gemiddelde frequentie van het power spectrum, Mean Power Frequency (MPF), wordt bestudeerd aan de hand van Fast Fourier Transformaties.

Deze parameters zijn niet volledig onafhankelijk van elkaar en niet onafhankelijk van de intensiteit van de spierinspanning. Het is de bedoeling dat het verloop van deze parameters in verschillende soorten van vermoeidheidsstudies geanalyseerd worden om een beter inzicht te krijgen in de opbouw van de spierinspanning en de vermoeidheid die eruit voortvloeit.

Model voor de verklaring van vermoeidheid

Steunend op een uitgebreide kennis en ervaring met betrekking tot de relatie tussen het elektromyogram en de spierkracht is het de bedoeling een mathematisch model op te stellen waarin vanuit de neurale activatie van de motorische eenheden de ontwikkeling van spierkracht en het overeenkomstig elektromyografisch signaal bepaald wordt. Aan de hand van dit model, waarin rekening gehouden wordt met de parameters van de spiercontractie die door vermoeidheid beïnvloed worden (vuurfrequentie, drempel, activatiepatroon en krachtpatroon), wordt de hypothese getoetst dat er een relatie bestaat tussen het EMG, de kracht en de vermoeidheid; rechtstreekse toets is immers onmogelijk. Het is de bedoeling de verschillende factoren tegen elkaar te kunnen afwegen, die aan de basis liggen van de vermindering van de MPF en de verhoging van de amplitude van de EMG-activiteit bij gelijke krachtsinspanning.

Model voor coördinatie

Het detecteren van veranderingen in het coördinatiepatroon van de spierinspanningen vormt een ander luik van de studie. We wensen na te gaan of de vermoeidheid die door middel van het EMG-signaal wordt vastgesteld verschillend verloopt, afhankelijk van het feit of het bewegingsapparaat bij het optreden van vermoeidheid op alternatieve wijze wordt aangesproken. Indien de wisselwerking tussen spiergroepen bestaat om een bepaalde (constante) belasting te overwinnen, dan zal dit zijn invloed hebben zowel op de vermoeidheid van de betrokken groepen als op de amplitudo en de MPF van de geobserveerde EMG-signalen.

Predictie van vermoeidheid

Tenslotte is het de bedoeling om te weten in welke mate een spier vermoeid is. Hiertoe wordt onderzocht of het mogelijk is om aan de hand van de EMG-parameters uit de eerste fase van de inspanning een predictie te maken over het verder verloop van de inspanning.

Hiertoe wordt gebruik gemaakt van twee sets van data. De eerste set bestaat uit meetgegevens van de m. deltoïdus en de m. trapezius, de tweede set bestaat uit gegevens van de m. biceps en de m. brachioradialis. Uit de meetgegevens worden de indicatoren voor vermoeidheid berekend en wordt nagegaan of er uit de informatie uit het eerste deel van de inspanning een predictie kan gemaakt worden naar de uithoudingstijd of eindwaarden.

Toepassing van de methodes in de praktijk

In het toegepast onderzoek is het de bedoeling de toepasbaarheid van de analyses op de werkplek aan te tonen en de individuele factoren te achterhalen die aan de basis liggen van de overbelastingsletsels. Het is tevens de bedoeling dat de evaluatie kan aantonen wat de oorsprong is van interindividuele verschillen in het risico voor het ontwikkelen van klachten door herhaalde belastingen. In het vervolg van de studie wordt de invloed nagegaan van de interventies die tot doel hebben de overbelastingsletsels te beperken.

In een eerste fase is nagegaan welke bedrijf in aanmerking komt voor een studie gespreid over drie jaar. Om voldoende mogelijkheden te hebben dient het te gaan om een groot, modern en dynamisch bedrijf waar ruimte is voor innovaties. Tevens werd geopteerd voor een bedrijf waar zowel repetitieve belasting voor de bovenste ledematen als rugbelasting voorkomt.

Op de geselecteerde werkplekken worden de arbeidstaken geanalyseerd. Met behulp van elektromyografie en videoregistraties wordt de fysieke belasting bepaald. Daarnaast worden een aantal andere metingen of bevestigingen uitgevoerd met betrekking tot geluid, verlichting en psychisch welbehagen.

Aan de hand van de registraties worden bepaalde interventies uitgevoerd. Deze kunnen betrekking hebben tot de inrichting van de werkplek, de wijze van uitvoeren van handelingen, organisatie en training. Hierbij wordt getracht om het risico op overbelastingsletsels te reduceren.

Na de interventies is het de bedoeling dat er in het bedrijf verder opgevolgd wordt of de doelstellingen behaald worden. Indien nodig kunnen er bijkomende interventies uitgevoerd worden. Tegen het einde van het project wordt een analyse uitgevoerd van de klachten en letsels tijdens de duur van de studie. Tevens worden de verschillende variabelen van de observaties en metingen systematisch vergeleken voor de groep met en zonder klachten of letsels.

De studie zal daarom niet alleen aantonen op welke wijze voorgestelde methoden tot een analyse van de arbeidspost kunnen leiden, maar zal tevens toelaten een duidelijker inzicht te verkrijgen in de individuele verschillen die het risico op overbelasting bepalen.

IV RESULTATEN

Dit verslag is slechts een beperkte weergave van de resultaten van het onderzoek. We verwijzen dan ook naar de literatuurlijst die een aantal artikels bevat over de besproken deelonderzoeken.

Indicatoren voor vermoeidheid

Verschillende spieren van de nek-schouderstreek werden onderzocht o.a. M. Trapezius (verschillende delen), M. Infraspinatus, M. Deltoideus pars anterior en lateralis. Bijzondere aandacht gaat naar de veranderingen in de EMG-parameters tijdens langdurige taken. Regressieanalyses worden uitgevoerd waardoor een hellingscoëfficiënt bekomen wordt zowel voor de MPF als voor de RMS en ACT.

