

ser. 4  
S 91-2

**SZW**

Ministerie van Sociale Zaken  
en Werkgelegenheid

# **Preventie beroepsgebonden problematiek van het bewegings- apparaat**

Inventarisatie en beoordeling van in het veld bruikbare  
methoden voor het registreren van houdingen en bewegingen

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



\*NIA0028479\*

**S 91-2**

**Arbeidsinspectie**

# Preventie beroepsgebonden problematiek van het bewegings- apparaat

Inventarisatie en beoordeling van in het veld bruikbare  
methoden voor het registreren van houdingen en bewegingen

**drs. M. Douwes**

**dr. ir. Dul**

Nederlands Instituut voor  
Arbeidsomstandigheden NIA  
bibliotheek-documentatie-informatie  
De Boelelaan 32, Amsterdam-Buitenveldert

ISN-nr. 3130  
plaats Ser. 4, Sg 1-2  
datum 21 AUG. 1990

Een onderzoek uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-  
Generaal van de Arbeid door het Nederlands Instituut voor  
Praeventieve Gezondheidszorg TNO

augustus 1990

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Douwes, M.

Preventie beroepsgebonden problematiek van het bewegingsapparaat: inventarisatie en beoordeling van in het veld bruikbare methoden voor het registreren van houdingen en bewegingen: een onderzoek. / opstellers: M. Douwes, Dul. - Voorburg: Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid.

- ([Studie] / Directoraat-Generaal van de Arbeid, [Arbeidsinspectie], ISSN 0921-9218 ; S91-2)  
Onderzoek uitgevoerd in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid door het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO. - Met lit. opg.

ISBN 90-5307-089-3

SISO 614.3 UDC 331.47:616.7

Trefw.: arbeidsomstandigheden.

## INHOUD

|                                                                                                  | pagina |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| VOORWOORD                                                                                        | i      |
| LEDEN VAN DE BEGELEIDINGSCOMMISSIE                                                               | ii     |
| SAMENVATTING                                                                                     | iii    |
| <br>                                                                                             |        |
| 1. ALGEMENE INLEIDING                                                                            | 1      |
| 1.1 Achtergrond                                                                                  | 1      |
| 1.2 Doel van het ontwikkelen van in het veld bruikbare methoden                                  | 2      |
| 1.3 Bedrijfsgezondheidskundige relevantie                                                        | 2      |
| 1.4 Stand van zaken omtrent het gebruik van methoden en methode-ontwikkeling                     | 3      |
| 1.5 Probleemstelling                                                                             | 3      |
| 1.6 Doel en fasering van het onderzoek                                                           | 4      |
| 1.7 Voorselectie van soorten methoden                                                            | 4      |
| 1.8 Twee deelonderzoeken                                                                         | 6      |
| 1.9 Opbouw van dit rapport                                                                       | 6      |
| <br>                                                                                             |        |
| 2. LITERATUURONDERZOEK NAAR EENVOUDIGE METHODEN TER REGISTRATIE VAN HOUDING EN BEWEGING          | 7      |
| <br>                                                                                             |        |
| 2.1 Inleiding                                                                                    | 7      |
| 2.1.1 Stand van zaken en nieuwe ontwikkelingen                                                   | 7      |
| 2.1.2 Opbouw van dit hoofdstuk                                                                   | 8      |
| <br>                                                                                             |        |
| 2.2 Methode van het literatuuronderzoek                                                          | 9      |
| 2.2.1 Selectie van de meetmethoden                                                               | 9      |
| 2.2.2 Verzamelen van de literatuur                                                               | 9      |
| 2.2.3 Beoordeling van de meetmethoden                                                            | 10     |
| <br>                                                                                             |        |
| 2.3 Overzicht van methoden voor observatie van houding en/of beweging                            | 13     |
| 2.3.1 Inleiding                                                                                  | 13     |
| 2.3.2 Directe observatiemethoden, waarbij registratie-formulieren worden gebruikt                | 13     |
| 2.3.2.1 Methode Zuidema en daarvan afgeleide methoden                                            | 13     |
| 2.3.2.2 De OWAS-methode                                                                          | 14     |
| 2.3.2.3 Methode Corlett ("posture targetting")                                                   | 17     |
| 2.3.2.4 Methode Chaffin                                                                          | 18     |
| 2.3.2.5 Dans-notatiesysteem                                                                      | 19     |
| 2.3.3 Directe observatiemethoden waarbij de registratie met behulp van toetsenborden plaatsvindt | 19     |
| 2.3.3.1 De ROTA-methode                                                                          | 19     |
| 2.3.3.2 Methode Van Rooijen (BG-bouw)                                                            | 20     |
| 2.3.3.3 Ergoloc                                                                                  | 22     |

|         |                                                                                                                                         |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.3.4 | Andere methoden waarbij toetsenborden worden gebruikt                                                                                   | 22 |
| 2.3.4   | Observatie met behulp van foto-, film- of videobeelden                                                                                  | 23 |
| 2.3.4.1 | ARBAN                                                                                                                                   | 23 |
| 2.3.4.2 | VIRA                                                                                                                                    | 24 |
| 2.3.4.3 | Keyserling & Budnick                                                                                                                    | 26 |
| 2.3.4.4 | Diversen                                                                                                                                | 27 |
| 2.3.5   | Conclusies                                                                                                                              | 29 |
| 2.4     | Overzicht van methoden waarbij houdingen handmatig worden gemeten vanaf foto-, film- of videobeelden                                    | 31 |
| 2.4.1   | Inleiding                                                                                                                               | 31 |
| 2.4.2   | Opname-technieken                                                                                                                       | 31 |
| 2.4.2.1 | Fotografie                                                                                                                              | 32 |
| 2.4.2.2 | Film                                                                                                                                    | 33 |
| 2.4.2.3 | Cyclografie                                                                                                                             | 34 |
| 2.4.2.4 | Video-opnamen                                                                                                                           | 35 |
| 2.4.3   | Beoordeling en conclusie                                                                                                                | 35 |
| 2.5     | Overzicht van methoden voor het handmatig of elektrisch opmeten, waarbij het meetinstrument in direct contact staat met de proefpersoon | 37 |
| 2.5.1   | Inleiding                                                                                                                               | 37 |
| 2.5.2   | Lengtemeters                                                                                                                            | 37 |
| 2.5.2.1 | Handlengtemeters (centimeters)                                                                                                          | 37 |
| 2.5.2.2 | Elektrische lengtemeters                                                                                                                | 39 |
| 2.5.3   | Goniometers                                                                                                                             | 40 |
| 2.5.3.1 | Hand-goniometers                                                                                                                        | 40 |
| 2.5.3.2 | Elektro-goniometers                                                                                                                     | 43 |
| 2.5.4   | Inclinometers                                                                                                                           | 45 |
| 2.5.4.1 | Hand-inclinometers                                                                                                                      | 45 |
| 2.5.4.2 | Elektro-inclinometers                                                                                                                   | 47 |
| 2.5.5   | Vormmeting (de flexirule)                                                                                                               | 51 |
| 2.5.6   | Conclusie                                                                                                                               | 51 |
| 2.6     | Discussie van het literatuuronderzoek                                                                                                   | 53 |
| 2.7     | Conclusies van het literatuuronderzoek                                                                                                  | 59 |
| 3.      | <b>PILOTONDERZOEK NAAR DE VALIDITEIT VAN FOTOGRAFIE EN OBSERVATIE VOOR DE REGISTRATIE VAN HOUDINGEN</b>                                 | 61 |
| 3.1     | Inleiding                                                                                                                               | 61 |
| 3.1.1   | Achtergrond                                                                                                                             | 61 |
| 3.1.2   | Nauwkeurigheid en validiteit van de methoden                                                                                            | 62 |
| 3.1.2.1 | Directe observatie                                                                                                                      | 62 |
| 3.1.2.2 | Indirecte observatie                                                                                                                    | 63 |

|                           | <b>pagina</b>                                                          |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 3.1.2.3                   | Fotografie 63                                                          |
| 3.1.3                     | Vraagstellingen van het pilotonderzoek 63                              |
| 3.1.4                     | Opbouw van dit hoofdstuk 65                                            |
| 3.2                       | Methode van het pilotonderzoek 66                                      |
| 3.2.1                     | Onafhankelijke variabelen 66                                           |
| 3.2.2                     | Afhankelijke variabelen 68                                             |
| 3.2.3                     | Meetopstelling 69                                                      |
| 3.2.4                     | Meetprocedure 70                                                       |
| 3.2.5                     | Verwerking van de resultaten 71                                        |
| 3.3                       | Resultaten van het pilotonderzoek 72                                   |
| 3.3.1                     | Directe observatie 74                                                  |
| 3.3.2                     | Indirecte observatie 75                                                |
| 3.3.3                     | Fotografie 75                                                          |
| 3.3.4                     | Vergelijking tussen de drie eenvoudige methoden 75                     |
| 3.4                       | Discussie van het pilotonderzoek 76                                    |
| 3.4.1                     | Observatie 76                                                          |
| 3.4.2                     | Fotografie 77                                                          |
| 3.5                       | Conclusies van het pilotonderzoek 78                                   |
| 4.                        | ALGEMENE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN 79                                |
| 4.1                       | Conclusies van het literatuuronderzoek 79                              |
| 4.2                       | Conclusies van het pilotonderzoek 81                                   |
| 4.3                       | Aanbevelingen voor gebruik van de methoden door<br>Arbo-deskundigen 82 |
| 4.4                       | Aanbevelingen voor vervolgonderzoek 83                                 |
| LITERATUUR                | 84                                                                     |
| Bijlagen bij hoofdstuk 3: |                                                                        |
| 1                         | Overzicht van de meetopstelling 93                                     |
| 2                         | Aantal metingen per draaiingshoek en hoekgrootte 94                    |

## VOORWOORD

Jaarlijks zijn er ruim 300.000 langdurige ziekteverzuimgevallen en ruim 20.000 nieuwe WAO-intredes met als diagnose 'aandoeningen van het bewegingsapparaat'. Het is alom bekend dat fysieke belasting tijdens arbeid mede oorzaak is van de vele klachten van het bewegingsapparaat.

Om de problematiek terug te dringen heeft het Directoraat-Generaal van de Arbeid een meerjarenprogramma 'Fysieke belasting en arbeid' 1990-1995 ontwikkeld, waarin een geïntegreerde aanpak wordt nagestreefd van verschillende beleidsinstrumenten naast elkaar (onderzoek, voorlichting, regelgeving, deskundigheidsbevordering en beïnvloeding via 'centraal overleg').

Een van de beleidsinstrumenten, het onderzoeksprogramma, heeft tot doel bij te dragen aan instrumentontwikkeling, inzicht in gezondheidsbeïnvloedende factoren, ontwikkeling van normen en richtlijnen, ontwikkeling/gebruik van technische en ergonomische oplossingen en implementatie en evaluatie hiervan.

In het kader van de onderzoekslijn instrumentontwikkeling is in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid onderzoek verricht naar eenvoudige, praktisch bruikbare meetmethoden voor de Arbo-praktijk. Het gaat hier om methoden waarmee houding en beweging enerzijds en inwendige belasting anderzijds geregistreerd kunnen worden. Het onderzoek is uitgevoerd door het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg TNO te Leiden.

De ontwikkeling van eenvoudige methoden voor het meten van fysieke belasting neemt een belangrijke plaats in bij de beleidsontwikkeling ten aanzien van fysieke belasting en arbeid. Deze methoden kunnen gebruikt worden door Arbo-deskundigen in de praktijk bij het testen en evalueren van genomen maatregelen in de arbeidssituatie, bij de ontwikkeling van normen en richtlijnen en bij knelpuntanalyse.

De resultaten van het onderzoek zijn neergelegd in de nu voorliggende studie en in de studie getiteld 'Preventie van beroepsgebonden problematiek van het bewegingsapparaat; Inventarisatie en beoordeling van in het veld bruikbare methoden voor het registreren van 'elektrische spieractiviteit' (EMG) en van 'ervaren belasting'. De inhoud van deze studies komt voor verantwoording van de onderzoekers.

**LEDEN VAN DE BEGELEIDINGSCOMMISSIE**

**J.A. Ringelberg, arts (voorzitter)**

**A.J. Bolijn**

**Drs. I.M.A.J. Halewijn**

**J.C. van der Leun, bedrijfsarts**

**Dr. P. Vink**

**Ir. P. Voskamp**

**H. Zuidema, bedrijfsarts**

**Drs. W. P. Zijlstra**

**D.G. Arbeid, Voorburg**

**Hoogovens, IJmuiden**

**D.G. Arbeid, Voorburg**

**RBGD-Rotterdam, Hoogvliet**

**Stichting Arbouw, Amsterdam**

**D.G. Arbeid, Voorburg**

**Philips, Eindhoven**

**D.G. Arbeid, Voorburg**

## SAMENVATTING

Arbo-deskundigen in het veld hebben behoefte aan kwalitatief goede, relatief eenvoudige, praktisch bruikbare onderzoeksmethoden om het effect van mogelijke ergonomische of gedragsveranderingskundige interventies op de fysieke belasting van werknemers te kunnen kwantificeren.

In het eerste deel van dit onderzoek werden methoden voor het registreren van houding en beweging geïnventariseerd en beoordeeld op grond van criteria van praktische en methodologische aard. Besproken worden de methoden: directe en indirecte observatie, handmatig opmeten vanaf foto-, film of videobeelden en meetmethoden waarbij de apparatuur op het lichaam wordt geplaatst. Bij de beoordeling van de methoden is gekeken naar de betrouwbaarheid en validiteit, de werkzaamheden en het soort belasting, die kunnen worden bestudeerd, de vorm van de resultaten en de praktische mogelijkheden van de methoden. In tabellen is getracht weer te geven in hoeverre de onderzochte meetmethoden inspelen op bovengenoemde factoren.

Voor het bestuderen van houdingen in arbeidssituaties lijken directe en indirecte observatie (vanaf foto's) en het opmeten vanaf foto's vanuit praktisch oogpunt beter geschikt dan de andere onderzochte methoden. Metingen vanaf foto's lijken nauwkeuriger informatie te kunnen leveren over houdingen dan observatietechnieken, tenzij de invloed van perspectivische vertekeningen groot is. Hoe groot de nauwkeurigheid en validiteit van beide methoden is, is echter niet af te leiden uit de beschikbare literatuurgegevens.

Voor een continue analyse van houdingen in situaties waarbij het lichaam veel gedraaid wordt, lijken methoden waarbij apparatuur op het lichaam wordt aangebracht beter geschikt dan fotografie of observatie, zij het dat de kosten en de vereiste deskundigheid daarbij groter zijn. Een elektro-inclinometer biedt het voordeel boven een elektro-goniometer dat daarmee informatie kan worden verkregen over de stand van lichaamsdelen ten opzichte van de zwaartelij, en dat het instrument doorgaans kleiner in formaat en gewicht is.

Voor het bestuderen van (eigenschappen van) beweging kunnen metingen vanaf video- of filmbeelden worden gebruikt, waarbij men rekening dient te houden met perspectivische vertekeningen. Apparatuur op het lichaam (elektro-inclinometers) kunnen dan eventueel worden toegepast, met genoemde nadelen.

Van veel methoden die op praktische gronden geschikt lijken voor gebruik door Arbo-deskundigen (met name de observatiemethoden), zijn geen gegevens over de betrouwbaarheid en validiteit bekend. Onderzoek waarin deze eigenschappen worden getest is nodig.

In een experiment werd de nauwkeurigheid van houdingsregistratie (hoeken tussen lichaamsdelen en de verticaal) met directe en indirecte observatie en fotografie nader bestudeerd, door resultaten van houdingsanalyse met deze methoden te vergelijken met metingen met het VICON-systeem.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat directe observatie en indirecte observatie alleen toepasbaar zijn als de verwachte houdingsverschillen groot zijn. Bij een kleine draaiing van het lichaam ten opzichte van het "observatievlak" zijn de houdingsverschillen die minimaal kunnen worden aangetoond ongeveer  $10^\circ$ , en als de draaiing groter wordt ongeveer  $20^\circ$ , ervan uitgaande dat de observaties niet worden herhaald. Zowel bij directe als bij indirecte observatie lijkt zowel de grootte van de lichaamshoek, als het lichaamsdeel waarvan de hoek wordt geschat, een kleine invloed te hebben op de schattingsfouten.

Verder onderzoek naar de bruikbaarheid van observatiemethoden zou zich moeten richten op de betrouwbaarheid waarmee houdingsregistraties kunnen worden gedaan, en de invloed van de wijze waarop houdingsgegevens worden geregistreerd op de nauwkeurigheid van de observaties.