Het regressiemodel geeft een coëfficiënt voor de totale proefgroep die onderzocht werd, rekening houdend met de individuele EMG-waarden en de standaarddeviaties. De toename in RMS en ACT, en de afname in MPF zijn veranderingen in de spiertoestand gedurende langdurige taken en worden daarom gebruikt als indicatoren voor spiervermoeidheid. Uit het onderzoek blijkt dat tijdens het vermoeidheidsproces deze parameters elk volgens een eigen patroon evolueren.

Relatie EMG - Kracht met en zonder vermoeidheid

In een volgend onderzoek werd bij 10 vrouwelijke proefpersonen de relatie nagegaan tussen de kracht en de EMG-parameters. De activiteit van de rechter M. Deltoideus en de M. Trapezius werd geregistreerd tijdens het duwen tegen een hendel met een gestrekt arm. Het moment uitgeoefend op de hendel werd gelijktijdig geregistreerd met het EMG. Eerst werd de MVC (maximal voluntary contraction) bepaald, vervolgens werden inspanningen opgelegd aan 20, 40, 60 en 80 % van de MVC. Na een pauze van 10 minuten werd een uithoudingstest aan 20 % opgelegd. Na deze test werd nog een MVC gevraagd. Voor de verwerking van de data werden verschillende parameters gebruikt: RMS, ACT en MPF.

Bij de tests aan verschillende percentages van de MVC werd een hoge positieve correlatie gevonden tussen de amplitude-parameters en de geleverde kracht. Voor de MPF werd geen correlatie gevonden met de kracht.

Tijdens de uithoudingstest vond men een significante daling van de MPF voor de beide spieren. De significante stijgingen voor de RMS waren hoger in de Trapezius dan in de Deltoideus. Wanneer naar de ACT gekeken werd, zag men enkel voor de Trapezius een significante stijging maar niet voor de Deltoideus. Het verschillend verloop van de parameters voor de beide spieren kan verklaard worden door het feit dat de Deltoideus een prime mover is voor de gevraagde houding, waar de Trapezius een meer ondersteunende en stabiliserende taak heeft. Uit dit onderzoek blijkt dat het mogelijk moet zijn om aan de hand van de veranderingen in RMS en ACT de vermoeidheid van de spieren aan te tonen.

Recuperatie na vermoeidheid

In een ander onderzoek wordt nagegaan op welke wijze de lokale spier zich herstelt na een inspanning en hoe de vermoeidheidsparameters zich gedragen bij een herhaalde uithoudingstest. Hiervoor werd een protocol opgesteld waarbij voor de Deltoideus zowel de MVC als een uithoudingstest aan 20 % van de MVC gebruikt wordt. Tussen de twee uithoudingstests werd een rustpauze van 10 minuten voorzien. Voor de verwerking wordt gebruik gemaakt van de EMG-parameters. Er werden significante wijzigingen gevonden voor MPF en RMS voor beide tests. Voor ACT werden geen significante veranderingen gevonden. De regressies tussen de uithoudingstijd en de EMG-parameters van de twee sessies blijken niet verschillend te zijn, dus de relatieve toe- of afname is gelijkaardig. De uithoudingstijd is daarentegen wel significant verschillend, namelijk een kortere uithoudingstest bij de tweede tests. Wanneer de beginwaarden van elke parameter vergeleken worden, dan blijken geen significante verschillen voor te komen. Wel is de beginwaarde van de tweede test voor de MPF kleiner en voor de ACT en RMS groter, wat zou kunnen duiden op een onvolledige recuperatie.

Verklaring van EMG-veranderingen bij vermoeidheid

Aan de hand van een simulatiemodel tracht men de veranderingen in de indicatoren voor spiervermoeidheid te verklaren. Hiervoor werd een bestaand model aangepast zodat het bruikbaar is voor onze toepassingen. Rekening houdend met de parameters van de spiercontractie die door vermoeidheid beïnvloed worden (vuurfrequentie, geleidingssnelheid, drempel, excitatiepatroon en krachtpatroon), wordt de hypothese getoetst dat er een relatie bestaat tussen het EMG, de kracht en de vermoeidheid. Er wordt onderzocht welke mechanismen er aan de basis liggen van de veranderingen in het EMG-signaal en meer specifiek in de gebruikte vermoeidheidsparameters MPF, ACT en RMS. Uit het groot aantal uitgevoerde simulaties blijkt dat de geleidingssnelheid de meest bepalende parameter is om de vermoeidheidsverschijnselen te bewerkstelligen.

Er wordt nagegaan of bevindingen uit een simulatiemodel overeenkomen met experimentele gegevens betreffende spiervermoeidheid. In een aantal experimentele studies werd vastgesteld dat personen die een contractie een bepaalde tijd volhouden een aantal adaptatiemechanismen op neurale en spierniveau hanteren. Deze adaptatiemechanismen kunnen onder experimentele omstandigheden nooit afzonderlijk van elkaar onderzocht worden. Er werd daarom een simulatiemodel ontwikkeld die de invloed van een groot aantal neurale en mechanische parameters op de relatie tussen EMG en kracht, of EMG en vermoeidheid, afzonderlijk kon onderzoeken. Er werd hiervoor een bestaand model uit de literatuur aangepast. Het simulatiemodel werd eerst in niet vermoeiende omstandigheden uitgetest met parameters uit de literatuur. De resultaten van deze simulatiecondities leverden de zelfde EMG-kracht en EMG-vermoeidheidsrelatie als onder experimentele omstandigheden.

Tijdens een tweede deel van de simulatiestudies werd de invloed van vermoeidheid op het elektromyogram nagegaan, alsook de relatie met de mechanische krachtproductie van de spier. Hiervoor werden een aantal neurale parameters in het model gemodificeerd. De neurale drive of de neurale activering werd aangepast aan de experimentele omstandigheden van vermoeidheid. De krachtproductie van de individuele motor units werd naar beneden aangepast, omdat uit literatuurgegevens was gebleken dat bij vermoeidheid de motorische eenheden niet al hun kracht meer kunnen leveren. Ook de geleidingssnelheid van de vezels moest afnemen, tezamen met een daling van de vuurfrequentie. Er werd immers al herhaaldelijk aangetoond dat de twee belangrijkste mechanismen voor een spier om kracht te leveren, de rekrutering van motorische eenheden en de verhoging van de gemiddelde vuurfrequentie is. Bij vermoeidheid zal er dus eerst en vooral een belangrijke invloed op deze parameters merkbaar zijn. Andere parameters die werden aangepast zijn: meer variatie in ontladingen van motorische eenheden, toename van de tijd tussen de verschillende ontladingen, vermindering van de maximale vuurfrequentie van de motorische eenheden. Er werden ook combinaties van parameters onderzocht omdat het evident is dat niet één mechanisme afzonderlijk inwerkt op de vermoeide spieren, maar meerdere mechanismen gecombineerd.

Recent werd er in de literatuur geopperd dat ook synchronisatie een belangrijke invloed kan hebben op de krachtproductie van spiervezels en het ontstaan of tegenwerken van vermoeidheid. Er werden na contacten met prominenten op dit gebied stappen ondernomen om ook de synchronisatie in het simulatiemodel in te bouwen. De resultaten zijn hoopgevend, want wanneer motorische eenheden synchroon gaan vuren, gaan de EMG parameters in tegengestelde zin wijzigen als bij het optreden van vermoeidheid. Dit kan erop wijzen dat synchronisatie (het gesynchroniseerd vuren van motorische eenheden) de ontwikkeling van spiervermoeidheid probeert tegen te gaan. Er moet op dit vlak echter nog verder onderzoek gebeuren.

Uit de resultaten die met deze simulatiestudies berekend werden, mag besloten worden dat de vier vermoeidheidsindicatoren een gelijkaardig verloop hebben voor niet vermoeiende omstandigheden vergeleken met experimentele omstandigheden. Met het model zijn we er ook in geslaagd om de parameters zo te wijzigen dat het verloop van de EMG parameters onder vermoeiende omstandigheden gelijkaardig is in simulaties of in de experimenten. De belangrijkste combinatie van parameters die bijdragen tot het ontstaan van vermoeidheid, blijkt te zijn: Een daling van de krachtproductie van de motorische eenheden van ongeveer 10%, een toegenomen neurale activering, een daling van de geleidingssnelheid van de vezels, een vermindering van de maximale vuurfrequentie van de motorische eenheden, en een selectieve uitval van de krachtige en snelle motorische eenheden.

Het gebruik van dit simulatiemodel bleek een handig hulpmiddel te zijn om de relatieve bijdrage te berekenen van elke neurale en sommige mechanische parameters aan de krachtproductie en de ontwikkeling van de vermoeidheid van een spier. Er is evenwel nog verder onderzoek noodzakelijk, onder andere naar de recuperatiemechanismen van de spieren, en hoe deze recuperatie de coördinatie van spieren bij eenvoudige en complexe bewegingen beïnvloedt.

Model coördinatie van spierwerking

Bij het produceren van vrijwillige bewegingen of het volhouden van bepaalde houdingen werken verschillende spieren samen. Dit fenomeen noemt men contractie-synergieën. Wanneer in een bepaalde houding een isometrische kracht wordt geleverd, gaan er agonisten en antagonisten samenwerken. De agonisten proberen de kracht zo groot mogelijk te maken. De antagonisten zorgen voor de stabilisatie van het gewricht. Bij het uitvoeren van een vrijwillig gecontroleerde beweging zijn de contractie-synergieën zelfs nog veel complexer.

Uit de uitgebreide literatuur over dit domein kan gedistilleerd worden dat bij elke aanspanning van de spieren rond een gewricht er een bepaald activatiepatroon wordt gehanteerd. Dit activatiepatroon wordt algemeen beschouwd als tri-fasisch. Dit betekent dat er eerst een contractie is van de agonisten, gevolgd door een contractie van de antagonisten om de beweging of kracht bij te sturen en dan opnieuw een contractie van de agonisten voor het verdere verloop van de beweging of de verdere duur van de krachtontwikkeling. Er zijn kleine verschillen merkbaar in dit activatiepatroon tussen isometrische en isotonische contracties.

Het is nuttig om even kort te schetsen hoe de excitatie-activatiecyclus verloopt, alvorens het nut van modellen te bespreken.

De prikkels voor de sturing van de beweging worden opgewekt in het centrale zenuwstelsel. De neurale pulstrein vertrekt vanuit de motorische cortex in de hersenen en gaat via het ruggemerg voort geleid worden tot in de voorhoorncellen van de wervels. In het model worden hier later neurale netwerken of neurale activeringsstrategieën voor gebruikt. Wanneer de prikkels in de voorhoorncellen de motoneuronen gaan activeren, dan worden alle motoneuronen gelijktijdig geactiveerd. De opgewekte prikkels gaan dan via de perifere zenuwbanen naar de motorische eindplaat van de spier geleid worden en een deel van al de geactiveerde motoneuronen wordt specifiek geïnhibeerd. Deze specifieke inhibitie gaat nu de spiercoördinatie kunnen verklaren omdat bepaalde motoneuronen meer neurale activering krijgen en dat deze motoneuronen een bepaalde spier bezenuwen. Andere motoneuronen krijgen dan weer minder neurale activering (bijvoorbeeld de antagonisten). Zo kan met elke neurale activering de juiste hoeveelheid kracht en de juiste beweging geproduceerd worden.

Wanneer de prikkels de motorische eindplaat bereiken gaan ze onder bepaalde omstandigheden een actiepotentiaal opwekken die dan de spiercontractie zal gaan veroorzaken. Omdat er dus verschillende zenuwbanen naar verschillende spieren lopen, zal de coördinatie van de spieren of de selectieve activering van bepaalde delen binnen een spier zeer fijn kunnen geregeld worden.