Uit de metingen vanaf foto's bleek dat, bij kleine draaiing van het lichaam ten opzichte van cameravlak (kleiner dan  $5^\circ$ ) kleine houdingsverschillen (tot  $5^\circ$ ) kunnen worden aangetoond. Wordt deze draaiing groter, dan neemt het effect van perspectivische vertekeningen toe. De in het onderzoek gevonden fouten blijken, met name bij grote draaiingshoek, ook samen te hangen met de grootte van de te meten lichaamshoek.

De gevonden fouten bij fotografie komen goed overeen met theoretisch berekeningen van het effect van perspectivische vertekeningen. Deze berekeningen kunnen dan ook worden gebruikt om na te gaan welke minimale houdingsverschillen kunnen worden aangetoond via metingen vanaf foto's, onder bepaalde condities. Hierbij moet rekening worden gehouden met een geringe extra fout bij het meetproces vanaf de foto.

Nog onduidelijk is in hoeverre in de praktijk kan worden voldaan aan de eis van kleine draaiing van het lichaam ten opzichte van het cameravlak.

## 1. ALGEMENE INLEIDING

### 1.1 Achtergrond

Gezondheidsproblemen van het bewegingsapparaat vormen in Nederland de belangrijkste diagnostische oorzaak van langdurig ziekteverzuim en arbeidsongeschiktheid. Jaarlijks zijn er ruim 300.000 gevallen van langdurig ziekteverzuim en ruim 20.000 nieuwe WAO-intredes met de diagnose "bewegingsapparaat-aandoeningen" (vooral rugklachten). Dergelijke problemen betekenen niet alleen veel ongemak voor de betrokkenen; ze zijn ook zeer kostbaar voor het bedrijfsleven en de maatschappij als geheel. Het gaat hierbij om kosten zoals produktiviteits- en kwaliteitsverlies, opleiden en inwerken van invallende werknemers, kosten van sociale uitkeringen en kosten van medische behandeling en van begeleiding bij terugkeer in de arbeidssituatie. De kosten voor WAO/AAW-gevallen met deze diagnose (rond 200.000 mensen) bedragen elk jaar 5 miljard gulden.

Het is dan ook niet verwonderlijk dat de roep om preventieve maatregelen bij werkgevers, werknemers en overheid steeds luider wordt. De recente wetgeving op het gebied van arbeid en gezondheid kan een stimulans betekenen voor het nemen van preventieve maatregelen. De Arbeidsomstandighedenwet (ARBO-wet) verplicht de werkgever en de werknemer om samen knelpunten in de arbeidsomstandigheden aan te pakken om gezond en veilig werken te bevorderen. Met de Wet Arbeid Gehandicapte Werknemers (WAGW) worden bedrijven ondermeer verplicht gesteld om een percentage arbeidsongeschikte werknemers in dienst te houden of te nemen.

Ter ondersteuning van het beleidsprogramma "Fysieke belasting en Arbeid" van de overheid heeft het Directoraat-Generaal van de Arbeid (DGA) van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid een onderzoekprogramma op dit terrein in uitvoering.

Het DGA-programma loopt reeds vanaf 1986 en is opgesteld naar aanleiding van een advies van de Commissie Arbeidsgeneeskundig Onderzoek (CARGO). Het programma bestaat enerzijds uit onderzoek ten behoeve van primaire en secundaire preventie en anderzijds uit onderzoek met als doel de relatie tussen arbeid en gezondheid in meer algemene zin te bestuderen. Naar aanleiding van een interne nota van DGA "Fysieke belasting en arbeid" is recentelijk een vervolg op dit DGA-programma geformuleerd in de vorm van een gezamenlijk DGA-TNO meerjaren onderzoekprogramma op het gebied van de preventie van bewegingsapparaat-problematiek.

Het eerste onderzoek in het kader van het DGA-programma werd uitgevoerd door de "Onderzoeksgroep Bewegingsapparaat" van het Nederlands Instituut voor Praeventieve Gezondheidszorg-TNO (NIPG-TNO) in Leiden. Het betreft een inventariserend onderzoek naar de bruikbaarheid van ergonomische richtlijnen ten behoeve van de preventie van beroepsgebonden rugproblematiek (Dul & Hildebrandt 1987). Uit dit onderzoek kwam ondermeer naar voren dat er weliswaar veel richtlijnen bestaan, maar dat de kwaliteit en bruikbaarheid veelal discutabel is. Op het gebied van tillen zouden wellicht nog keuzes kunnen worden gemaakt voor concrete richtlijnen, maar op andere gebieden zoals statische werkhoudingen zijn geen onderbouwde richtlijnen voorhanden.

## 1.2

**Doel van het ontwikkelen van in het veld bruikbare methoden**

Mede op grond van de resultaten van het bovenstaande rapport en de aanbevelingen die daarin gedaan zijn, heeft het DGA besloten enkele vervolgonderzoeken uit te (laten) voeren. Een van de lijnen betreft het ontwikkelen en implementeren in de praktijk van eenvoudige onderzoeksmethoden die door Arbo-deskundigen kunnen worden gebruikt.

Doel van deze methoden is dat Arbo-deskundigen daarmee zelf de fysieke belasting, en meer in het bijzonder de locomotore belasting (i.e. de mechanische belasting van het bewegingsapparaat), in het werk kunnen kwantificeren. Het uiteindelijk doel is om op basis van de uitkomsten van eenvoudige analyses preventieve maatregelen te kunnen voorstellen en testen op hun effect. Hierdoor zouden, zonder gebruik te maken van concrete ergonomische richtlijnen, toch verantwoorde ergonomische verbeteringen kunnen worden aangebracht.

## 1.3

**Bedrijfsgezondheidskundige relevantie**

Arbo-deskundigen zoals bedrijfsartsen, bedrijfsverpleegkundigen, veiligheidskundigen, arbeidshygiënist, bedrijfsfysiotherapeuten en ergonomen hebben in het kader van preventie ondermeer tot taak eventuele knelpunten in de arbeidssituatie op te sporen om vervolgens bij te dragen aan verantwoorde oplossingen voor de gesignaleerde problemen.

Voor deze laatste taak zouden concrete, op de praktijk toegesneden, richtlijnen de functionaris moeten ondersteunen. Zoals uit het onderzoek van Dul & Hildebrandt (1987) bleek, laat de kwaliteit en bruikbaarheid van concrete ergonomische richtlijnen voor de preventie van gezondheidsproblematiek van het bewegingsapparaat momenteel nog te wensen over.

Hoewel de kwaliteit en bruikbaarheid van veel bestaande richtlijnen discutabel is, bestaan er bepaalde inzichten, ondermeer ook uit epidemiologisch onderzoek (Hildebrandt 1988), op grond waarvan meestal wel een richting voor verbetering van bepaalde arbeidsomstandigheden is aan te geven, namelijk vermindering van de fysieke belasting van overbelaste delen van het bewegingsapparaat. Het uiteindelijke doel is het verkleinen van de kans op gezondheidsproblematiek.

Preventieve maatregelen kunnen op dit principe gebaseerd worden. Gaat het bij preventieve maatregelen om evidente verbeteringen, waarover bij alle betrokkenen geen verschil van mening bestaat over het effect, namelijk dat de belasting vermindert, dan is evaluatie niet nodig; zij het dat men wellicht ongewenste neveneffecten wil aantonen. De evidente veranderingen zijn doorgaans ingrijpend en daardoor moeilijker te realiseren. Vaak zijn er wel andere, goed realiseerbare, kleinere verbeteringen in taak, hulpmiddelen en werkplek mogelijk. Deze verbeteringen kunnen het geconstateerde knelpunt geheel of gedeeltelijk opheffen, maar zeker is dat niet. Voordat de mogelijke verbeteringen op grotere schaal kunnen worden toegepast zal het daarom nodig zijn om na te gaan of een beoogd effect in de praktijk ook is bereikt en of ook hier eventuele ongewenste belastende neveneffecten optreden die verdere aanpassingen noodzakelijk maken.

Behalve voor het signaleren van knelpunten zijn ook voor evaluatie-onderzoek kwalitatief goede, relatief eenvoudige, praktisch bruikbare methoden van onderzoek gewenst, tegen redelijke kostprijs.

#### 1.4

#### **Stand van zaken omtrent het gebruik van methoden en methode-ontwikkeling**

In de praktijk van de bedrijfsgezondheidszorg en ergonomie worden naast gezondheidskundige gegevens ook gegevens verzameld over taak en werkplek tijdens spreekuur of werkplekbezoek. Ondermeer worden hiervoor vragenlijsten gebruikt, zoals de bekende groene formulieren (Van Putten 1987) of de VPFA-vragenlijst (Dijkstra e.a. 1981). Een deel van deze vragen heeft een signalerende functie met betrekking tot eventuele belastingsrisico's van het bewegingsapparaat. Een op het NIPG ontwikkelde specifieke vragenlijst (Hildebrandt 1989) is toegespitst op gezondheid en werkbelastingfactoren betreffende het bewegingsapparaat en wordt gebruikt voor screening en epidemiologisch onderzoek. Deze is eveneens breed van opzet. Door de brede opzet zijn bovengenoemde vragenlijsten minder geschikt voor specifiekere analyses, die noodzakelijk zijn voor het evalueren van gerichte preventieve maatregelen.

In een oriënterend onderzoek in het veld dat in het kader van een onderzoek over gezondheidsvoorlichting en -opvoeding (GVO) ten behoeve van de preventie van beroepsgebonden rugproblematiek werd uitgevoerd (Van der Grinten e.a. 1988), werden door 22 BGD-en vragen beantwoord over in de bedrijfsgezondheidszorg geregeld gebruikte specifieke methoden voor registratie van locomotore belasting. De NIOSH-methode voor het analyseren van tilsituaties werd het meest genoemd (9x), gevolgd door methoden voor analyse van houdingen en bewegingen, zoals foto-analyse (5x), video-analyse (2x) en observatie-methoden (3x), waaronder ook de OWAS-methode. Vragenlijsten worden ook geregeld gebruikt, maar deze zijn vooral breed van opzet (4x).

Andere specifieke methoden voor het registreren van locomotore belasting werden niet of slechts 1 keer genoemd, hoewel deze ook beschikbaar zijn. Voorbeelden zijn: inclinometrie voor het meten van hoeken van lichaamsdelen, EMG-registratie voor het registreren van spieractiviteit, vragenlijsten voor "ervaren belasting", waarmee lokaal ervaren ongemak of lichamelijke vermoeidheid kan worden geregistreerd.

Technische ontwikkelingen, zoals miniaturisering en nieuwe computertoepassingen, hebben mede geleid tot nieuwe mogelijkheden voor onderzoek. Eenvoudige draagbare video-recorders, filmtoestellen en instrumenten als inclinometers, goniometers, lengtemeters, EMG-apparatuur alsmede invoerterminals voor observatiegegevens en apparatuur voor data-opslag en -bewerking zijn inmiddels commercieel verkrijgbaar tegen niet al te hoge kosten.

De voortschrijdende ontwikkeling van vragenlijsttechnieken, in het bijzonder subjectieve schaaltechnieken, biedt wellicht ook mogelijkheden voor evaluatie van optredende inwendige belastingen.

#### 1.5

#### **Probleemstelling**

Het globale overzicht in § 1.4 biedt echter nog te weinig inzicht in de beschikbaarheid van bestaande methoden, welke kwaliteiten deze hebben en hoe bruikbaar deze zijn in de praktijk.

De primaire vraag is welke beschikbare registratiemethoden praktisch bruikbaar zijn voor Arbo-deskundigen in het veld om het effect van ergonomische maatregelen te evalueren en wat de validiteit, de betrouwbaarheid, de gevoeligheid en de nauwkeurigheid van de verschillende methoden is.

## 1.6 Doel en fasering van het onderzoek

Doel van dit onderzoek is om indicaties te krijgen over betrouwbaarheid, validiteit en praktische bruikbaarheid van eenvoudige onderzoeksmethoden voor de praktijk, om locomotore belasting te kwantificeren.

Deze indicaties zijn bedoeld om verder vorm te geven aan het beleid van DGA aangaande implementatie en/ of verdere ontwikkeling van eenvoudige methoden voor registratie van locomotore belasting voor gebruik door Arbo-deskundigen.

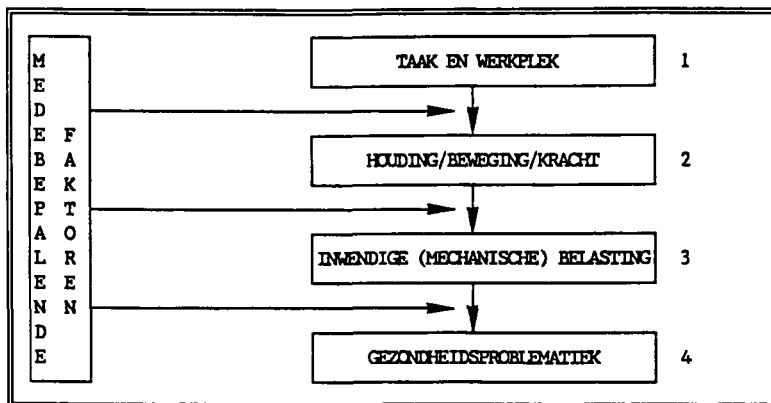
Het onderzoek is gefaseerd van opzet:

- fase 1: Een literatuuronderzoek, met als doel: een inventarisatie en beoordeling van beschikbare methoden, aan de hand van tevoren opgestelde criteria.
- fase 2: Beperkt pilot-onderzoek met als doel: het testen van enkele eigenschappen van veelbelovende methoden testen.

## 1.7 Voorselectie van soorten methoden

Bij de uitwerking van de probleemstelling was het nodig nadere keuzes te maken aangaande de soorten methoden die nader bestudeerd zouden worden.

Bij de selectie van methoden is uitgegaan van het NIPG-model om de relatie arbeid en gezondheidsproblematiek van het bewegingsapparaat te beschrijven (Hildebrandt 1988). Het model is afgebeeld in figuur 1.1.



**Figuur 1.1**

Vereenvoudigd model relatie arbeid en gezondheidsproblematiek van het bewegingsapparaat.

Om interventies op het niveau van "Taak en werkplek" (blok 1) en impliciet ook hulpmiddelen te evalueren op locomotore belastingsaspecten kunnen in principe evaluatiemethoden behorend tot de blokken 2, 3 en 4 gehanteerd worden. Ook medebepalende factoren, zoals de zelf gekozen werkmethode binnen de gestelde taken kunnen naast ergonomische factoren doel van interventie en evaluatie zijn (Van der Grinten e.a. 1988). Gezondheidskundige evaluaties (blok 4) van interventies zijn van groot belang, maar vaak erg complex omdat veel factoren een rol kunnen spelen in het uiteindelijke gezondheidsresultaat. Bovendien zijn positieve of negatieve effecten vaak pas op de lange termijn vast te stellen. Aan deze methoden wordt in het kader van epidemiologisch onderzoek gewerkt (Hildebrandt 1988).

In het hier beschreven onderzoek gaat het om de korte termijn gevolgen van taak en werkplek. Indicatoren uit blok 2 en blok 3 worden als criterium gebruikt bij het ontwikkelen en testen van oplossingen.

### **1 Houdings-, bewegings- en krachtsaspecten in de taak (blok 2)**

Houdingen en bewegingen kunnen bijvoorbeeld worden geregistreerd via directe observatie, indirecte observatie, door meting vanaf foto's, film- of video-opnamen, met geïnstrumenteerde methoden zoals inclinometers, goniometers en via opto-elektronische registratiesystemen, zoals VICON en SELSPOT. Uitwendige krachten kunnen worden gemeten met krachtopnemers ("strain gauges").

### **2 Inwendige belastingsaspecten (blok 3)**

Hieronder vallen inwendige biomechanische momenten, krachten of drukken en registreerbare lokale vermoeidheidsfenomenen. Deze kunnen bijvoorbeeld bepaald worden via biomechanische computermodellen, waarvoor overigens invoergegevens vereist zijn die bepaald kunnen worden met methoden uit blok 2.

Verder kunnen indicaties over spieractiviteit verkregen worden met behulp van electromyografie (EMG). Ook de gewaarwording van ervaren kracht, inspanning, of lokaal ervaren ongemak als gevolg van bepaalde inwendige belastingen kan een belangrijk bron van gegevens zijn in evaluatie-onderzoek. Speciaal gericht op evaluatie van de belasting van de wervelkolom worden soms wel indicatoren als Intra abdominal pressure (IAP= de druk in de buikholte), Shrinkage (S= het inzakken van de tussenwervelschijven) en Intra discal pressure (IDP= de druk tussen de tussenwervelschijven) gebruikt.

De veelheid van methoden is groot. Daarom is op voorhand een nadere keuze nodig. Het gaat in dit onderzoek om eenvoudige methoden die voor het veld bruikbaar zijn. Methoden met een klinisch karakter (zoals IAP, S, IDP, en EMG met draad- of naaldelektroden uit blok 3) vallen af. Kostbare registratiemethoden met geavanceerde systemen, zoals VICON en SELSPOT vallen eveneens buiten het criterium "relatief eenvoudig".