Op een Silicon Graphics Workstation werden met een softwareprogramma (Software for Interactive MusculoSkeletal Modeling) modellen gebouwd die de neurale activering of excitatie vertaalden naar de activatiemechanismen voor de afzonderlijke spieren. Via bepaalde optimalisatiestrategieën kon een gewenst bewegingspatroon bereikt worden, en werden de daaruit volgende contractie-synergieën van de spieren berekend. De software liet tevens toe om bijvoorbeeld voor de kniestrekking onder isometrische omstandigheden, of voor het gaan, de bijdrage van verschillende spieren aan het gewrichtsmoment te berekenen. Zo kan ook bepaald worden op welk moment en in welke mate bepaalde spieren overnemen van elkaar, dus wanneer bepaalde spieren gaan recupereren of activeren.

Het gebruik van interactieve software laat toe om bevindingen uit de literatuur op elk moment te toetsen met de gevonden gegevens uit de simulaties. Het gebruik van computermodellen voor de simulatie van spiercoördinatiepatronen blijkt een zeer nuttig hulpmiddel waarbij specifieke parameters kunnen gewijzigd worden en waarbij de invloed van elke parameter op de coördinatie exact kan bepaald worden.

Predictie van spiervermoeidheid

Uit de resultaten van het voorgaande onderzoek zijn er aanduidingen dat het mogelijk moet zijn om de vermoeidheidsgraad van een spier te kunnen aangeven. De grootte van de verandering die in de parameters optreedt op het begin van een spierinspanning zou kunnen gerelateerd zijn met de uithoudingstijd voor die spier. Indien dit zo is kan men een bepaald niveau van inspanning bepalen waarvan men weet dat de persoon in kwestie deze zonder problemen acht uur kan volhouden. Interessant daarbij is dat men bij deze wijze van werken zowel rekening houdt met de vereisten van de arbeidstaak (de belasting) als met de individuele aspecten van de werknemer (de belastbaarheid).

De oorspronkelijke bedoeling hierbij was de uithoudingstijd te voorspellen. Uit de eerste analyses blijkt echter dat de uithoudingstijd bij dergelijke testen voor een deel bepaald wordt door de motivatie van de proefpersonen. Daarom is het wellicht beter na te gaan of er een relatie bestaat tussen de verandering van de

vermoeidheidsindicatoren op het begin van de inspanning en op het einde net voordat de taak opgegeven wordt. Als parameters in het model wordt de mean power frequency, the root-mean-square, het geïntegreerd EMG en de gedifferentieerde activiteit gebruikt. De mate van verandering in functie van de tijd wordt voor elk van de parameters bepaald en via een optimalisatie-programma gewogen.

Een eerste deel van het onderzoek werd uitgevoerd op EMG-data van de M. Deltoideus en de M. Trapezius. Er werden twee uithoudingstests gevraagd van 20% van de Maximal Voluntary Contraction (MVC). Tussen de twee reeksen konden de proefpersonen gedurende 10 minuten recupereren. De werking van deze twee spieren is verschillend. Aangezien echter de grootste veranderingen optreden bij de M. Deltoideus, kan deze beschouwd worden als de bepalende factor bij het opgeven van de inspanning. Voor de eerste reeks kon er via een selectie van parameters een predictie gemaakt worden met een afwijking kleiner dan 10% van de uithoudingstijd. Hiertoe werden de MPF en RMS-waarden gebruikt uit het eerste deel van de inspanning. Voor de tweede reeks waren de resultaten minder gunstig. Blijkbaar waren niet alle proefpersonen volledig gerecupereerd van de eerste inspanning. Hier bleek een selectie van MPF- en ration-waarden de beste resultaten te geven. Wanneer de reeksen werden gecombineerd bleek het moeilijker te zijn om een predictie uit te voeren.

In een tweede reeks tests werd gebruik gemaakt van de armbuigsters (M. Biceps en M. Brachioradialis). De gevraagde inspanning bedroeg 40% van de MVC. De werking van beide spieren is gelijkaardig. De samenwerking van de spieren op het begin van de inspanning en op het einde van de inspanning loopt volgens een eigen patroon. Verschillende verwerkingstechnieken werden toegepast om de patronen objectief te kunnen beschrijven. Uit de resultaten blijkt dat de MPF-waarde voor beide spieren het meest bruikbaar is om predicties uit te voeren. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de absolute waarden op het begin, alsook van de verandering die de MPF ondergaat op het begin. Opvallend was dat de M. Biceps eerst vermoeidheidssteken vertoont en vervolgens pas de M. Brachioradialis. Bijgevolg zou ook het ogenblik dat de M.Brachioradialis veranderingen ondergaat, gebruikt kunnen worden als predictor voor de uithoudingstijd.

Toegepast onderzoek

Voor het toegepast onderzoek werd gekozen voor het bedrijf Samsonite Europe N.V. te Oudenaarde. Het bedrijf leent zich ertoe om zowel onderzoek te doen naar de repetitieve taken voor de bovenste ledematen als naar de rugbelasting. De repetitieve taken komen veelvuldig voor wanneer de verschillende componenten van de koffers gemonteerd moeten worden. Rugbelasting komt vooral voor bij het stapelen van de afgewerkte produkten en bij sommige taken in de assemblage.

Belasting nek-schouders

Het onderzoek voor repetitieve taken situeert zich vooral rond de assemblage van de Epsilon-koffer. Deze lijn werd in 1995 opgestart en is een kopie van een andere assemblagelijijn. Aangezien de nieuwe koffer niet enkel zwaarder en groter is, maar ook meer onderdelen heeft, bleek dat deze lijn niet volledig voldeed. Het bedrijf was dan ook geïnteresseerd om deze lijn nader te onderzoeken op ergonomisch vlak. Aan de werknemers van de assemblagelijijn werd een vragenlijst gegeven over de lichamelijke belasting op de arbeidspost en de eventuele lichaamsklachten. Achttien personen vulden de vragenlijst in. Uit de resultaten bleek dat er drie probleemgebieden waren, nl. de schouders, de rug en de nek. In mindere mate kwamen klachten voor aan de pols en de onderste ledematen.