Een analyse en beoordeling van bruikbare biomechanische modellen, valt buiten het bestek van dit onderzoek. In een ander DGA-project zijn deze reeds geëvalueerd (Delleman & Drost 1989).

Methoden om uitwendige krachten te registreren (blok 2) vormen geen onderdeel van het hier beschreven onderzoek.

Voor het eerste gedeelte van onderzoek naar eenvoudige methoden zijn de onderstaande soorten methoden aan een literatuuronderzoek onderworpen en beoordeeld.

- 1      **methoden voor het bepalen van uitwendige belasting: houdingen en bewegingen (blok 2):**
  - directe en indirecte observatie-methoden;
  - handmatig opmeten vanaf foto-, film- of videobeelden;
  - metingen direct op het lichaam.
- 2      **methoden voor het registreren van inwendige belasting in spieren, pezen, banden, kapsels en gewrichten (blok 3):**
  - electromyografie voor het bepalen van spieractiviteit;
  - registratie van ervaren belasting.

## 1.8

### **Twee deelonderzoeken**

Om redenen van omvang en inhoudelijke consistentie is ervoor gekozen om het onderzoek in twee deelonderzoeken te splitsen en om daarover ook gescheiden te rapporteren. De scheiding heeft plaats gevonden tussen soorten methoden die uitwendige (houding en beweging) of inwendige belastingsindicatoren registreren (zie 1 en 2 hierboven).

De titels van de deelonderzoeken luiden:

- A      Inventarisatie en beoordeling van in het veld bruikbare methoden voor het registreren van houdingen en bewegingen. Over dit onderzoek gaat dit rapport.
- B      Inventarisatie en beoordeling van in het veld bruikbare methoden voor het registreren elektrische spieractiviteit (EMG) en ervaren belasting.  
Over dit onderzoek is een aparte publikatie verschenen. (Van der Grinten 1990)

## 1.9

### **Opbouw van dit rapport**

In het volgende, tweede hoofdstuk zal verslag worden gedaan van het literatuuronderzoek naar eenvoudige methoden ter registratie van houding en beweging. Naar aanleiding van deze literatuurstudie werd een keuze gemaakt van enkele methoden, waarvan enkele eigenschappen in het experimentele deel van het onderzoek nader werden bestudeerd. Deze keuze wordt toegelicht in de inleiding van hoofdstuk 3. In hoofdstuk 3 wordt een pilotstudie beschreven, waarin de validiteit van drie eenvoudige methoden voor houdingsregistratie, te weten directe observatie, indirecte observatie en fotografie, wordt bestudeerd. Het rapport wordt afgesloten met een hoofdstuk (hoofdstuk 4), waarin de algemene conclusies van het literatuuronderzoek en pilotonderzoek en de daaruit voortkomende aanbevelingen worden beschreven.

## 2. LITERATUURONDERZOEK NAAR EENVOUDIGE METHODEN TER REGISTRATIE VAN HOUDING EN BEWEGING

### 2.1 Inleiding

#### 2.1.1 Stand van zaken en nieuwe ontwikkelingen

Om na te gaan of preventieve maatregelen het beoogde effect hebben, namelijk een vermindering van de fysieke belasting, oftewel een verbetering van werkhoudingen of -bewegingen, worden thans verschillende methoden gebruikt door Arbo-deskundigen in de bedrijven.

Een veel gebruikte methode is die, waarbij de registratie van houdingen via observatie plaatsvindt, hetzij direct in de arbeidssituatie, hetzij vanaf een beelddrager (foto, film, video). Vaak worden daarbij speciale formulieren gebruikt, waarop vooraf gedefinieerde houdingen worden geregistreerd. Een voorbeeld van deze methoden is de Ovako Working posture Analysing System (OWAS)-methode.

Observatietechnieken zijn vaak goed bruikbaar voor het opsporen van schadelijke werkhoudingen en bewegingen binnen een dagtaak van een werknemer. Een nadeel van dergelijke technieken is dat ze soms te onnauwkeurig zijn om kleine ergonomische veranderingen te beoordelen op hun effect. Daarvoor zal vaak gebruik moeten worden gemaakt van meer geavanceerde instrumenten, die tot nog toe vooral door wetenschappelijke onderzoekers in het laboratorium of in de praktijk zijn toegepast. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om foto-, film- of video-apparatuur om houdingen en bewegingen in arbeidssituaties vast te leggen, waarna handmatig metingen worden verricht vanaf de verzamelde beelden.

Met behulp van meetinstrumenten zoals de (elektro)goniometers en (elektro)inclinometers, die op het lichaam van de werknemer worden aangebracht, kan handmatig of elektronisch de houding van een lichaamsdeel bepaald worden. De elektronische registratie van een deel van deze methoden brengt een toename van objectiviteit met zich mee.

De nieuwste ontwikkelingen op het gebied van registratie van houding en beweging vindt men terug in de opto-elektronische meetmethoden. Bij deze geavanceerde methoden wordt gebruik gemaakt van camera's en computerapparatuur, waarmee op het lichaam van de werknemer aangebrachte markers automatisch gedetecteerd worden. Het werk van de deskundige wat betreft data-verzamelen en -verwerken kan zo tot een minimum worden teruggebracht.

De drie laatst genoemde soorten meetapparatuur (handmatig meten vanaf foto-, film- of videobeelden, meetinstrumenten op het lichaam, opto-elektronische meetsystemen) zijn tot nog toe niet of nauwelijks gebruikt door deskundigen in de bedrijven. Enerzijds valt dit toe te schrijven aan de vereiste investeringen en deskundigheid, anderzijds is nog niet duidelijk welke van deze apparatuur bruikbaar zou kunnen zijn in de praktijk van de Arbo-deskundigen.

Een overzicht van bestaande registratiemethoden van houding en beweging en hun betrouwbaarheid, validiteit en praktische bruikbaarheid voor Arbo-deskundigen ontbreekt. In deze literatuurstudie zal getracht worden een dergelijk overzicht te geven, waarbij de opto-elektronische systemen buiten beschouwing worden gelaten vanwege de voor aanschaf van deze systemen benodigde investeringen. Voor een bespreking van de technische eigenschappen van de opto-elektronische meetinstrumenten wordt verwezen naar Halewijn (1988).

De observatiemethoden worden relatief uitgebreid besproken, om een vergelijking van deze, door Arbo-deskundigen reeds veel toegepaste, methoden mogelijk te maken.

### 2.1.2

#### Opbouw van dit hoofdstuk

Allereerst zullen, in § 2.2, de selectie van de meetmethoden en wijze van verzamelen van literatuur worden beschreven. Tevens komt in deze paragraaf aan de orde hoe de bespreking van de meetmethoden zal plaatsvinden.

In de volgende drie paragrafen (§ 2.3 t/m § 2.5) worden de verschillende meetmethoden besproken aan de hand van de in § 2.2 genoemde aandachtspunten. Achtereenvolgens zijn dit:

- observatie door een deskundige (§ 2.3);
- handmatig opmeten vanaf foto-, film-, of videobeelden (§ 2.4);
- handmatig of elektronisch opmeten, waarbij de apparatuur in direct contact staat met het lichaam (§ 2.5).

De keuze van de besproken methoden wordt in de volgende paragraaf toegelicht.

In de paragrafen 2.3, 2.4 en 2.5 worden de afzonderlijke meetmethoden besproken. Binnen deze paragrafen werd gekozen voor een indeling die voor de in die paragraaf beschreven groep methoden de meeste duidelijkheid verschaft. Per afzonderlijke methode wordt een beschrijving gegeven van de toepassingen, wijze van registratie en verwerking van de resultaten, en een beoordeling van de validiteit, betrouwbaarheid en praktische bruikbaarheid van de methode. Iedere paragraaf wordt afgesloten met een conclusie betreffende praktische bruikbaarheid voor gebruik in de arbeidssituatie van de meetmethoden die in die paragraaf zijn besproken. In § 2.6 (discussie van het literatuuronderzoek) wordt getracht de lezer inzicht te geven in de bruikbaarheid van de diverse methoden in verschillende arbeidssituaties. De conclusies van het literatuuronderzoek worden in § 2.7 kort samengevat.

## 2.2 Methode van het literatuuronderzoek

### 2.2.1 Selectie van de meetmethoden

In dit literatuuronderzoek worden alleen meetmethoden besproken, die aan de volgende eisen voldoen:

- met de methode worden houdingen en/of bewegingen gemeten. Dat wil zeggen dat methoden aan de hand waarvan belasting van het bewegingsapparaat langs een andere weg wordt bepaald niet zijn besproken. Hierdoor valt bijvoorbeeld de NIOSH-methode af, waarbij de belasting wordt bepaald aan de hand van de horizontale en verticale verplaatsingsafstand en massa van een te tillen gewicht;
- houding en/of beweging moeten uitwendig worden gemeten (een methode als radiografie valt hier dus buiten);
- de methode moet in arbeidssituaties toepasbaar zijn, en niet alleen in laboratorium-situaties (bijvoorbeeld vanwege onverplaatsbare apparatuur);
- de methode moet houdingen en/of bewegingen kunnen registreren zoals die in de arbeidssituatie voorkomen (methoden waarvoor een specifieke houding moet worden aangenomen worden uitgesloten).
- er moet voldoende literatuur beschikbaar zijn over de methode. Hierdoor vallen methoden af, waarbij houding en beweging worden bepaald door de "observatie" (oftewel subjectieve beoordeling) van houdingen en/of bewegingen door de proefpersonen zelf;

De meetmethoden die na deze selectie overbleven werden vervolgens ingedeeld in de volgende 3 categorieën:

- 1 observatie door een deskundige (al dan niet vanaf een beelddrager);
- 2 handmatig of semi-automatisch opmeten vanaf foto, film of video;
- 3 handmatig of elektrisch meten, waarbij de apparatuur in direct contact staat met het lichaam.

### 2.2.2 Verzamelen van de literatuur

Langs onderstaande wegen werd over bovenstaande registratiemethoden literatuur verzameld.

- 1 Relevante literatuur werd gezocht in het bestand van de Onderzoeksgroep Bewegingsapparaat van het NIPG-TNO.
- 2 Uit referenties van een aantal belangrijke review-artikelen (Atha 1984, Rohmert & Mainzer 1986, Adrian 1973, Percy 1986) werd literatuur over de daarin besproken meetinstrumenten geselecteerd.
- 3 De Ergonomic Abstracts van 1986 en 1987 werden handmatig doorgelopen op relevante literatuur.
- 4 Een computer-search werd uitgevoerd in enkele relevante databestanden (Medline, Embase) op verschillende keywords waaronder body movement, body posture, body position, measurement, work load, namen van de verschillende meetmethoden zoals OWAS, Goniometry etc.

De drie eerstgenoemde zoekprocedures leverden het meeste resultaat. Bij de computer-search bleek het moeilijk om de juiste weg te vinden naar de voor dit onderzoek relevante literatuur, omdat onderzoeken niet primair naar onderzoeksmethode zijn ingedeeld.

## 2.2.3

Beoordeling van de meetmethoden

Aan de hand van in de literatuur genoemde criteria, waaraan methoden ter registratie van houding en beweging in arbeidssituaties zouden moeten voldoen (Lansbury 1966, Odenrick e.a. 1987, Keyserling 1987, Colombini e.a. 1985, Veeger 1983) en eigen inzichten hieromtrent werd een lijst opgesteld van criteria. Deze lijst diende als leidraad bij de beoordeling van de registratiemethoden van houding en beweging. De criteria zijn verdeeld in vier groepen: "betrouwbaarheid en validiteit" (groep I), "aard van de belasting en werkzaamheden" (groep II), "doel van het onderzoek" (groep III), en "praktische overwegingen" (groep IV) en staan in tabel 2.1. In de paragrafen 2.3, 2.4 en 2.5, waar de verschillende meetmethoden worden besproken, hebben de beoordelingscriteria uit de groepen I, II en IV voorop gestaan. In § 2.6 wordt aan de ARBO-deskundigen een leidraad gegeven voor de keuze van een meetmethode. Daarbij heeft ook het doel waarvoor de ARBO-deskundige de methode wil gebruiken (beoordelingscriteria uit groep III) een rol gespeeld.

Om aan te kunnen geven in welke mate de verschillende meetmethoden aan de in tabel 2.1 genoemde criteria voldoen, werd per criterium een driepuntsschaal (goed, matig, slecht) gedefinieerd. Grenzen die bij deze beoordelingen worden gehanteerd zijn gesteld op basis van eigen ervaring en inzicht, en zijn soms arbitrair. Bij de beoordeling werd uitgegaan van de methode, zoals deze is ontwikkeld en beschreven in de literatuur. Vaak zijn bepaalde "eigenschappen" van een methode eenvoudig aan te passen c.q. te veranderen (bijvoorbeeld door een computer toe te voegen om de gegevens te verwerken). Hiermee dient rekening gehouden te worden bij de interpretatie van de beoordeling. Enkele van de in deze literatuurstudie gebruikte begrippen worden hieronder toegelicht. Voor de andere factoren wordt verwezen naar tabel 2.1.

De registratie van houdingen en/of bewegingen kan continu plaatsvinden, waarbij naast de frequentie ook de tijdsduur van iedere houding wordt gemeten, bijvoorbeeld door bij iedere verandering van houding ook het tijdstip van verandering aan te geven. Vaak wordt echter gebruik gemaakt van de zgn. Multi-Moment-Opmametechniek (MMO). Bij deze techniek worden lichaamshoudingen "gesampled" met vaste of variabele (bekende) tijdsintervallen, waarmee een frequentieverdeling van de geobserveerde houdingen wordt verkregen over de meetperiode. MMO-technieken hebben het nadeel dat achteraf niet duidelijk is hoelang de afzonderlijke houdingen werden ingenomen. Beide methoden kunnen in principe worden toegepast bij alle hier besproken methoden. Bij enkele methoden wordt een maat voor de belasting bepaald. Het valt buiten het kader van dit literatuur onderzoek om de grondslagen en waarden van de berekende maten voor de belasting te onderzoeken. Dergelijk onderzoek is echter noodzakelijk om te kunnen bepalen in hoeverre bepaalde methoden van onderzoek geschikt zijn voor het vergelijken van de resultaten uit verschillende arbeidssituaties en eventueel opstellen van richtlijnen aan de hand waarvan de toelaatbaarheid van de belasting in een bepaalde werksituatie kan worden beoordeeld.

Op grond van de literatuur is het niet mogelijk voor ieder meetinstrument alle in tabel 2.1 genoemde aspecten te beoordelen. De beschrijving zal hierdoor niet altijd compleet zijn.

**Tabel 2.1**

De criteria aan de hand waarvan de verschillende methoden ter registratie van houding en beweging zijn beoordeeld. De gebruikte indeling om verschillen tussen methoden te kunnen aangeven is: goed (+), matig (o) en slecht (-)

## **I Criteria op grond van betrouwbaarheid en validiteit van het meetinstrument.**

Ieder meetinstrument dient te voldoen aan eisen van betrouwbaarheid en validiteit.

### **1 Betrouwbaarheid:**

Wordt bij herhaling van de metingen, door dezelfde deskundige (intrabeoordelaarbetrovbaarheid), en door verschillende deskundigen (interbeoordelaarbetrovbaarheid), hetzelfde gemeten?

beoordeling intrabeoordelaarbetrovbaarheid:

- + percentage variatie  $\leq 10\%$ ;
- o  $10\% < \text{percentage variatie} \leq 20\%$ ;
- percentage variatie  $> 20\%$ .

beoordeling interbeoordelaarbetrovbaarheid:

- + correlatiecoëfficiënt  $\geq .90$ ;
- o  $.70 \leq \text{correlatiecoëfficiënt} < .90$ ;
- correlatiecoëfficiënt  $< .70$ .

### **2 Validiteit:**

- Constructvaliditeit: in hoeverre wordt gemeten wat bedoeld wordt te meten?
- Predictieve validiteit: heeft de methode een voorspellende waarde voor bijvoorbeeld het ontstaan van klachten of aandoeningen aan het bewegingsapparaat.

Voor de beoordeling worden dezelfde grenswaarden gebruikt als bij de interbeoordelaarbetrovbaarheid<sup>14</sup>.

## **II Criteria met betrekking tot de aard van de belasting en werkzaamheden.**

De belasting die men wil meten wordt veroorzaakt door verschillende werkgebonden factoren.