Vervolgens werd bij een aantal werknemers, tijdens een werkdag de subjectieve vermoeidheid gemeten aan de hand van de Borgschaal. Deze vermoeidheid neemt toe in de loop van de dag met een plateau rond de middag wat verklaard kan worden door de middagpauze. Tijdens de namiddag treedt er terug een stijging op. De subjectieve vermoeidheid komt het meest voor ter hoogte van de onderrug, gevolgd door de rechter arm en pols, de schouder en de nek.

Bij deze werknemers werd aan de hand van elektromyografie gekeken naar de activiteit van de nek-schouderspieren. Om deze registraties in verband te kunnen brengen met de arbeidstaken werden tegelijkertijd video-opnames gemaakt. De hoge waarden voor spieractiviteit staan steeds in relatie met het hoog en ver grijpen van onderdelen en instrumenten, of met het werken met een hoge elleboog (zoals tijdens het afbramen).

Pols- en voorarmbelasting

Op vraag van het bedrijf werd in een bijkomend onderzoek de belasting ter hoogte van de voorarmen onderzocht. Een aantal van de werknemers zou klachten hebben aan de polsen. Hiertoe werd gebruik gemaakt van het elektromyogram en video-opnames. Uit dit onderzoek dat bij 10 werknemers werd uitgevoerd, kwamen een aantal taken voor die belastend waren voor de polsen (manipuleren van de kofferschalen en de afgewerkte koffer, het inschroeven van sommige schroeven). Wel bleken er verschillen te zijn tussen de werknemers; een aantal van hen konden de taken uitvoeren met minder belasting. Dit laatste bleek uit het distributiediagram van de spierbelasting.

Rugbelasting

In het onderdeel waar de rugbelasting onderzocht wordt was het de bedoeling om een vergelijking te maken in rugspiervermoeidheid tussen personen die koffers assembleren en diegenen die achteraan de lijn de afwerkte koffers moet inpakken. Tijdens de observaties bleek de werknemer daar dagelijks tot 1000 koffers in te pakken van elk 7 kg en op een palet op te stapelen.

De methode die hierbij gehanteerd is, werd voorheen enkel in het laboratorium toegepast. Het was namelijk de bedoeling na te gaan of vermoeidheid van de rugspieren ontstaan tijdens een werkdag objectief kon geëvalueerd worden, zonder dat er op de werkplek echt nagegaan werd wat er uitgevoerd werd. Hiertoe werden bij vier proefpersonen gestandaardiseerde testen uitgevoerd op verschillende ogenblikken van een werkdag. Aan de hand van de verandering van vermoeidheidsindicatoren werd onderzocht of er verschillen konden gevonden worden in vermoeidheid tussen de verschillende proefpersonen.

De gemiddelde amplitude-waarden bleven zeer stabiel; enkel bij één proefpersoon was er een stijging te zien op het lumbale niveau. Mogelijk was de testsituatie zo zwaar dat de maximum amplitude bereikt werd in de test. De gemiddelde amplitudefrequentie daalde in de helft van de gevallen. De gedifferentieerde EMG-activiteit daalde

in bijna alle gevallen wat betekent dat er minder kracht kon geleverd worden. Drie personen hadden meer indicaties voor spiervermoeidheid, twee personen die assembleren en de persoon die achteraan de lijn staat. Eén proefpersoon (uit de assemblage) vertoonde praktisch geen tekenen van vermoeidheid. De vermoeidheidsindicatoren waren echter niet steeds eenduidig. Soms kwam er een daling voor in gemiddelde amplitudedefrequentie die niet gepaard ging met een stijging in de gemiddelde amplitude.

Daarnaast werd een meer klassieke analyse uitgevoerd naar de belasting van de rugspieren. Hierbij werd het mogelijk om in de distributie-afdeling na te gaan welke taken voor de grootste belasting zorgden. Uit dit deel van het onderzoek bleek dat niet enkel de massa van een last bepalend is maar evenzeer de condities waaronder een last wordt gehanteerd en de snelheid waarmee de handelingen worden uitgevoerd. Een gelijkaardige analyse werd uitgevoerd bij het assembleren van de koffers nadat de werkpost geoptimaliseerd was.

INTERVENTIES

Eerste interventie

Het bedrijf heeft zelf initiatief genomen om een aanpasbare arbeidspost in te richten. Rekening houdend met de wensen van de medewerksters heeft men gezorgd dat er zittend gewerkt kan worden, in tegenstelling tot de andere werkposten. Nochtans werd door ons gemeld dat een zittende werkplek niet aangewezen is bij dergelijk groot produkt. Verder had men rekening gehouden met de opmerkingen die uit de eerste analyse kwamen zoals een verbeterde plaatsing van bakjes met componenten.

Evaluatie eerste interventie

Aangezien de nieuwe werkplek aanzienlijke veranderingen ondergaan had, werd het nuttig geoordeeld om een evaluatie te maken van deze nieuwe werkpost. Hiertoe werd gebruik gemaakt van video-registraties en elektromyografie. De belasting van de voorarmen en van de nek-schouderregio werd onderzocht en vergeleken met de metingen op de oude werkpost. Hieruit bleek dat het veranderen van een staande werkpost naar een zittende werkpost niet zo eenvoudig is, zeker wanneer het produkt, een reiskoffer, groot is. De hoogtes van de bakjes met componenten werd gedeeltelijk aangepast maar nog niet voldoende. Ook de werkhoogte was nog niet in orde wat zorgde voor een extra belasting voor de nek-schouder. Door het feit dat de werkneemster neerzit is zij minder vrij om de schroevendraaier goed te positioneren. Door het aanbrengen van een draaitafel was het wel zo dat de afgewerkte koffer minder moest getild worden voor controle en afbramen. De conclusie was dan ook dat de werkpost verder geoptimaliseerd moest worden.