- 1 Houdingen (standen van lichaamsdelen) versus bewegingen (snelheid en/of versnelling van lichaamsdelen).
- 2 Kort-cyclisch werk (dezelfde werkzaamheden worden vaak herhaald) versus variërend werk over de dag. Aangegeven wordt voor welke soort werkzaamheden de methode is ontwikkeld of zou kunnen worden gebruikt.
- 3 Belasting van het totale lichaam versus belasting van één (of meerdere) lichaamsdelen (of gewrichten):
  - hoofd (nek);
  - bovenarmen (schouders);
  - onderarmen/handen (ellebogen/polsen);
  - romp: stand van de gehele romp (heup) of kromming van de romp (wervelkolom);
  - benen/voeten (of heupen/knieën/enkels).
- 4 Houdingen of bewegingen die kunnen worden beschreven met 2- of 3-dimensionale gegevens.

## **III Criteria op grond van het doel van het onderzoek.**

Afhankelijk van de vraagstelling van het onderzoek zal men geïnteresseerd zijn in één of meer van de volgende factoren.

### **1 Resultaten in de vorm van:**

- totale en gemiddelde duur en frequentie per houding (door continue registratie);
- een frequentieverdeling van houdingen (door Multi-Moment-Opname);
- snelheid en/of versnelling.

- 2 Een maat voor de mechanische belasting, op basis van de gemeten houding en eventueel een beoordeling van de gemeten belasting. Aangegeven wordt op welke wijze een maat voor de belasting en eventueel wordt bepaald, bijvoorbeeld met behulp van:
  - een biomechanische model;
  - ENG-metingen;
  - anders (bijvoorbeeld op grond van het oordeel van deskundigen of werknemers, of de relatie met klachten of aandoeningen van het bewegingsapparaat).
- 3 De werkhandeling behorende bij de meest belastende houdingen (door deze synchroon te registreren).
- 4 Meer of minder nauwkeurige gegevens over houding en/of beweging:
  - + binnen 2.5° nauwkeurig (er wordt gemeten in houdingsranges van 5°);
  - o tussen de 2.5° en 15° nauwkeurig (houdingsranges van 5° tot 30°);
  - minder dan 15° nauwkeurig (houdingsranges groter dan 30°).
- 5 Andere indicatoren van fysieke belasting, bijvoorbeeld de energetische belasting geschat middels de hartslagfrequentie, gekoppeld aan houdingsgegevens.

#### IV Criteria op grond van praktische overwegingen.

Praktische overwegingen, zoals hieronder genoemd, kunnen een belangrijke rol spelen bij de keuze van een meetinstrument.

- 1 De aanschafkosten van de methode (hardware en software):
  - + aanschafkosten  $\leq$  f1000,-;
  - o f1000,- < aanschafkosten  $\leq$  f2500,-;
  - aanschafkosten > f2500,-.
- 2 De benodigde voorbereidingstijd op de werkplek:
  - + voorbereidingstijd  $\leq$  10 min;
  - o 10 min < voorbereidingstijd  $\leq$  30 min;
  - voorbereidingstijd > 30 min.
- 3 Eenvoud van de bediening, oftewel de benodigde leertijd (training):
  - + leertijd  $\leq$  1 dag;
  - o 1 dag < leertijd  $\leq$  1 week;
  - leertijd > 1 week.
- 4 Of het meetinstrument direct contact maakt met de proefpersoon.
- 5 Of toepassing van de methode een vaste werkplaats van de werknemer(s) vereist.
- 6 Hoe arbeidsintensief de metingen zelf zijn:
  - + als per meting minder dan 5 seconden nodig is;
  - o als per meting tussen de 5 en 10 seconden nodig is;
  - als per meting meer dan 10 seconden nodig is.
- 7 Of de verwerking van de gegevens computermatig verloopt.
- 8 De eenvoud van verwerking van de gegevens:
  - + computermatig (uitgaande van een redelijk gebruikersvriendelijk programma);
  - o handmatige, eenvoudige berekeningen;
  - computermatige of handmatige berekeningen, waarvoor wel deskundigheid is vereist.
- 9 Hoe arbeidsintensief de verwerking van de resultaten is (+ als voor de verwerking een gebruikersvriendelijk programma kan worden gebruikt).
- 10 Of de methode al veel wordt toegepast in arbeidssituaties (met andere woorden of: of er al veel ervaring is met toepassing van de methode op dit gebied).

## 2.3      **Overzicht van methoden voor observatie van houding en/of beweging**

### 2.3.1      **Inleiding**

Binnen deze categorie vallen de methoden waarbij registratie van houding en beweging plaatsvindt door middel van directe observatie (i.e. in de arbeidssituatie) en indirecte observatie (i.e. observatie vanaf videobeelden of foto's). Alle observaties zijn gericht op het vastleggen van standen van (of hoeken tussen) lichaamsdelen, of van het gehele lichaam (ten opzichte van een referentiehouding, bijvoorbeeld de anatomische houding), eventueel aangevuld met informatie over uitwendige belasting en taken.

Bij observaties wordt vaak gebruik gemaakt van speciale registratieformulieren, gebaseerd op een analyse van de werksituatie en selectie van de relevante variabelen daarin, voorafgaand aan het onderzoek. Verschillende directe observatiemethoden, waarbij gebruik gemaakt wordt van een registratieformulier, worden besproken in § 2.3.2.

Soms wordt de informatie omtrent de waargenomen houdingen, in plaats van op een registratieformulier, in een computer ingevoerd, bijvoorbeeld door voor iedere toets van een toetsenbord een bepaalde houding te definiëren. In § 2.3.3 komen deze methoden aan de orde.

Omdat het moeilijk is, met name in dynamische werksituaties, om door middel van directe observatie werkhoudingen snel te registreren zonder te veel informatie te verliezen, wordt wel gebruik gemaakt van beelddragers. De te beoordelen werkzaamheden worden eerst "in beeld gebracht", waarna deze beelden met een zelf te bepalen snelheid en frequentie (aantal beelden dat wordt beoordeeld) kunnen worden bekeken. Het vastleggen van de gebeurtenissen op de werkplek door middel van foto's, film of video biedt het voordeel ten opzichte van directe observatie dat de houdingen zo lang en zo vaak als nodig of gewenst is kunnen worden bestudeerd, en eventueel door meerdere onderzoekers. In de praktijk kan dit een toename in nauwkeurigheid bewerkstelligen. Indirecte observatiemethoden, waarbij fotografie, film of video wordt gebruikt voor registratie en verwerking van gegevens worden besproken in § 2.3.4. De paragraaf wordt afgesloten met een conclusie, in § 2.3.5.

### 2.3.2      **Directe observatiemethoden, waarbij registratieformulieren worden gebruikt**

#### 2.3.2.1      **Methode Zuidema en daarvan afgeleide methoden**

##### **Beschrijving**

Door Zuidema (1976, 1979) wordt een MMO-methode beschreven, die specifiek is uitgewerkt voor het bepalen van de rugbelasting. Met behulp van gemiddelde EMG-waarden van de m. erector spinae van 19 proefpersonen werd de statische rugbelasting geschat bij verschillende werkhoudingen, en gerelateerd aan de maximaal te leveren spierkracht (MVC) bij die houdingen. Op deze wijze konden aan de verschillende werkhoudingen relatieve belastingswaarden worden toegekend. De volgende houdingen en activiteiten werden door Zuidema gemeten: staan, zitten (onjuist of correct), met rechte of voorovergebogen rug, gefixeerde of bewegende rug, of de romp al dan niet wordt afgesteund, de te tillen last of uit te oefenen kracht.

De wijze van registratie is als volgt. De onderzoeker loopt langs de verschillende werkplekken en registreert met vaste tijdsintervallen (MMO) de houding en uitwendige krachtoefening van een werknemer op een daarvoor bestemd formulier. Deze

gegevens leveren informatie op over de frequentieverdeling van de relevante werkhoudingen. De gesummeerde produkten van de relatieve belastingswaarde en de frequentie van de werkhoudingen levert dan één getal op dat representatief geacht wordt voor de statische rugbelasting.

Zuidema (1976) paste deze methode ondermeer toe bij metaalbewerkers, magazijnpersoneel en kantoorpersoneel.

Voskamp & Wubbels (1977, in Arnolds e.a. 1988) hebben de methode Zuidema in aangepaste vorm gebruikt bij een studie naar de werkbelasting van werknemers in een keramisch bedrijf. Met behulp van codes gaven zij de hele lichaamshouding, de rughouding en de uitwendige krachtsuitoefening aan.

Gegevens over betrouwbaarheid en validiteit van de door Zuidema ontwikkelde methode zijn niet bekend.

#### **Praktische bruikbaarheid**

De door Zuidema beschreven methode is ontwikkeld voor toepassing in arbeidssituaties met variërende werkzaamheden. De methode is (als de EMG-gegevens van Zuidema worden gebruikt) eenvoudig, maar vrij arbeidsintensief wat de metingen en de verwerking van de gegevens betreft (Zuidema 1976).

De nauwkeurigheid waarmee houdingen worden beschreven is klein, waardoor de methode niet bruikbaar is voor het aantonen van kleine houdingsverschillen.

Een maat voor de rugbelasting bij de verschillende houdingen wordt berekend op grond van metingen bij een kleine groep proefpersonen (19), en maakt generalisatie van de gebruikte weegfactoren naar een andere groep werknemers discutabel.

### **2.3.2.2 De OWAS-methode**

#### **Beschrijving**

Deze MMO-methode werd beschreven door Heinsalmi (1986), Keijsers (1985), Kuorinka (1986), Jongert e.a. (1985) en Corlett e.a. (1979), en toegepast door Lan Hing (1987), Karhu e.a. (1977), Karhu e.a. (1981), Keijsers e.a. (1985) en Greuell e.a. (1984). De OWAS (Ovako Working Postures Analysing System) werd in de Finse staalindustrie (Ovako) ontwikkeld (1974-1978) met het doel werkmethode te verbeteren door het herkennen en elimineren van schadelijke werkhoudingen.

Bij de OWAS-methode wordt informatie verzameld over werkhoudingen, die zijn geclassificeerd naar romp- (4 klassen), arm- (3 klassen), been- (7 klassen) en hoofdhouding (5 klassen). Deze houdingen zijn weergegeven in figuur 2.1. Voor de uitwendige belasting, die ook wordt beoordeeld, zijn 3 klassen toegevoegd zodat in totaal 252 basis combinaties mogelijk zijn. Daarnaast zijn er nog 36 additionele houdingen (3 been-, 4 rug- en 3 armhoudingen) en 5 hoofdhoudingen, die apart worden beoordeeld. Al deze combinaties zijn ingedeeld in 4 actie-categorieën, waaraan een bepaalde belastingsgraad is toegekend. Deze beoordeling vond plaats door 32 ervaren staalwerkers en een aantal Arbo-deskundigen en fysiologen respectievelijk het ervaren ongemak en het effect op de gezondheid per houding (nagebootst met behulp van een manikin) te laten beoordelen. De vier categorieën worden uitgedrukt in aanbevelingen voor het management:

1. geen overbelasting: geen maatregelen nodig;
2. geringe overbelasting: in de naaste toekomst maatregelen nodig;
3. duidelijke overbelasting: zo spoedig mogelijk maatregelen nemen;

#### 4. forse overbelasting: onmiddellijk maatregelen nemen.

De totale werkhouding wordt (met een vier-cijferige code) genoteerd op speciale formulieren, waarbij met een bepaald tijdsinterval in een vaste volgorde (volgens de MMO-methode) de stand van verschillende lichaamsdelen wordt aangegeven. Bovendien worden de op dat moment uitgevoerde werkhandelingen genoteerd.

Binnen de OWAS-methode zijn twee versies te onderscheiden, te weten:

- basic OWAS: voor werkzaamheden waarbij het gehele lichaam in actie komt, overwegend dynamisch werk (bewegen en buigen van rug, armen en benen);
- specifiek OWAS: voor werkzaamheden die voornamelijk met de handen worden verricht, veel werkplek gebonden arbeid (kort-cyclisch werk met vooral activiteit van de armen en het hoofd).

Uit de verzamelde data kan het percentage van de houdingen dat binnen de 4 verschillende actie-categorieën valt worden berekend. Op deze wijze vindt een beoordeling van de resultaten plaats.

Door Greuell e.a. (1984) werd de rugbelasting als gevolg van werkzaamheden op de centrale sterilisatie afdeling van een ziekenhuis onderzocht. Door middel van de MMO-techniek werd de expositieduur van vooraf gedefinieerde houdingen geschat. Bij de geobserveerde houdingen werd via biomechanische berekeningen de twee-dimensionale compressiekracht op L3/L4 bepaald.

Door Keijsers e.a. (1985) werd een onderzoek uitgevoerd naar het verband tussen werkbelasting, gemeten met de OWAS-methode, en klachten van het bewegingsapparaat, gemeten met een vragenlijst. De resultaten van het onderzoek, dat werd uitgevoerd bij 49 mannelijke onderhoudswerkers op de Hoofdwerkplaats Amersfoort van de NS, bevestigen het bestaan van een verband tussen lichaamshoudingen tijdens arbeid en klachten van het bewegingsapparaat niet.

#### **Betrouwbaarheid**

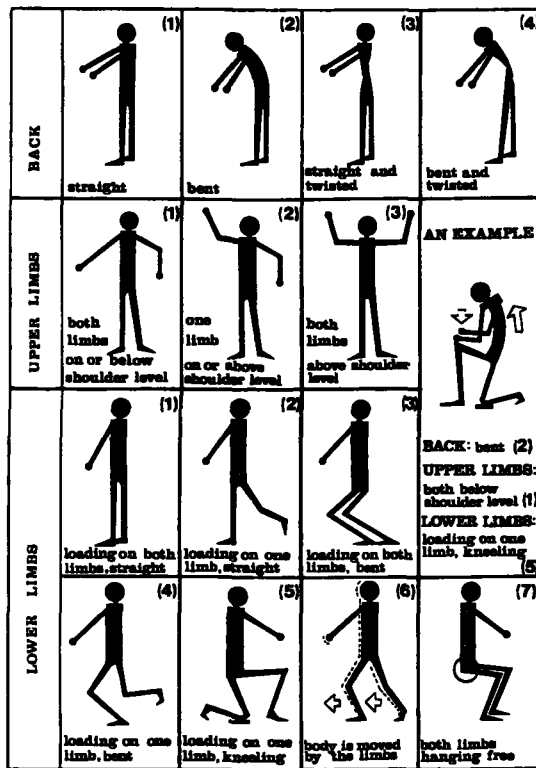
Volgens Karhu (1977) is de methode betrouwbaar genoeg voor toepassing in de ergonomie. Hij vond tijdens de pilotstudy in de Finse staalindustrie een overeenkomst tussen de resultaten van verschillende observators van 93%.

Heinsalmi (1986) vond een overeenkomst van 90% tussen de resultaten van verschillende observators bij toepassing van de OWAS-methode in enkele fabrieken. In dit onderzoek bleek vooral de observatie van beweging en romprotatie moeilijk te zijn.

#### **Validiteit**

Om na te gaan in hoeverre de OWAS-methode een goede predictieve validiteit bezit, werden de resultaten uit onderzoek met de OWAS-methode vergeleken met ziekteverzuim (Heinsalmi 1986). Een significante relatie werd gevonden tussen de resultaten van genoemde onderzoeken bij vrouwen ( $p < .01$ ), maar niet bij mannen.

De resultaten van het onderzoek, dat werd uitgevoerd door Keijsers e.a. (1985) bij onderhoudswerkers bij de NS, vormen geen bevestiging voor het bestaan van een verband tussen lichaamshoudingen tijdens arbeid en klachten van het bewegingsapparaat.



**Figuur 2.1**

De indeling van houdingen, zoals gebruikt bij de OWAS-methode (uit: Karhu e.a. 1977)

### Praktische bruikbaarheid

Het verzamelen van de houdingsgegevens met de OWAS-methode is arbeidsintensief. Dit geldt ook voor de verwerking van de gegevens, tenzij dit computermatig gebeurt. De methode is redelijk eenvoudig te gebruiken. Om met voldoende betrouwbaarheid te kunnen meten is een trainingsperiode van ongeveer een week nodig (Heinsalmi 1986, Lan Hing 1987, Karhu 1977, Corlett 1979). De verwerking van de gegevens is eenvoudig en kan eventueel computermatig geschieden. De nauwkeurigheid waarmee houdingen worden beschreven is klein, waardoor de methode niet bruikbaar is voor het aantonen van kleine houdingsverschillen.

De indeling in actie-categorieën is gebaseerd op mannen, en behoeft wellicht enige correctie voor situaties waar houdingen van vrouwen worden geobserveerd (Keijsers 1985).

Gegevens over de onderzoeken waarop de beoordelingen van resultaten zijn gebaseerd, zijn niet beschikbaar, waardoor de grondslagen van deze beoordeling onduidelijk zijn (Bulthuis e.a. 1988, Keijsers 1985).

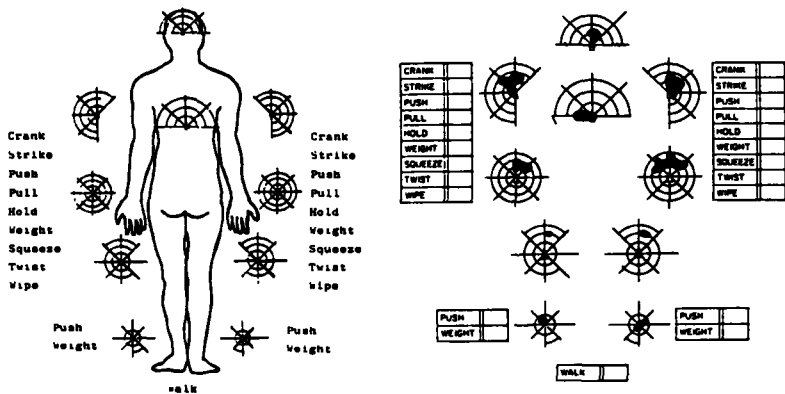
### 2.3.2.3 Methode Corlett ("posture targeting")

#### Beschrijving

Door Corlett e.a. (1979) werd voor ergonomische doeleinden een methode ontwikkeld, waarbij de stand van hoofd, romp en ledematen ten opzichte van de anatomische houding wordt aangegeven op een cirkelvormig diagram behorende bij het desbetreffende lichaamsdeel (figuur 2.2). Men kan iedere verandering (eventueel inclusief het tijdstip) registreren, zodat de houding continu bekend is, of de MMO-techniek kan worden toegepast. Door de houdingen op vaste tijdstippen achter elkaar op afzonderlijke sheets aan te geven, wordt informatie verkregen over de frequentieverdeling van de houdingen, en de volgorde waarin de houdingen voorkomen.

In plaats van op afzonderlijke formulieren kunnen houdingen ook (voor een beperkt aantal registraties) op één formulier worden geregistreerd, waardoor snel is af te lezen in welke houdingsrange een bepaald lichaamsdeel zich bevond in de meetperiode.

De verwerking van de gegevens geschiedt handmatig, maar zou ook computermatig kunnen plaatsvinden, waarbij iedere "target" in een diagram omgezet wordt in XY-coördinaten (Corlett e.a. 1979).



**Figuur 2.2**

Houdingen worden bij de methode Corlett aangegeven op een cirkelvormig diagram behorende bij het desbetreffende lichaamsdeel (uit: Corlett & Manenica 1980)

#### Betrouwbaarheid

Volgens Corlett e.a.(1979) kunnen, vanwege de beperkte registratiesnelheid, alleen statische werkhoudingen met voldoende betrouwbaarheid worden geregistreerd. De intrabeoordelaarbetrouwbaarheid werd bepaald door houdingen vanaf dia's, in 30 seconden, herhaald te laten registreren door dezelfde observateurs. Na een uur instructie was de, op deze wijze bepaalde, betrouwbaarheid redelijk goed ( $0.67 \leq r \leq 0.88$ , Corlett e.a. 1979).

### **Validiteit**

Een vergelijking van de resultaten, verkregen via de beschreven observatiemethode, en observaties vanaf (stilstaande) filmbeelden, leverde matige correlaties op (Corlett e.a. 1979). De resultaten van hoofd, romp en bovenbenen correleerden gemiddeld wel significant ( $p < .05$ ), maar die van armen en onderbenen niet. Dit werd verklaard door verandering van de houding tijdens de registratie (bij directe observatie). Het is onduidelijk op welke wijze de data vanaf de filmbeelden zijn verzameld, en of deze registratiemethode een goed criterium vormt voor het bepalen van de validiteit van de Corlett-methode.

### **Praktische bruikbaarheid**

De wijze van registratie is eenvoudig. Na een instructieperiode van een uur leverde zij al een redelijk goede intrabeoordelaarbetrouwbareheid (significante correlatie met  $p < .01$ , Corlett e.a. 1979). De nauwkeurigheid waarmee houdingen worden beschreven is matig, waardoor de methode niet bruikbaar is voor het aantonen van kleine houdingsverschillen. De registratie en de verwerking van de gegevens zijn, als deze handmatig plaatsvinden, vrij arbeidsintensief. Er wordt geen belastingsmaat berekend. Ook worden de resultaten niet beoordeeld.

## **2.3.2.4**

### **Methode Chaffin**

#### **Beschrijving**

Chaffin e.a. (1977) bespreken de waarde van een door hun ontwikkelde "biomechanical strength evaluation method" voor het beoordelen van manuele (til)taken. Observaties op de werkplek leveren de benodigde informatie voor het model. De houding (staan, zitten, bukken, hurken, diep hurken, overhellen (schuin gestrekt lichaam), benen voor elkaar), de taak (trekken, duwen, tillen, de richting van de kracht etc.), het soort last en de handlokatie worden genoteerd op speciale formulieren.

Via biomechanische berekeningen zijn resulterende momenten op ieder gewricht bepaald bij verschillende gewrichtshoeken en uitwendige krachten. Deze resulterende momenten werden vergeleken met de maximale reactieve momenten die door de betrokken spiergroepen bij de desbetreffende gewrichten kunnen worden geleverd. Aan de hand van metingen bij een normatieve populatie (1300 mannen en vrouwen in 9 verschillende fabrieken) werden deze maximale spierkrachten in verschillende houdingen bepaald via uitwendige krachtmeting. Aan de hand van dit model kan de belasting van tiltaken worden geëvalueerd. Per houding geeft het model informatie over de resulterende momenten op de verschillende gewrichten, het percentage van de populatie (mannen of vrouwen) dat in staat is de benodigde kracht te leveren, en de spiergroepen die de maximaal te leveren kracht bepalen. Voor de belasting op de rug wordt aangegeven of NIOSH-normen worden overschreden.

Over betrouwbaarheid en validiteit van deze wijze van observatie en evaluatie van houdingen zijn geen gegevens bekend.

#### **Praktische bruikbaarheid**

De indeling van houdingen bij de hier beschreven registratiemethode is vrij grof, in tegenstelling tot de indeling van houdingen waarop de biomechanische berekeningen zijn gebaseerd. Het model lijkt dan ook vooral bruikbaar bij een meer gedetailleerde houdingsregistratie. De hier beschreven methode bevat een beoordelingsmethode voor de rugbelasting, nl. de via de NIOSH-methode berekende action limit (AL) en maximal

permissible limit (MPL). De houdingsregistratiemethode is onvoldoende beschreven om een indruk te kunnen geven van de praktische bruikbaarheid voor de Arbo-deskundige.

### 2.3.2.5 Dans-notatiesystemen

#### Beschrijving

In de danswereld zijn methoden ontwikkeld om de houdingen en bewegingen tijdens het dansen te registreren. Om de geobserveerde houdingen en bewegingen snel te kunnen vastleggen worden posities van verschillende lichaamsdelen door speciale symbolen gerepresenteerd.

Het Benesh-notatiesysteem bestaat uit het noteren van een aantal symbolen die de extremiteiten en hun relatie met de romp en elkaar representeren, op een soort notenbalk. Deze tweedimensionale registratiemethode geeft een goed beeld van de werkelijkheid, maar is zeer moeilijk te leren (Corlett e.a. 1979, Corlett & Manenica 1980).

Een aanpassing van het Benesh notatiesysteem werd gemaakt om de houding en beweging van zittende werknemers te bestuderen (Kember 1976). Op 5 lijnen van een soort notenbalk worden van boven naar beneden resp. de posities van hoofd, schouders, middel, knieën en voeten in twee dimensies geregistreerd. Speciale tekens worden gebruikt om de posities van de ledematen in het sagittale vlak aan te geven. Een aparte notenbalk wordt gebruikt om de positie van de stoel te beschrijven. Deze aanpassing van de Benesh-methode is, evenals de oorspronkelijke versie, zeer moeilijk te leren (Corlett & Manenica 1980).

Een ander dans-notatiesysteem is het zgn. Laban notatiesysteem.

Deze methode werd door Madeley bestudeerd en ongeschikt bevonden voor industrieel gebruik omdat uitgegaan wordt van frequente herhaling van houding en beweging, die meerdere malen geobserveerd moet worden. Bovendien is de interpretatie van de gegevens onduidelijk en, net bij het Benesh notatiesysteem, de instructieperiode relatief lang (Corlett e.a. 1979).

Over betrouwbaarheid en validiteit van deze methoden zijn geen gegevens bekend.

#### Praktische bruikbaarheid

Omdat deze methoden erg moeilijk te leren zijn lijken de dansnotatiesystemen, nog afgezien van andere mogelijke nadelen van deze methoden, niet geschikt voor gebruik door Arbo-deskundigen.

### 2.3.3 Directe observatiemethoden waarbij de registratie met behulp van toetsenborden plaatsvindt

#### 2.3.3.1 De ROTA-methode

#### Beschrijving

Het ROTA-systeem (Robens Occupation and Task Analysis System) is een nieuwe methode, gebaseerd op het gebruik van een draagbare microcomputer, en wordt beschreven door Ridd (1987), Clark e.a. (1987), Ridd & Clark (1987). De (menuge-

stuurde) software biedt verschillende mogelijkheden. Vooraf dient bekend gemaakt te worden van welk programma men gebruik wil maken of dat men een nieuw programma wil samenstellen. Ruimtelijke houdingen van hoofd, romp (ook rotaties), armen en benen, activiteiten, de uitwendige belasting en omgevingsvariabelen kunnen worden geregistreerd door voorgedefinieerde toetsen aan te slaan. Men kan één werknemer of meerdere werknemers tegelijk bestuderen. De te bestuderen houdingen en/of activiteiten, de duur en aard (continu of op vaste tijdstippen) van de registratie en de nauwkeurigheid waarmee men de hoeken wil registreren (op 30° of op 45° nauwkeurig) moeten vooraf worden gekozen. De maximale snelheid waarmee observaties kunnen worden geregistreerd bedraagt 1 maal per 15 seconden (Ridd 1987). Duur en frequentie van de verschillende houdingen worden op deze wijze bepaald en tevens blijft de volgorde van de houdingen bewaard.

#### **Betrouwbaarheid**

De interbeoordelaarbetrouwbaarheid kan hoog zijn na ongeveer 5 dagen oefenen, volgens Clark (1987). De betrouwbaarheid binnen observators werd niet bestudeerd.

#### **Validiteit**

In het onderzoek van Clark e.a. (1987) werd gekeken naar de nauwkeurigheid waarmee toetsen aangeslagen konden worden bij het lezen van woorden die activiteiten representeren, van een beeldscherm. Het percentage correcte toets-aanslagen nam tijdens de training toe en stabiliseerde na ongeveer 5 dagen op gemiddeld 92.3% (sd = 2.5).

#### **Praktische bruikbaarheid**

De bediening van de apparatuur van de ROTA-methode vereist enige training (ongeveer 5 dagen, Clark e.a. 1987).

De methode is eenvoudig aan te passen aan een specifieke arbeidssituatie, waardoor deze vooral geschikt lijkt voor situaties waarin de werkzaamheden gevarieerd zijn (Ridd & Clark 1987).

Aan de hand van biomechanische berekeningen kan (volgens Ridd & Clark 1987) eventueel een maat voor de belasting worden berekend. Men kan zich echter afvragen of het zinvol is een biomechanische belastingsmaat te berekenen op basis van houdingsgegevens die zo weinig nauwkeurig zijn als het geval is bij de ROTA-methode.

### **2.3.3.2 Methode Van Rooijen (BG-bouw)**

#### **Beschrijving**

Door Van Rooijen (1982) werd de door Zuidema (1976, 1979) beschreven methode aangepast en in de bouw toegepast. Door de Stichting Arbeidstechnisch Onderzoek Bouwnijverheid (SAOB) werd deze methode, met aanvulling van een computermatige registratie en verwerking van gegevens, toegepast. De methode is gericht op variërende werksituaties in de bouw, waarbij zittend werk nauwelijks voorkomt en de werknemer niet aan een werkplek gebonden is. Aan de hand van een arbeidsanalyse werd een indeling gemaakt van de meest voorkomende werkhoudingen, die gerepresenteerd worden door symbolen.

Informatie over de houding van de rug + benen (16), armen (5) en hoofd (3) en de grootte (3) en vorm (3) van de belasting, een taakomschrijving en de ondergrond waarop men werkt wordt geregistreerd. Deze registratie vindt plaats met een speciaal

registratieformulier of met een lichtpen en barcodes waarmee de verschillende houdingen direct in een computer kunnen worden ingevoerd (figuur 2.3). Op deze wijze wordt informatie verzameld over de houdingen van groepen werknemers, die om de beurt, met vaste intervallen (MMO) worden geobserveerd. Uit de verzamelde gegevens kan een frequentieverdeling van de verschillende houdingen worden bepaald. Bij gedetailleerde werkhandelingen worden video-opnamen gemaakt, die later worden geanalyseerd.

Over betrouwbaarheid en validiteit zijn geen gegevens bekend.

## Praktische bruikbaarheid

De methode is eenvoudig en betrekkelijk goedkoop (afhankelijk van het gebruik van een computer en video-apparatuur). Het verzamelen van de gegevens is arbeidsintensief, de computermatige verwerking niet. De nauwkeurigheid waarmee houdingen worden beschreven is klein, waardoor de methode niet bruikbaar is voor het aantonen van kleine houdingsverschillen. Er wordt geen belastingsmaat bepaald.

|                          |                           |                          |                          |                              |
|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|
| <b>studienr:</b> 7       | <b>blad:</b> 3            | <b>datum:</b> 17-10      | <b>bouwplaats:</b> A'dam | <b>ploeggrootte:</b> 4 pers. |
| <b>1: MORTEL SPUITEN</b> | <b>5: SPROEIEN</b>        | <b>9: VERPLAATSEN GR</b> | <b>C:</b>                | <b>H:</b>                    |
| <b>2: AFFEIJEN</b>       | <b>6: DICHTPLEISTEREN</b> | <b>0: SCHAVEN</b>        | <b>D:</b>                | <b>K:</b>                    |
| <b>3: VLAKKEN</b>        | <b>7: AFPLEISTEREN</b>    | <b>A: AFWERKEN</b>       | <b>E:</b>                | <b>L:</b>                    |
| <b>4: INWASSEN</b>       | <b>8: FORTEREN</b>        | <b>B: SCHOONMAKEN</b>    | <b>G:</b>                | <b>M:</b>                    |

| omschrijving:       | man: | Begin: 9.51 | rondelinterval: 2 min |
|---------------------|------|-------------|-----------------------|
| HOUTING             | HOED |             |                       |
| AR'EN               |      |             |                       |
| RUGBIBEN.           |      |             |                       |
| BELASTING LI MIDIZW |      |             |                       |
| STAT/DYN/OHB        |      |             |                       |
| LOPSTILTAAN         |      |             |                       |
| HANDELING           |      |             |                       |



Figure 2.3

Methode Van Rooijen (BG-Bouw): het registratieformulier voor handmatige registratie, en barcodes voor computermatige registratie (uit: Van Rooijen 1982)

### 2.3.3.3 Ergoloc

#### **Beschrijving**

Ergoloc is een registratiesysteem, ontwikkeld door Van Dieën (1988). Er wordt gebruik gemaakt van een toetsenbord waarvan de lay-out overeen komt met de vorm van diagrammen (vergelijkbaar met die van Corlett). De methode is ontwikkeld voor het continu registreren van voor-, zij-, achterwaarts buigen (waarbij de bewegingsrange respectievelijk wordt ingedeeld in 5, 3 en 2 zones) en roteren (waarbij 2 tot 3 gradaties mogelijk zijn) van de lumbale/thoracale en cervicale wervelkolom en de bovenarmen, in situaties waarbij de werkzaamheden sterk variëren (zoals in de land- en tuinbouw). De stand van de benen wordt niet beschouwd.

Een maat voor de belasting wordt berekend op grond van een zgn. kinesiologische factor (KF), een tijdsfactor (TF) en een mechanische factor (MF). De kinesiologische factor geeft aan in welke mate een houding belastend is, en is gebaseerd op onderzoek naar schadelijke effecten (in termen van beroepsgebonden aandoeningen) van de houdingen (Van Dieën 1987). De mechanische factor is een maat voor de belasting als gevolg van uitwendige krachtleverantie en wordt berekend op grond van de uitwendige krachten en de relevante lichaamshoeken. De tijdsfactor is een maat voor de statische effecten van de houding. Een overall-maat op basis van deze factoren kan worden berekend voor gevallen waarin de werkzaamheden sterk met elkaar overeen komen. In andere gevallen moeten de factoren apart worden beschouwd (Van Dieën 1988).

De Ergoloc-methode werd door Van Dieën (1988) voor het eerst toegepast in een vergelijkend onderzoek met 3 proefpersonen naar de rug- en schouderbelasting bij twee teeltmethoden van tulpen.

Gegevens over de betrouwbaarheid en validiteit zijn (nog) niet bekend.