Tweede interventie

Rekening houdend met de resultaten uit de analyse werd de werkpost door ons aangepast in nauw overleg met de werknemers. Een aantal hoogtes (werkblad, bakjes, schroevendraaier, brander) werden geoptimaliseerd. Hierbij werd gekeken of de werkneemster op het ogenblik van de handeling rechtstaat of neerzit. Voor handelingen met de koffer stond zij recht. Wanneer montagehandelingen in de koffer werden uitgevoerd kon ze neerzitten. Daarnaast werden een aantal adviezen gegeven naar het gebruik van de polsen.

Tegelijkertijd werden de omgevingsfactoren geluid en licht gemeten. De huidige armaturen die op de werkpost hangen schijnen te fel in de ogen. De werkneemster gebruikt ze dus niet en werkt bijgevolg met onvoldoende licht. Daarom werd een nieuwe armatuur geplaatst die voorzien is van een rooster en die niet in de ogen schijnt. Hierdoor heeft de werkneemster wel voldoende licht maar wordt zij er niet door verblind.

Evaluatie tweede interventie

De vernieuwde arbeidspost werd geëvalueerd. Tijdens observaties werd nagegaan of de werkplek op de juiste wijze gebruikt wordt. Het kantelen van de bottom loopt niet steeds even vlot. De werkneemster zegt wel tevreden te zijn met de werkpost en verkiest deze boven de andere werkposten. Wat betreft de voorarmspieren blijkt er een reductie te zijn van het aantal risicotaken. Slechts bij een beperkt aantal taken wordt een verhoogde activiteit opgemerkt: nemen van de schalen, monteren van vast wiel, monteren linker padcatch in top, vastmaken van de pocket,

controle van sloten, opnemen van de koffer aan handvat. De montage van de wielhandle blijkt nu geen problemen meer te veroorzaken.

Wat de schouder-nekspieren betreft blijkt de verhoogde spieractiviteit tijdens het zittend werk in verhouding met de vorige evaluatie gereduceerd te zijn. Bij deze proefpersoon is geen verschil te merken tussen staand en zittend werk. Een beperkt aantal taken geeft nog een verhoogde activiteit die moeilijk te reduceren valt door de omvang van de koffer omdat bepaalde taken niet anders kunnen uitgevoerd worden. Zo werd grotere activiteit gemeten bij het nemen van de schalen, soms bij het nemen van een schroevendraaier, wanneer ver gegrepen moet worden, het klaarleggen van de pinnen, het vastmaken van het pad, het nemen van de kapstukken (doos stond op de grond), het rechtzetten en wegzetten van de koffer.

Voor de rugspieren wordt er vooral grotere activiteit gemeten wanneer de romp naar voor gebogen wordt: nemen van de seal, vastmaken van het pad, nemen van de kapstukken, wegzetten van de koffer.

Uit de EMG-percentielen blijkt dat het patroon voor de polsstrekkers nog niet optimaal is, maar wellicht komt dit omdat de werknemster gedurende het grootste deel van de cyclus ook actief is. Zowel links als rechts wordt een groot deel van de tijd tussen 20 en 40 % gewerkt. Voor de buigspieren zit het grote deel tussen 0 en 20 %. Wat de schouder- en nekspieren betreft zien we een mooi aflopend patroon. Dit was bij de vorige evaluatie nog niet het geval voor de rechter schouderbuiger. Het reduceren van werk- en reikhoogtes heeft dus toch effect gehad.

Uit de evaluatie blijkt dat de werkpost voor zover dit mogelijk is maximaal werd aangepast. De knelpunten uit de eerste evaluaties werden zoveel mogelijk opgelost. De overgebleven knelpunten hebben veelal te maken met de grootte en het concept van de koffer die geassembleerd wordt. In het laatste stadium van dit project wordt nagegaan of training een gunstig effect heeft op de fysieke werkbelasting.

TRAINING

Het bedrijf heeft inmiddels nieuwe assemblagelijnen geïnstalleerd die rekening houden met de adviezen die door ons werden voorgesteld en uitgetest op de aanpasbare werkpost. Op het ogenblik dat de nieuwe lijn in gebruik genomen werd voor de assemblage van een eenvoudiger type van koffer werd een training georganiseerd. Hiertoe werd een videomontage gemaakt die aantoont welke handelingen dienen uitgevoerd te worden om de koffer te assembleren. Hierbij wordt aangetoond dat het mogelijk is om elke handeling uit te voeren met een minimale belasting voor de spieren. Hiervoor dient men wel gebruik te maken van de mogelijkheden van de werkpost. Nadat al de werknemers samen de video bekeken en besproken hadden werd er overgegaan naar een individuele training. De instellingen werden geoptimaliseerd en elk van de werknemers werd begeleid om de juiste handelingen uit te voeren. De verschillende taken werden ook genoteerd op een ergonomische checklist zodat er tussentijds evaluaties konden uitgevoerd worden. Het resultaat van deze training is dat iedereen in staat was om op een juiste wijze te werken maar dat de werknemers makkelijk teruggrijpen naar hun oude werkmethode die volgens hen sneller gaat. Een opvolging is hier absoluut noodzakelijk, zowel van de wijze waarop de arbeidstaken worden uitgevoerd, als van het eventueel klachtenpatroon dat bij deze groep werknemers aan de medische dienst gerapporteerd wordt.

V BESPREKING

De interesse voor ergonomie in de bedrijven groeit. Ook de wetgever heeft meer aandacht voor ergonomie. De wet op het Welzijn op het Werk voorziet in de preventiediensten een aantal taken die door de ergonoom worden uitgevoerd. Ergonomie moet zich echter nog een groot stuk bewijzen voordat het een vaste waarde wordt in het bedrijf en een evenwaardige pijler wordt naast veiligheid en milieu. Dit onderzoeksproject toont aan dat wanneer er gewerkt wordt op een wetenschappelijke basis, de bedrijven aandacht hebben voor de argumenten van de ergonoom, en dit zowel langs de kant van de werkgever als van de werknemer en syndicaten.