#### **Praktische bruikbaarheid**

Voor de bediening van het registratiesysteem van Van Dieën lijkt wel enige training vereist (op grond van overeenkomsten met de eerder beschreven methode van Corlett en het gebruik van een toetsenbord). Of de berekening van de belastingsmaat op grond van de genoemde mechanische, kinesiologische en tijd factor geheel computermatig verloopt, is onduidelijk.

Met behulp van Ergoloc worden nu alleen nog arm- en hoofd/rughoudingen beoordeeld. Gezien de naar verwachting matige nauwkeurigheid van de methode is het de vraag of toepassing van de methode voor het uitvoeren van biomechanische berekeningen zinvol is.

### 2.3.3.4 Andere methoden waarbij toetsenborden worden gebruikt

#### **Beschrijving**

Patka e.a. (1984, 1985) ontwikkelden COMONS (Computer Movement Notation System), gebaseerd op Laban concepten (dansnotatie), en paste dit toe in de analyse van werk in een mijn. Relevante houdingen werden in de vorm van symbolen op een computerkaart en op beeldscherm weergegeven. De symbolen kunnen eenvoudig aangepast worden aan een specifieke situatie, of nieuwe symbolen kunnen worden toegevoegd. Op dit concept van Patka baseerden Baleshta & Fraser (1986) hun observatie-methode. De symbolen werden aangepast voor de continue registratie van armbewegingen (elleboog, pols, hand en vingers). Nummers op het toetsenbord komen overeen met 53 symbolen die het gewricht, de gewrichtshoek, de handeling (grijpen, wringen etc.),

duur van de actie, benodigde kracht (effort), het instrument dat wordt gebruikt etc., weergeven.

Deze methode werd toegepast in een bedrijf voor telecommunicatie, bij manuele kort-cyclische arbeid (Baleshta & Fraser 1986).

Bij de methode beschreven door Baleshta & Fraser (1986) geven de resultaten informatie over de duur en frequentie van de vooraf gedefinieerde houdingen.

Gegevens over de betrouwbaarheid en validiteit van deze methoden zijn niet bekend.

#### **Praktische bruikbaarheid**

Uit de toepassing van de methode van Baleshta & Fraser (1986) bleken de voorbereidingen en registratie met deze methode nogal arbeidsintensief. Voor gebruik in de arbeidssituatie is, bij de hier besproken methoden (nog) ontbrekende, draagbare apparatuur nodig. De informatie over deze methode is onvoldoende om inzicht te verschaffen in de praktische bruikbaarheid van de methode voor de Arbo-deskundige.

### **2.3.4**

#### **Observatie met behulp van foto-, film- of videobeelden**

Beelddragers bieden de mogelijkheid om houdingen met iedere gewenste snelheid te registreren en observeren. De beelden kunnen eventueel later opnieuw worden bekeken. Daardoor is het niet noodzakelijk vooraf een grote inperking van te registreren houdingen te maken. De in deze paragraaf besproken methoden hebben met elkaar gemeen dat de gebruikte apparatuur de methoden duurder maakt dan directe observatie, met name als verwerking van de gegevens computermatig plaats vindt. Een overzicht van verschillende opname-technieken zal in de volgende paragraaf worden gegeven. In deze paragraaf worden de verschillende observatiemethoden besproken, waarbij gebruik wordt gemaakt van beelddragers. In principe kunnen natuurlijk alle eerder besproken directe observatie-methoden ook uitgevoerd worden aan de hand van foto-, film- of videobeelden.

### **2.3.4.1**

#### **ARBAN**

##### **Beschrijving**

ARBAN staat voor Arbetsanalyser (hetgeen Zweeds is voor arbeidsanalyse).

De beschrijving van deze methode is gebaseerd op die van Wangenheim e.a. (1986), Holzmann (1982), Voigt (1978), Bulthuis e.a. (1988), Keijsers (1975), Lan Hing (1987) en Arnolds e.a. (1988). De ARBAN-methode is ontwikkeld voor het opsporen van knelpunten bij cyclische arbeid.

Met 2 camera's worden video-opnamen gemaakt van een representatief deel van de werkzaamheden van een werknemer. Daarnaast worden kenmerken van het werk vastgelegd, zoals de productiesnelheid.

Op basis van de snelheid van bewegingen wordt een interval gekozen waarmee de videobeelden worden geanalyseerd (een MMO-techniek).

Van de geobserveerde houdingen wordt een belastingsmaat berekend voor 14 lichaamsdelen, hoofd, romp, linker en rechter schouder, arm en hand, linker en rechter bovenbeen, knie en voet. De belasting wordt gezien als het resultaat van vier factoren (de zgn. "basic factors"):

1. de houding en de belasting door het eigen lichaamsgewicht;

2. de uitwendige krachtsuitoefening;
3. trillingen en schokken;
4. de tijdsduur van de belasting, de aard van de belasting (statisch of dynamisch) en de stand van de gewrichten.

De belasting ten gevolge van de houding wordt bepaald met behulp van een bestaande houdingenatlas, ontwikkeld door Carlsöö (zie Wangenheim 1986), waarin op grond van het oordeel van deskundigen en werknemers aan verschillende houdingen comfort-scores zijn toegekend. De comfort-scores zijn afkomstig van een door Borg ontwikkelde schaal op basis van psychofysisch onderzoek, en lopen van 0 (rust) tot 10 (extreem belastend). Per houding werd de belastingsgraad (%MVC) bepaald door de benodigde en maximale kracht te meten met een dynamometer.

Een maat voor de statische belasting is gebaseerd op metingen van Rohmert in 1962, waarbij voor verschillende houdingen de maximale volhoudtijd werd bepaald.

Met deze gegevens kan een totaalmaat voor de belasting (computermatig) worden berekend. Deze totale belasting kan grafisch worden uitgezet tegen een tijdsas. Als de belasting boven een bepaalde limiet uitstijgt wordt het bijbehorende videobeeld nader bestudeerd om tot adviezen omtrent werkplekverbetering te komen. Hierbij worden eventueel metingen (met een gradenboog) op de videobeelden gedaan.

(Uit het Zweeds vertaalde) gegevens over betrouwbaarheid en validiteit van deze methode zijn niet bekend.

#### **Praktische bruikbaarheid**

De resultaten hangen in grote mate af van de deskundigheid die de observator bezit om de belasting die een bepaalde houding met zich mee brengt te beoordelen. De ARBAN-methode is na enkele uren training eenvoudig te gebruiken door niet-deskundigen (Holzmann 1982).

De nauwkeurigheid waarmee houdingen en belastingen worden geschat is onduidelijk. Ook is niet duidelijk waarop de gestelde limiet voor de belasting is gebaseerd.

De verwerking van de gegevens gebeurt computermatig, en daarmee snel. De methode is relatief duur door het feit dat gebruik wordt gemaakt van video- en computerapparatuur.

### **2.3.4.2**

#### **VIRA**

##### **Beschrijving**

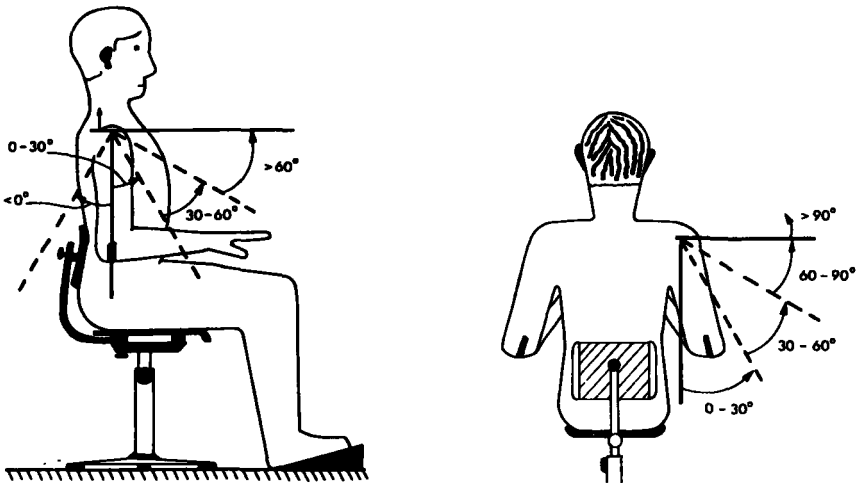
Deze VIRA-methode (Video Recording and Analysis) werd ontwikkeld en toegepast door Kilbom e.a. (1986a, 1986b) voor het registreren van nek- en schouderbewegingen van kort-cyclisch, repetitief manueel werk met kleine uitwendige belasting. Omdat bij dit type werk de houdingen te snel veranderen om met behulp van directe observatie te kunnen worden geregistreerd, wordt gebruik gemaakt van video-opnamen. De bewegingen van de nek en schouders in het sagittale en frontale vlak worden vastgelegd met behulp van twee camera's. De gewrichten worden met tape gemarkeerd. Vanaf de videobeelden worden duur en frequentie van verschillende vooraf gedefinieerde houdingen geregistreerd. De volgende houdingen worden geregistreerd: 0°-30°, 30°-60°, 60°-90° zijwaarts- en voorwaarts opheffen en > 90° zijwaarts opheffen van de bovenarm, en achterwaarts opheffen van de bovenarm, hoofd in rust of voorover gebogen en schouders in rust of opgetrokken (figuur 2.4). De gradenranges zijn op een glasplaat, die voor de tv-monitor wordt geplaatst, aangegeven. Bij de registratie

wordt gebruik gemaakt van een toetsenbord, waarop iedere houding door een andere toets wordt gerepresenteerd. Uit de resultaten wordt het aantal en de duur van iedere werkcyclus, het aantal en de duur van de rustperioden, het aantal en de duur van de houdingen en eventueel het percentage van de werkcyclustijd, dat een bepaalde houding wordt aangenomen, berekend. Of ook de volgorde van de bewegingen bewaard blijft is niet bekend.

Keyserling e.a. (1987) beschrijven een dergelijke methode, waarbij met behulp van video-opnamen en een toetsenbord bij drie verschillende zithoudingen de houdingen van romp en arm worden bestudeerd. Deze houdingen werden vooraf ingedeeld in vier verschillende maten van voor-/achterwaarts buigen van de romp, zijwaarts buigen of roteren van de romp en drie verschillende maten van zij- of voorwaarts opheffen van de arm.

Frequentie en (totale en gemiddelde) duur van iedere houding per cyclus en cyclustijd worden computermatig berekend. De houdingen per gewricht kunnen tevens grafisch worden uitgezet tegen de tijd.

De laatst beschreven methode werd toegepast door Punnett e.a. (1987) en Fine e.a., beschreven in Keyserling e.a. 1987) voor het bestuderen van kort cyclisch werk.



**Figuur 2.4**

VIRA-projectie vanaf de (a) rechterzijde en (b) achterzijde (uit: Kilbom e.a. 1986)

### **Betrouwbaarheid**

Na een instructieperiode van 30 minuten bleek dat herhaalde waarnemingen met behulp van de VIRA-methode alleen significante verschillen opleverden bij het voorwaarts opheffen van de bovenarm tussen 0-30° en de registratie van de werktijd en rusttijd (Kilbom e.a. 1986b, correlatie-coëfficiënten werden niet gegeven).

### **Validiteit**

In het onderzoek van Kilbom e.a. (1986a en 1986b) werden significante, maar vrij lage correlaties ( $.20 < r < .40$ ) gevonden tussen het innemen van bepaalde werkhoudingen en het optreden van aandoeningen van de nek en schouders. Op grond van deze resultaten werd door Kilbom e.a. (1986b) geconcludeerd dat werkhoudingen en/of bewegingen indicatoren kunnen zijn voor het risico op het ontstaan van bepaalde klachten, met andere woorden dat zij een redelijk goede predictieve validiteit hebben (Kilbom e.a. 1986b). Op grond van de gevonden (lage) correlaties is het de vraag of deze conclusies gerechtvaardigd zijn.

### **Praktische bruikbaarheid**

De in deze paragraaf besproken methoden zijn ontwikkeld voor het bestuderen van kort-cyclische arbeid. De VIRA-methode bleek eenvoudig uitvoerbaar te zijn na een leertijd van 30 minuten (Kilbom 1986b). De nauwkeurigheid waarmee houdingen worden geregistreerd bij bovengenoemde methoden is matig, waardoor kleine houdingsverschillen niet met deze methoden kunnen worden aangetoond. De verwerking van de gegevens is eenvoudig en snel, dankzij het gebruik van een computer. De gebruikte video- en computerapparatuur maakt de methode duur.

## **2.3.4.3**

### **Keyserling & Budnick (1987)**

#### **Beschrijving**

Door Keyserling & Budnick (1987) werden video-opnamen en een manikin gebruikt om de meest belastende houdingen in een werksituatie te simuleren. De coördinaten van de gewrichten van de simulaties werden zo goed mogelijk geschat met behulp van een digitizer en vormden, samen met de richting en grootte van de uitwendige kracht, input voor een drie-dimensionaal biomechanisch model.

Een vergelijkbare methode is thans in ontwikkeling (door Weide), waarbij in plaats van een elektrische manikin, een manikin in een computerprogramma wordt gebruikt (persoonlijke mededeling).

#### **Betrouwbaarheid**

Keyserling & Budnick (1987) vonden een interbeoordelaarsbetrouwbaarheid bij het simuleren van houdingen met behulp van een manikin en een digitizer die goed was voor hoeken van de elleboog, schouder en romp (percentage verklaarde variantie door de observator bedroeg maximaal .05), en slecht voor de knie- en enkelhoek (percentage verklaarde variantie minimaal .32).

Over de validiteit van deze methode zijn geen gegevens bekend.

#### **Praktische bruikbaarheid**

De door Keyserling & Budnick (1987) beschreven methode is gericht op het definiëren van belastende houdingen in een bepaalde werksituatie. De keuze van de te analyseren (belastende) houdingen is subjectief en zou verschillen kunnen opleveren tussen beoordelaars. Dit werd niet onderzocht. Het simuleren van de houding en vastleggen van de coördinaten van de gewrichten op deze wijze is erg arbeidsintensief. De methode lijkt om genoemde redenen alleen geschikt voor het analyseren van een beperkt aantal, vooraf gekozen, houdingen. Over de nauwkeurigheid waarmee houdingen op de beschreven wijze kunnen worden gesimuleerd zijn geen gegevens bekend.

#### 2.3.4.4 Diversen

### Beschrijving

In een onderzoek naar de optimale tafelhoogte en kanteling van het tafelblad voor het snijden van vlees (Magnusson & Ortengren 1987) werd gebruik gemaakt van video-opnamen en registratieformulieren. Houdingen van de rug, nek, schouders en beide armen werden vooraf vrij grof ingedeeld in categorieën. Voor ieder onderdeel van de bestudeerde taak (het snijden van een half varken) werden de houdingen per lichaamsdeel en bij vier verschillende tafelstanden geregistreerd. Dit werd voor alle belangrijke taken gedaan.

**Op het registratieformulier wordt tevens een indicatie gegeven van de tijdsduur en moeilijkheidsgraad van deeltaken.**

**Uit de resultaten zijn frequentie en relatieve duur van de geregisteerde houdingen af te leiden.**

**Armstrong e.a. (1982)** deden eveneens onderzoek in een vleesverwerkings- fabriek, waarbij cinematografische- en EMG-metingen synchroon liepen. Houdingen van de boven- en onderarmen en handen werden, via een registratieformulier, vastgelegd middels hun lokatie ten opzichte van drie rotatie-assen in de schouder, twee in de elleboog en twee in de pols, waarbij de hoeken in zones werden verdeeld. Voor de handen werden zes verschillende grijp- en knijphoudingen gedefinieerd (figuur 2.5).

ANALYST \_\_\_\_\_  
DATE \_\_\_\_\_

UPPER EXTREMITY POSTURES AND WORK ELEMENT RECORDING SHEET

JOB: \_\_\_\_\_  
HAND: RIGHT/LEFT

| STEP | WORK ELEMENT | SHOULDER          |     |                     |     |                |     |       |     |                  |     | ELBOW |     | WRIST |     | HAND     |     |         |      | FORCE |    |   |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |
|------|--------------|-------------------|-----|---------------------|-----|----------------|-----|-------|-----|------------------|-----|-------|-----|-------|-----|----------|-----|---------|------|-------|----|---|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|---|---|
|      |              | Extension-Flexion |     | Adduction-Abduction |     | Lateral-Medial |     | Angle |     | Forearm Rotation |     | Dev   |     | Angle |     | Position |     | Fingers |      |       |    |   |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |
|      |              | FLX               | EXT | ADD                 | ABD | LAT            | MED | ANG   | ANG | FOR              | ROT | DEV   | ANG | POS   | POS | POS      | POS | POS     | POS  |       |    |   |    |    |    |    |    |    |   |   |   |   |   |   |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|      |              | F 45              | 90  | 135                 | N E | D N            | 45  | B     | L N | 45               | M   | F 90  | 45  | E     | S N | P        | R N | U       | E 45 | N     | 45 | F | PG | MG | PP | LP | PP | FP | O | 1 | 2 |   |   |   |

### Figur 2.5

Een formulier voor registratie van schouder, elleboog, pols en handhoudingen  
vanaf videobeelden, zoals gebruikt door Armstrong e.a. (1982)

Het EMG-sigitaal van de strekkers van de vingers werd in beeld opgenomen, zodat zowel de houdingen van pols en hand als de gemeten kracht tegen een tijdsas konden worden afgezet.

Dezelfde methode werd gebruikt door Punnett & Keyserling (1987), in een analyse van allerlei (kort-cyclische) werkzaamheden in de confectieindustrie.

In een onderzoek van Silverstein e.a. (1986a, 1986b) werd met behulp van twee videocamera's gekeken naar hand- en polsbewegingen tijdens manuele arbeid in zes verschillende fabrieken. Polsbewegingen werden in drie vlakken geregistreerd, waarbij de bewegingsranges per vlak in drie zones werden verdeeld. Deze polsbewegingen en grijpen en knijpen werden vanaf videobeelden drie maal per seconde geregistreerd. Per houding werd het percentage van de meetperiode dat de houding voorkwam berekend.

Opeenzelfde wijze werden werkzaamheden met een hoge prevalentie van schouderaan- doeningen vergeleken met werkzaamheden, waarbij de prevalentie van schouderaan- doeningen laag is (Fine e.a. 1986). Aan de hand van videobeelden van twee camera's werden drie maal per seconde schouderbewegingen in drie vlakken en polsbewegingen in twee vlakken geregistreerd.

Voor het bepalen van de statische rugbelasting van de rug bij laswerk, werd door Veeger (1983) gedurende vijf werkdagen één foto per minuut gemaakt.

Na het bestuderen van de foto's werden houdingen en activiteiten grof ingedeeld in 18 categorieën (deze indeling is te vergelijken met de indeling die door Zuidema werd gebruikt).

Per categorie wordt aangegeven met welk percentage een bepaalde houding voorkomt ten opzichte van de totale meetperiode.

De relatieve frequenties van de verschillende houdingen werden vermenigvuldigd met een door Zuidema (1976) gemeten gemiddelde EMG-waarde van de M. erector spinae van 19 proefpersonen. De som van deze produkten geeft een indicatie van de zwaarte van het werk.

Een biomechanisch model werd gebruikt voor de berekeningen van compressiekrachten op de lumbale wervelkolom. Hiervoor werden de volgende variabelen beschouwd: staan, zitten, rechtop of voorovergebogen (30°, 60°, 90°), voorwaartse buiging van de armen en grootte van de last.

De som van de produkten van de relatieve frequentie van iedere houding en de compressiekracht als gevolg van de houding werd berekend.

De verwerking van de gegevens vond plaats met behulp van een computer.

### **Betrouwbaarheid**

Veeger (1983) bekeek verschillende steekproeven uit het door hem verzamelde fotomateriaal. Als de registratie zou worden teruggebracht tot 1 maal per 5 minuten zou dit een afwijking van gemiddeld 3.1% opleveren ten opzichte van de registratie met een frequentie van 1 maal per minuut, hetgeen duidt op een redelijke betrouwbaarheid van deze MMO-methode in dergelijke statische werksituaties.

Over de validiteit van deze methoden zijn geen gegevens bekend.

### **Praktische bruikbaarheid**

Het registreren van houdingen door middel van observatie vanaf foto-, film- of videobeelden is arbeidsintensief (afhankelijk van de hoeveelheid te verwerken informatie en de gewenste nauwkeurigheid van de registratie). De snelheid waarmee de analyse van de filmbeelden plaatsvond bedroeg bij het onderzoek van Punnett &

Keyserling (1987) na enige training slechts 30 beelden per uur! De nauwkeurigheid waarmee houdingen kunnen worden geregistreerd met bovengenoemde methoden is matig, waardoor deze methoden niet bruikbaar zijn voor het aantonen van kleine houdingsverschillen.

### 2.3.5

#### Conclusies

Voor de directe observatiemethoden geldt dat deze:

- resultaten opleveren, die onvoldoende nauwkeurig lijken om kleine houdingsverschillen aan te tonen;
- niet geschikt zijn voor het bestuderen van kenmerken van bewegingen, als snelheid en versnelling;
- minder geschikt lijken voor het registreren van houdingen in dynamische dan in statische arbeidssituaties omdat bij snel veranderende houdingen de observator te weinig tijd zal hebben om nauwkeurige registratie te maken van de houding;
- geen apparatuur op de proefpersoon vereisen, en de werkzaamheden niet verstoren;
- geschikt zijn voor observatie van een werknemer zonder vaste werkplaats;
- nogal arbeidsintensief zijn wat betreft de uitvoering van de metingen en ook wat betreft de verwerking van de gegevens indien dit handmatig gebeurt;
- goedkoop zijn, met name als gebruik wordt gemaakt van registratieformulieren;
- enige training vereisen (variërend van ongeveer een uur (Corlett) tot ongeveer een week (OWAS)) voor het registreren.

Voor zover deze bekend zijn, zijn de intra- en interbeoordelaar-betrouwbaarheid van de besproken observatiemethoden redelijk tot goed wat betreft voorwaarts gerichte, symmetrische, (twee-dimensionale) houdingen en bewegingen, en slecht wat betreft rotaties, en zijwaartse (en drie-dimensionale) bewegingen.

De nauwkeurigheid van observatiemethoden is niet groot (door de indeling van bewegingsranges in vrij brede zones), waardoor deze methoden over het algemeen niet geschikt lijken voor het opsporen van kleine verschillen in houdingen, en alleen grove schattingen van de mate van belasting kunnen worden gemaakt.

De construct validiteit van de besproken observatiemethoden werd nooit bepaald. De predictieve validiteit van de OWAS-methode, de methode Corlett en VIRA is wel bepaald en werd redelijk bevonden.

Bij enkele methoden wordt een maat voor de belasting berekend op grond van de resultaten. Bij de methode Zuidema gebeurt dit op grond van gemiddelde EMG-metingen, bij de Ergoloc-methode wordt de mate van belasting geschat op grond van schadelijke effecten van houdingen (Van Dieën 1987), biomechanische berekeningen en de duur van de houding, bij de methode Chaffin op grond van biomechanische berekeningen. De waarde van dergelijke belastingsmaten is onduidelijk en behoeft nader onderzoek. Bij de OWAS-methode vindt de beoordeling van de resultaten plaats in termen van subjectieve toelaatbaarheid van houdingen en/of bewegingen. Deze beoordeling is gebaseerd op het (subjectieve) oordeel van deskundigen en de werknemers zelf. Bij de ARBAN-methode is de beoordeling van de belasting gebaseerd op het oordeel van deskundigen en werknemers, en experimentele gegevens over maximale volhoudtijden van houdingen.

Na een korte trainingsperiode (ongeveer een week) lijken de "toetsenbord-methoden" een verbetering ten opzichte van de registratiemethoden met behulp van registratieformulieren, omdat de registratie sneller kan verlopen waardoor er niet veel "gemist" wordt.

Het gebruik van computers verhoogt de snelheid van registratie en verwerking, maar ook de kosten van de methode.

Het gebruik van video-opnamen of fotografie bij indirecte observatie brengt uiteraard extra kosten met zich mee, maar biedt de mogelijkheid tot herbeoordelen van de geobserveerde situatie en registratie vanaf de beelden met iedere gewenste snelheid. Bij gebruik van video of fotografie kan bovendien de hoeveelheid informatie per tijdseenheid groter zijn. Dit maakt de methode beter geschikt voor het bestuderen van kort-cyclische manuele arbeid. Een nadeel is dat de observatie vanaf een tweedimensionaal beeld moet gebeuren en daardoor wellicht moeilijker en onnauwkeuriger is.

De besproken observatiemethoden werden vaak ontwikkeld voor gebruik in een specifieke arbeidssituatie, maar zijn met enige aanpassingen ook bruikbaar buiten deze situatie. Om ervoor te zorgen dat de resultaten van onderzoek uit verschillende arbeidssituaties vergelijkbaar zijn, is het zinvol om een universele "allesomvattende" houdingsregistratielijst te gebruiken, waaraan op een of andere manier een maat voor de belasting is toegevoegd. De OWAS-methode lijkt in veel gevallen bruikbaar. Vanuit praktisch oogpunt gezien lijken genoemde observatiemethoden goed bruikbaar door Arbo-deskundigen. Validering van de observatiemethoden is echter nodig om de wetenschappelijke waarde van de methoden vast te stellen.

## 2.4 **Overzicht van methoden waarbij houdingen handmatig worden gemeten vanaf foto-, film- of videobeelden**

### 2.4.1 Inleiding

In de vorige paragraaf werden reeds enkele toepassingen van registratie van houding en/of beweging met behulp van beelddragers besproken. Relevante informatie werd hierbij steeds verzameld door observatie vanaf de verzamelde beelden. In deze paragraaf zal een overzicht gegeven worden van optische methoden, waarbij de data-verzameling plaatsvindt door het handmatig opmeten van houdingen vanaf de foto-, film- of videobeelden.

De in deze paragraaf besproken methoden verschillen in opname-techniek (soort beelddrager, opname-snelheid, wijze van verlichten, al dan niet gebruik maken van markers etc.), maar ook in de wijze waarop de data vanaf de beelden worden verzameld (het eigenlijke meetinstrument).

De indeling van deze paragraaf wijkt af van die van de paragrafen 2.3 en 2.5, om herhalingen zoveel mogelijk te vermijden.

Verschillende opname-apparatuur zal aan de orde komen in § 2.4.2 (2.4.2.1 t/m 2.4.2.5). Voorafgaand aan dit overzicht worden enkele algemene opmerkingen gemaakt over de meetprocedure bij de in dit hoofdstuk besproken methoden.

In § 2.4.3 zal getracht worden een algemeen beeld te schetsen van de praktische bruikbaarheid van de in deze paragraaf besproken meetmethoden.

### 2.4.2 Opname-technieken

#### Inleiding

Direct voorafgaand aan de metingen zijn enkele voorbereidingen nodig.

Eventueel moeten de te meten punten op het lichaam van de werknemer gemarkeerd worden (met behulp van actieve of passieve, retroflecterende markers).

De camera(s) en eventuele extra lichtbronnen moeten worden opgesteld.

Om een vertaling mogelijk te maken van de, vanaf de beelden gemeten coördinaten naar werkelijke posities is een calibratie-procedure nodig. Soms worden daarom de camera-posities en -oriëntaties precies opgemeten. Een meer gebruikte methode is het in beeld brengen van een stelsel referentiepunten met onveranderlijke, bekende ruimtecoördinaten, waaruit de relatie tussen geprojecteerde en werkelijke punten berekend kan worden (de Haan & den Brinker 1988).

Bij gebruik van twee (of meer) camera's is het nodig de beelden van beide camera's te synchroniseren. Dit kan bijvoorbeeld gedaan worden door een nauwkeurige tijdsindicator in beeld op te nemen, of synchroon een code op de beelden te plaatsen.

#### Vorm van de resultaten

De resultaten bij metingen in arbeidssituaties betreffen meestal (hoek)verplaatsingen van een bepaald lichaamsdeel, of het percentage van de tijd dat het betreffende lichaamsdeel een bepaalde houding heeft aangenomen. Soms is men geïnteresseerd in de snelheid en versnelling van een bepaald lichaamsdeel. Dit brengt veel extra berekeningen met zich mee en vereist bovendien een nauwkeurige tijdsregistratie. Resultaten in de vorm van coördinaten of standen van lichaamsdelen ten opzichte van elkaar of een referentielijn kunnen als invoergegevens dienen voor het berekenen van krachten en momenten met behulp van biomechanische modellen.

Registratie van ruimtelijke houdingen kan plaatsvinden door gebruik van twee of meer (foto-, film- of video)camera's. Uit de afstanden tussen de camera's en verhoudingen tussen werkelijke en geprojecteerde afstanden van referentiepunten kunnen driedimensionale coördinaten worden berekend.

#### **Wijze van opmeten vanaf de beelden**

Bij fotografie en film worden, met behulp van een gradenboog, hoeken tussen lichaamsdelen gemeten, om daarmee de stand(verandering) van een lichaamsdeel te bepalen. Ook kunnen, aan de hand van horizontale en verticale referentielijnen (een assenstelsel), coördinaten van bepaalde (al dan niet gemarkeerde) punten op het lichaam (gewrichten) worden bepaald, waaruit later (hoek)verplaatsingen, snelheid en versnelling per lichaamsdeel kunnen worden berekend. Hiervoor kan een liniaal of semi-automatische digitizer worden gebruikt.

Bij het gebruik van digitizers wordt een cursor (of een pen) handmatig op de draaipunten van de (vaak gemarkeerde) gewrichten geplaatst. De coördinaten van de cursor worden automatisch (bijvoorbeeld door middel van elektronische signalen) afgelezen en doorgegeven aan de computer, waar ze kunnen worden opgeslagen en verder verwerkt. Voorbeelden van zo'n digitizer zijn de "motion analyzer", het zgn. GRAF/PEN systeem, een grafisch systeem dat onder andere wordt toegepast door Owen & Adrian (1974), en de zgn. "stereocomparator", waarmee XYZ-coördinaten vanaf twee beelden kunnen worden bepaald (Czebanski & Antoniak 1981).

Verschillende opname-technieken worden onder andere besproken door Atha (1984), Adrian (1973), Barnes (1937), Johnson (1972), Grieve e.a. (1975), Kiser & Rodgers (1986), Paul (1978), Woltring (1985) en Rohmert & Mainzer (1986) en toegepast door Dul e.e. (1988), Grieve e.a. (1975), Eastman & Kamon (1976), Majeske & Buchanan (1984), Huntington e.a. (1979), Wick & Drury (1986a, 1986b), Youm & Yoon (1977), Armstrong e.a. (1979), Robertshaw e.a. (1986), Martin & Nelson (1986), Bejjani e.a. (1986), Czabanski & Antoniak (1981), Gagnon e.a. (1987), Van der Grinten (1986), Chang e.a. (1987) en Vorro & Hobart (1974).

Meestal wordt voorafgaand aan het onderzoek een analyse van de arbeidssituatie gemaakt, aan de hand waarvan de te gebruiken opname-techniek gekozen wordt. De opname-snelheid moet afgestemd worden op de snelheid van de te bestuderen bewegingen.

#### **2.4.2.1 Fotografie**

De eenvoudigste methode die hier wordt besproken is het maken van een of meer foto's, met behulp van een eenvoudige fotocamera.

Het transporteren van de film na iedere opname gebeurt handmatig of automatisch, en beperkt de maximale opname-snelheid (tot ongeveer 1 foto per seconde). Deze beperking maakt fotografie minder geschikt voor het bestuderen van bewegingen.

Voor een goede zichtbaarheid en standaardisatie van de te registreren punten op het lichaam (die meestal op de rotatie-as van de gewrichten worden gekozen), kunnen markers worden aangebracht (bijvoorbeeld zwart tape).

Door Dul e.a. (1988) werd aan de hand van foto's (1 foto per minuut) en een gradenboog het effect van verandering van tafelhoogte op de gemiddelde romp- en hoofdhouding van naaisters bepaald.

Majeske & Buchanan (1984) fotografeerden proefpersonen tijdens "relaxed" zitten met en zonder steun van een kussen in de lumbale rug. Met behulp van een gradenboog werden de veranderingen van de hoeken van hoofd, nek, romp, heup, boven- en onderarm ten opzichte van de horizontaal bepaald.

Op dezelfde wijze werd de rughouding bij lezen en schrijven aan een tafel bij verschillende hellingshoeken bepaald door Eastman & Kamon (1976).

Aan de hand van drie foto's werd de mechanische rugbelasting van metselaars in 3 verschillende werksituaties bepaald (Van der Beek & Van der Stee 1988). De hoeken tussen de romp en de zwaarteliijn, de romp en de bovenarm, en boven- en onderarm werden gemeten met behulp van een digitizer. Op grond van deze informatie en antropometrische gegevens omtrent segmentlengte en -gewicht uit de literatuur, werden, met behulp van een statisch biomechanisch model, het externe moment, de afschuifkracht en de compressiekracht op de lumbale wervelkolom (L3/L4) berekend.

#### 2.4.2.2

##### Film

Bij de filmcamera wordt, in tegenstelling tot bij het fototoestel, de film snel getransporteerd, waardoor een grotere opname-snelheid mogelijk wordt. Voor de verlichting en markers op het lichaam geldt hetzelfde als bij fotografie. Het aantal beeldjes per seconde dat wordt opgenomen is afhankelijk van de snelheid van de te registreren bewegingen. In situaties waarin men geïnteresseerd is in de snelheid en versnelling van bewegingen worden vaak zgn. "high speed" camera's ( $f > 300$  Hz) gebruikt.