Elektromyografie stond centraal in dit onderzoeksproject. Belangrijk hierbij is dat er op twee sporen kon gewerkt worden, namelijk het theoretisch en het toegepaste. Een aantal methodes die voorheen enkel in laboratoriumomstandigheden werden uitgevoerd, werden nu ook in de praktijk omgezet. Dit heeft het voordeel dat de relevantie van dergelijke technieken duidelijk aangetoond wordt, ook al is het dikwijls moeilijk om grote gestandaardiseerde onderzoeken op te zetten in de arbeidsomgeving. De individuele informatie die bij elk van de werknemers geregistreerd wordt is echter ook zeer bruikbaar.

Theoretisch onderzoek

Wat het theoretische betreft is er de voorbije jaren onderzoek gedaan op hoog niveau. Het Laboratorium draait mee in een groep van befaamde onderzoekscentra in Europa. Belangrijk is hierbij de inbreng die we kunnen brengen vanuit de ergonomische hoek; de andere centra werken doorgaans meer klinisch. Het gebruik van oppervlakte-EMG wordt soms bekritiseerd omdat de informatie die dergelijke registraties opbrengen steeds een sommatie zijn van vele signalen. Anderzijds moet men ook onder ogen zien dat door een groter deel van de spier te bestrijken men meer informatie heeft over het geheel van de spier. Ook de relevantie is een stuk hoger wanneer men het gedrag van een spier beschrijft in tegenstelling tot het gedrag van een spiervezel. Door dit project is er duidelijkheid gekomen over de wijze waarop de EMG-parameters beïnvloed worden door vermoeidheid. Door het werken met het simulatiemodel is het duidelijker geworden hoe het signaal beïnvloed wordt door een combinatie van factoren.

In de toekomst zal het model voor coördinatie meer klaarheid scheppen in de wisselwerking tussen verschillende spieren. Hoe werken spieren samen, hoe nemen spieren over bij vermoeidheid, zijn vragen die via deze modellen een antwoord zullen krijgen. De modellen zijn nog volop in ontwikkeling. De ergonomische toepassingen zullen nog volgen.

Een nieuwe piste die aan het project is toegevoegd zijn de studies over de predictie van uithoudingstijden. Als men meer vat heeft op de indicatoren voor de spiervermoeidheid, dan moet het mogelijk zijn om aan de hand van initiële parameters een voorspelling te doen over de duur dat een inspanning kan volgehouden worden. Blijkbaar zijn de frequentieparameters het meest betrouwbaar om predicties te doen en dient men rekening te houden zowel met de startwaarde als met het verloop van de parameter op het begin van de inspanning. Het grote voordeel van dergelijke EMG-toepassing is dat het zowel persoons- als taakgebonden is. Verschillende personen die eenzelfde taak uitvoeren kunnen deze op een zeer verschillende wijze uitvoeren. Afhankelijk van een aantal intrinsieke factoren kan de belasting ook zeer verschillend zijn. Elke werknemer zal dan ook op een bepaalde wijze de werktaken uitvoeren met de mogelijkheden waarover hij beschikt. Wanneer deze mogelijkheden niet meer toereikend zijn, bestaat er gevaar om in verkeerde bewegingspatronen terecht te komen die aanleiding kunnen geven tot letsels. Door deze predictiemethode kan men de letsels voorkomen.

Toegepast onderzoek

Als conclusie van het toegepast onderzoek kan gesteld worden dat het gebruik van EMG in de arbeidsomgeving praktisch haalbaar is en in veel gevallen ook aangewezen is wanneer men klachten wil vermijden of verminderen. De informatie die het EMG verschaft kan niet op een andere wijze bekomen worden en geeft aan hoe een persoon met een bepaalde belastbaarheid weerstaat aan een belasting. In het bedrijfsleven wordt zeer positief gereageerd op deze manier van evalueren van arbeidstaken. Inmiddels werden gelijkaardige registraties uitgevoerd in de textielsector, de autoassemblage en de dienstensector. Door de verbetering van de EMG-toestellen en draagbare computerapparatuur wordt het mogelijk voor de preventiediensten om deze methodes zelf te gebruiken.

Een andere conclusie die getrokken kan worden uit het toegepast onderzoek is dat ergonomische interventies een goede opvolging vragen. Men dient goed te controleren of de beoogde doelstellingen behaald worden en of het probleem niet verschoven werd. Ondanks het feit dat zeer regelmatig subjectieve vragenlijsten gebruikt worden in de ergonomie, werd duidelijk dat de werknemers niet steeds in staat waren om te bepalen wat voor hun de beste (i.c. meest gezonde) werkwijze is. Vakkundige continue ondersteuning en overleg met de betrokken werknemers is essentieel om resultaat te kunnen boeken.

Tijdens het onderzoek werd veel belang gehecht aan de communicatie met de preventie-adviseur, de arbeidsgeneesheer en de veiligheidsdeskundige. Ook daarbuiten werd door het Laboratorium actief deelgenomen aan allerlei seminaries voor arbeidsgeneesheren, veiligheidsdeskundigen en arbeidsdeskundigen om de stand van de wetenschap en de mogelijkheden van de ergonomie toe te lichten.

De resultaten van dit onderzoeksproject kunnen bijdragen tot het bepalen van normen voor fysieke inspanning tijdens het uitvoeren van arbeidstaken. Het vertalen van de wetenschappelijke kennis in normen is echter niet eenvoudig aangezien het steeds om de belasting van individuen gaat.

VI. BIJLAGEN

Lijst van publikaties

- Hermans V, Spaepen AJ
1995 Perceived discomfort and EMG-activity of the upper trapezius while working at a VDT-station, Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 1(3): 208-214.
- Hautekiet M, Janssens G, Spaepen AJ, Snoeks I
1996 Het bedienen van afsluiters in een olieraffinaderij : Een biomechanische analyse, Tijdschrift voor Ergonomie, jrg. 21, nr. 5, p. 158-161.
- Spaepen AJ
1996 Research projects of the laboratory of ergonomics and occupational biomechanics of the K.U.Leuven, Belgium. Proceedings of the first general SENIAM workshop Torino, Italy, September 1996. p.28-29.
- Hermans V, Spaepen AJ
1996 Evaluation of EMG parameters during force production and sustained contractions. Proceedings of the first general SENIAM workshop Torino, Italy, September 1996. p. 154-158.
- Hermans V., Spaepen AJ
1996 The muscular activity of the shoulder-neck region during sustained and intermittent exercise, 10th Conference of the European Society of Biomechanics Leuven, August 28-31, 1996, p.170.
- Hautekiet M., Spaepen AJ
1996 Operating industrial valves in an oil refinery : a biomechanical analysis, 10th Conference of the European Society of Biomechanics Leuven, August 28-31, 1996, 175.
- Dounskaia N., Swinnen S.P., Spaepen AJ
1996 Mechanical constraints imposed during coordination of multijoint movements, 10th Conference of the European Society of Biomechanics Leuven, August 28-31, 1996, 236.
- Hermans V, Spaepen AJ
1996 EMG Behaviour of the neck and shoulder muscles during submaximal continuous activity, Muscle & Nerve, Supplement 4/1996, p. 46, Miami Florida, November 10-13, 1994
- Spaepen A, Hermans V,
1996 EMG in Occupational Settings : Measurement of Muscle Load or Muscle Fatigue. Advances in Occupational Ergonomics and Safety I, 1996, p. 557.
- Hermans V, Spaepen A, Hautekiet M,
1996 Onderzoek naar de fysieke belasting op een assemblage-werkplek. Congresboek 1996 : Ergonomie in uitvoering : hét argument voor rendement, p.186.
- Spaepen AJ, Hautekiet M., Hermans V.
1996 Analyse van musculoskeletale aandoeningen in de werkomgeving door repetitieve arbeid en rugbelasting. In Federale Diensten voor Wetenschappelijke, Technische en Culturele aangelegenheden, Gezondheidsrisico's i.v.m. beroepsblootstellingen : Wetenschappelijk ondersteuningsprogramma voor de gezondheidsbescherming van de werknemer : Onderzoek, methoden en perspectieven, 83-89.
- Hermans V,
1996 Changes in surface EMG signals of shoulder and neck muscles during sustained effort, Phd thesis, K.U.Leuven, 137p.
- Hermans V, Spaepen AJ,

- 1997 Muscular activity of the shoulder and neck region during sustained and intermittent exercise, Clinical Physiology, 17: 95-104.
- Hermans V, Spaepen AJ,
1997 Influence of electrode position on changes in electromyograph parameters of the upper trapezius muscle during submaximal sustained contractions, Eur. J. Appl. Physiol. 75: 319-325.
- Hermans V; De Clerq J; Hautekiet M; Spaepen A; Cobbaut L,
1997 Fysieke belasting tijdens de assemblage van auto s: evaluatie van hulpmiddelen, Tijdschrift voor Ergonomie 22(5): 141-145.
- Hermans V; Spaepen AJ; Hautekiet M,
1997 Application of SEMG in real working tasks, In: Hermens HJ; Hägg G and Freriks B (eds.), European applications on surface electromyography (proceedings of the second general SENIAM workshop, Stockholm, Sweden, June 1997), Roessingh Research and Development: Roessingh, pp. 37-43.
- Hautekiet M; Hermans V; Spaepen AJ; Snijders K,
1998 Invloed van de hoogte van het beeldscherm en de positie van de stoelleuning op de belasting van de nekspieren en de houding van het hoofd, Tijdschrift voor Ergonomie 23(1): 2-5.
- Hermans V; Hautekiet M; Spaepen AJ,
1998 Relation between neck-shoulder effort and posture (proceedings of the XIIIth Annual International Occupational Ergonomics and Safety Conference, Michigan June 1998), p. 202-205.
- Hermans V; Spaepen AJ; Wouters M,
1998 Recovery of muscular effort after a sustained submaximal task (proceedings of the XIIIth Annual International Occupational Ergonomics and Safety Conference, Michigan June 1998), p. 230-233.
- Hermans V; Hautekiet M; Spaepen AJ,
1997 The use of a steering ball for single-handed steering to drive a car, In: Seppälä P et al., IEA 97: From experience to innovation (Proceedings of the 13th triennial congress of the International Ergonomics Association, vol. 4, Tampere, Finland, 1997), Finnish Institute of Occupational Health: Helsinki, pp. 509-511.
- Hermans V; Hautekiet M; Spaepen AJ,
1997 Evaluation of the physical load in car assembly, using tools, In: Seppälä P et al., IEA 97: From experience to innovation (Proceedings of the 13th triennial congress of the International Ergonomics Association, vol. 7, Tampere, Finland, 1997), Finnish Institute of Occupational Health: Helsinki, pp. 222-224.
- Hautekiet M; Hermans V; Spaepen AJ; Snijders K,
1997 The influences of the height of the VDU screen, and the position of the back rest on the neck muscle load and the position of the head, In: Seppälä P et al., IEA 97: From experience to innovation (Proceedings of the 13th triennial congress of the International Ergonomics Association, vol. 5, Tampere, Finland, 1997), Finnish Institute of Occupational Health: Helsinki, pp. 38-40.
- Hermans V; Hautekiet M; Haex B; Spaepen AJ; Van der Perre G,
1998 Lipoatrophia semicircularis and the relation with office work, Applied Ergonomics (accepted)
- Hermans V; Spaepen AJ., Wouters M,
1998 Are changes in electromyographic parameters attributable to either changes in force or to fatigue processes during isometric contractions?, J. Electromyogr. Kinesiol. (accepted)
- Hermans V; Hautekiet M; Spaepen AJ., De Clerq J,
1998 Evaluation of physical load during the end assembly of cars with and without the use of materials handling devices, Int. J. Industr. Ergon. (accepted).

- Nolmans D,
1998 Studie over de predictie van de uithoudingstijd van een volgehouden submaximale isometrische contractie op basis van elektromyografie. Eindverhandeling K.U.Leuven, 99p.
- De Pauw T,
1998 Predictie van de uithoudingstijd van een submaximale inspanning op basis van EMG-karakteristieken. Eindverhandeling K.U.Leuven, 73p.