Door Armstrong e.a. (1979) werden posities van de handen bij manueel werk geregistreerd met behulp van filmbeelden (4 beelden per seconde) en een digitizer. Vier soorten activiteiten van de handen werden grafisch weergegeven tegen de tijdsas en het percentage van de dag dat deze verschillende activiteiten voorkomen werd berekend.

Gagnon e.a. (1987) onderzochten werkhoudingen van verpleegsters tijdens het keren en omhoog trekken van patiënten in bed. Informatie over snelheid van de beweging, positie van de benen en het wel of niet steunen op de bedrand werd verkregen via filmopnamen en semi-automatisch digitaliseren van gemarkeerde punten op het lichaam. Tevens werden uitwendige krachten gemeten. Met behulp van deze gegevens werden mechanische arbeid, energie-transfers en bijdragen van verschillende lichaamsdelen aan geleverde arbeid berekend.

Door Huntington e.a. (1979) werden kniebewegingen tijdens de loopbeweging in drie vlakken bestudeerd aan de hand van filmbeelden van twee camera's (50 beelden per seconde). De coördinaten van gemarkeerde punten werden met behulp van een digitizer om het beeld bepaald. Uit deze gegevens werden knie-hoeken en de verplaatsing van de gemarkeerde punten computermatig berekend.

Door Robertshaw e.a. (1986) werden de bewegingen tijdens het "gaan zitten" en "gaan staan" bestudeerd aan de hand van filmbeelden (50 beelden per seconde) en EMG-metingen. De coördinaten van gemarkeerde punten op gewrichten werden met behulp van een met behulp van een digitizer bepaald en gebruikt om de heuphoek en verticale en horizontale verplaatsing van de heup (synchroon met EMG-metingen) tegen een tijdsas uit te zetten.

Een filmcamera met een opnamesnelheid van 50 beelden per seconde werd gebruikt door Martin & Nelson (1986) in een onderzoek naar het effect van het dragen van een last op de rug op de loopbeweging. Duur en lengte van verschillende fasen van de

loopbeweging en de romphoek werden op deze wijze bij een variërende uitwendige belasting bepaald.

#### 2.4.2.3

#### Cyclografie

Bij cyclografie staat de film stil en de sluiters open, zodat de beelden op elkaar vallen. Markers worden op de te bestuderen lichaamsdelen van de proefpersoon aangebracht. Donkere kleding en een (semi-) donkere omgeving zorgen ervoor dat alleen de (verplaatsing van) gemarkeerde punten zichtbaar is. Om toch een beeld van de omgeving te krijgen kan deze bijvoorbeeld tussentijds even zeer sterk verlicht worden (figuur 2.6).

Bij een ononderbroken verlichting (vanuit de camera, de omgeving of de markers) wordt de beweging zichtbaar als een lichtstreep. Deze methode wordt ook wel cyclografie genoemd (Atha 1984).

Een onderbroken lichtstreep kan verkregen worden door de verlichting (vanuit de omgeving of door de markers geproduceerd) te onderbreken, of door een roterende sluiters te gebruiken. Deze methode wordt ook wel chronocyclografie genoemd (Atha 1984). Als de grootte van de tijdsintervallen bekend is, kunnen snelheid en versnelling van de beweging worden berekend uit de afstanden tussen de lichtpunten.



Figuur 2.6

Cyclografie met onderbreking van de lichttoevoer (uit: Shaw 1960)

#### 2.4.2.4 Video-opnamen

Video-apparatuur is modern en in eenzelfde prijsklasse verkrijgbaar als filmmapparatuur. De tapes kunnen direct teruggespoeld en bekeken worden, en eventueel opnieuw worden gebruikt. De bediening van de apparatuur is eenvoudig.

Van der Grinten (1986) onderzocht de rugbelasting van het bewegingsapparaat tijdens verschillende scheptaken en met verschillende scheppen. Uit steekproeven van video-beelden (zij- en vooraanzicht) werden afstanden en hoeken bepaald die, tezamen met het gemiddeld schepgewicht en antropometrische gegevens, gebruikt zijn als invoergegevens voor een biomechanisch model. Uit deze gegevens werden rompstand en statische buig- en torsiemomenten in de lumbale rug berekend.

In een onderzoek van Wick (1986) en Wick & Drury (1986) werden aan de hand van video-opnamen hoofd-, nek-, romp-, arm- en beenhoudingen tijdens naaiwerkzaamheden bepaald om aanpassingen in de werksituatie te evalueren. Bij verschillende taken werd de positie van lichaamsdelen vastgelegd door deze over te tekenen op transparant papier, waarna hoeken tussen lichaamsdelen met behulp van een gradenboog werden bepaald. Uit deze gegevens werden compressiekrachten op L5/S1 berekend.

#### 2.4.3 Beoordeling en conclusie

##### **Nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en validiteit**

Nauwkeurigheid, betrouwbaarheid en validiteit van een gevolgde meetmethode zijn afhankelijk van zowel de gevolgde opnameprocedure als van de wijze van data-verzamelen. Bij het gebruik van twee-dimensionale beelden voor het bestuderen van driedimensionale houdingen en bewegingen wordt de validiteit beïnvloed door perspectische vertekeningen, bij bewegingen in andere vlakken dan het bedoelde. Dit moet zoveel mogelijk voorkomen worden door de optische as van de camera in een rechte hoek met het vlak te plaatsen waarin de te bestuderen bewegingen plaatsvinden en de camera('s) niet te dichtbij te plaatsen (de Haan & den Brinker 1988).

Over de betrouwbaarheid van geheel handmatig opmeten vanaf foto-, film of videobeelden zijn geen gegevens bekend.

Bij herhaald digitaliseren van een marker werden door verschillende onderzoekers kleine afwijkingen van de bepaalde coördinaten gevonden. Betrouwbaarheidscoëfficiënten liggen boven de .98 (Barthels 1973 en Burkett 1973 in Owen & Adrian 1974, Noble & Kelley 1969, Robertshaw e.a. 1986).

Door Van Gheluwe (1974) werd de nauwkeurigheid van het meten van posities vanaf filmbereelden met behulp van digitizers in een laboratorium getest. Uit het onderzoek bleek het mogelijk om met behulp van deze methode de coördinaten van een fysisch punt te reconstrueren met een nauwkeurigheid van beter dan .5 cm.

In het onderzoek van Van der Grinten (1986) bedroeg de gemiddelde afwijking van de werkelijke posities en hoeken respectievelijk ongeveer 1.7 cm en 2.5°. De nauwkeurigheid van het digitaliseren zal sterk afhangen van de afstand van de markers op de beelden.

Door Noble & Kelley (1969) werd een onderzoek verricht waarin gekeken werd naar de nauwkeurigheid van filmanalyse. Hiervoor werden de resultaten van wiskundige berekeningen van een curvilineaire beweging van een balletje vergeleken met de resultaten van een cinematografische analyse. De beweging van de bal werd gefilmd met behulp van drie kamera's (in drie verschillende vlakken, optische assen loodrecht op elkaar) met een filmsnelheid van 64 beelden per seconde. De XYZ-coördinaten werden bepaald met behulp van een digitizer, met een betrouwbaarheidscoëfficiënt

van .99. De fout bij het schatten van de positie van de bal lag tussen de .23 en 2.95 cm (gemiddeld 1.52 cm). Bij het berekenen van snelheid en versnelling neemt deze fout exponentieel toe. Bij de versnelling bedroeg de fout gemiddeld 7.49 cm/s en bij de versnelling 38.99 cm/s<sup>2</sup>.

Uit het bovenstaande blijkt dat het bepalen van posities van lichaamsdelen of punten op het lichaam nauwkeurig en betrouwbaar kan plaatsvinden met de in deze paragraaf beschreven methoden, waarbij op semi-automatische wijze data worden verzameld. Hoe goed de metingen zijn als het lichaamsvlak waarin men is geïnteresseerd zich niet geheel in het vlak van de camera bevindt, zou uit nader onderzoek moeten blijken.

### **Praktische bruikbaarheid**

Voorals in de sport en in de ergonomie worden beelddragers toegepast voor het vastleggen van houdingen en/of bewegingen. In arbeidssituaties wordt vaak gekeken naar de romphouding in het sagittale vlak, maar in principe kunnen allerlei lichaamsdelen in verschillende vlakken (bij diverse activiteiten) worden bestudeerd. Wel dient men rekening te houden met perspectivische vertekeningen als het vlak waarin men de houdingen wil meten niet precies evenwijdig loopt aan het cameravlak.

Over het algemeen zijn de in deze paragraaf beschreven methoden voor het registreren van houding en/of beweging nogal arbeidsintensief, vooral wat betreft de verwerking van de gegevens (afhankelijk van de hoeveelheid te verzamelen en bestuderen beelden en of een computer wordt gebruikt).

De opnamen van de werkzaamheden zelf zijn eenvoudig en niet arbeidsintensief bij een vaste opstelling van de apparatuur.

De enige directe interferentie met de proefpersoon vormen de eventueel aanwezige markers, die op de huid of kleding worden geplakt, en de aangepaste (strakke) kleding die daarbij wellicht wenselijk of nodig is.

Bij toepassing van de motografische methode dient er weinig licht in de omgeving te zijn. Dit kan een zeer ingrijpende verandering in de arbeidssituatie betekenen.

Bij andere methoden is het juist nodig dat licht wordt toegevoegd (door middel van lampen of flitslicht), hetgeen ook de arbeidssituatie zou kunnen beïnvloeden. Bij een onderzoek van Veeger (1983) (zie vorige paragraaf) werd echter geen hinder vermeld als gevolg van flitslicht.

De toepassingsmogelijkheden van fotografie zijn, door de beperkte opname-snelheid, beperkt tot het bestuderen van houdingen. De andere besproken methoden, film en video, lenen zich meer voor het bestuderen van bewegingen, maar hebben het nadeel dat de verwerking van de doorgaans grotere hoeveelheid beeldmateriaal erg tijdrovend is. Bovendien zijn de aanschafkosten van film-apparatuur hoger dan van foto-apparatuur, hetgeen niet het geval is voor video-apparatuur.

Het gebruik van semi-automatische meetapparatuur voor het bepalen van de coördinaten van gemarkeerde punten wordt meestal gecombineerd met een computer voor de verwerking van de gegevens. Deze methode biedt een snellere en nauwkeuriger data-verzameling, maar is duurder in aanschaf dan de apparatuur die gebruikt wordt bij handmatig opmeten.

## 2.5      **Overzicht van methoden voor het handmatig of elektrisch opmeten, waarbij het meetinstrument in direct contact staat met de proefpersoon**

### 2.5.1      **Inleiding**

Binnen deze categorie vallen alle registratiemethoden waarbij het meetinstrument in direct contact met het lichaam van de proefpersoon staat.

Dit contact kan van korte duur zijn, bijvoorbeeld als met een centimeter de afstand tussen twee punten op de huid gemeten wordt, of van langere duur, als de te meten proefpersoon de apparatuur gedurende de meetperiode op het lichaam meedraagt.

Enkele meetinstrumenten meten de standsverandering van een lichaamssegment via de lengteverandering van de huid. Deze worden besproken in § 2.5.2.

Met behulp van de, in § 2.5.3 besproken, goniometers kan men (veranderingen van) gewrichtshoeken, oftewel de hoek tussen twee lichaamsdelen, meten.

De stand van een lichaamsdeel ten opzichte van de zwaartelijns of vooraf gekozen "nulstand" kan bepaald worden met inclinometers. Dit instrument komt aan de orde in § 2.5.4. (De namen "goniometer" en "inclinometer" worden in de literatuur niet eenduidig gebruikt. In deze bespreking van de beide methoden worden bovengenoemde omschrijvingen gehanteerd). In § 2.5.5 worden instrumenten besproken, waarmee men de vorm van de wervelkolom kan meten.

Soms worden combinaties van verschillende meetinstrumenten gebruikt, zoals in § 2.5.6 wordt aangegeven. De paragraaf wordt afgesloten met een conclusie in § 2.5.7. Bij de in § 2.5.2 t/m § 2.5.4 besproken meetinstrumenten wordt een onderscheid gemaakt tussen methoden waarbij de gegevens direct dienen te worden afgelezen (handmatige methoden), en methoden waarbij de metingen omgezet worden in elektrische signalen (elektrische methoden), en eventueel als zodanig kunnen worden opgeslagen.

De meeste instrumenten die in deze paragraaf worden besproken hebben een beperkt meetbereik. Omdat hierover onvoldoende gegevens beschikbaar zijn wordt dit verder niet vermeld.

### 2.5.2      **Lengtemeters**

#### 2.5.2.1      **Handlengtemeters (centimeters)**

##### **Beschrijving**

Met een centimeter worden houdingen vastgelegd door de afstand tussen punten op de huid of tussen een punt op de huid en een referentiepunt (bijvoorbeeld de grond) te meten. De punten op de huid worden meestal gemarkeerd.

Dit meetinstrument wordt veel toegepast om de (pathologische) bewegingsrange van de lumbale wervelkolom te bepalen, zoals het geval is in de onderzoeken van Frost e.a. (1982), Macrae & Wright (1969), Mellin (1985), Moll e.a. (1986), Pavelka (1970), Stokes e.a. (1987) en Portek e.a. (1983). Door Gill e.a. (1988), Burdett e.a. (1986), en Salisbury & Porter (1987) werd het bepalen van de bewegingsrange met een centimeter vergeleken met andere methoden. Het gaat hier in alle gevallen om metingen in laboratoriumsituaties. Door Gast e.a. (1988) werd deze methode toegepast in een laboratoriumsituatie bij verschillende werkzaamheden (uit de autoindustrie).

Volgens aanpassingen van de methode van Schoeber door Macrae & Wright (1969) worden twee punten op de huid gemarkeerd, de eerste 5 cm onder de lumbo-sacrale overgang, en de tweede 10 cm daarboven (Gill e.a. 1988, Mellin 1985, Reynolds 1975). Het verschil in de afstand tussen deze twee punten bij verschillende maximale bewegingsuitslagen is een maat voor de bewegingsrange van de wervelkolom. Een variant op deze methode, waarbij andere plaatsen op de wervelkolom gemarkeerd worden, wordt toegepast door Moll e.a. (1972), Salisbury & Porter (1987), Portek e.a. (1983) en Burdett e.a. (1986).

Als maat voor de (maximale) rotatie van de romp wordt door Frost e.a. (1982) de afstand tussen de linker claviculis posterior tot de rechter trochanter major gemeten.

Door Gast e.a. (1988) werd een centimeter gebruikt in een evaluatieonderzoek van het Volvo Werkhouding Analyse Model (VOLWAN), ontwikkeld door Meyboom. De horizontale projectie tussen schouder- en vingerknooppunten van beide armen werden bepaald bij verschillende werknemers en werktaken.

De gegevens werden, aangevuld met andere meetgegevens (antropometrische gegevens en gewicht en afmetingen van de last, hoeken die gemeten werden met behulp van een gradenboog), gebruikt voor biomechanische berekeningen van de rugbelasting (op L3).

### **Betrouwbaarheid**

Voor- en zijwaarts buigen van de romp kunnen volgens enkele onderzoekers (Burdett e.a. 1986, Frost e.a. 1982, Pavelka 1970, Moll e.a. 1972) met voldoende betrouwbaarheid worden bepaald, en volgens andere niet (Portek e.a. 1983, Reynolds 1975). Moll e.a. (1972) vonden een intrabeoordelaarsfout van < 6.6%, en een interbeoordelaarsfout van 0.68 bij het meten van lateroflexie met behulp van een centimeter. Bij vergelijkbare metingen werd door Frost e.a. (1982) een redelijke interbeoordelaarsbetrouwbaarheid gevonden ( $r = .82$  voor voorover buigen van de romp en  $.70$  voor achterover buigen van de romp). Gill e.a. (1988) vonden een variatiecoëfficiënt van maximaal 3.2% bij herhaalde metingen met behulp van de aangepaste Schoeber-techniek. Een interbeoordelaarsbetrouwbaarheid van  $.71$  werd gevonden in het onderzoek van Burdett e.a. (1986).

In een onderzoek van Reynolds (1975) had alleen meting van achterwaarts buigen een redelijke interbeoordelaarsbetrouwbaarheid. Intrabeoordelaarsbetrouwbaarheid was voor alle gemeten variabelen slecht, de grootste variatiecoëfficiënt was 21.6%. Voorwaarts buigen van de romp kon in een onderzoek van Portek e.a. (1983) wel door een observator (variatiecoëfficiënt 8.5%), maar niet door twee observatoren met voldoende betrouwbaarheid bepaald worden (de resultaten van twee beoordelaars waren significant verschillend,  $p < 0.01$ ).

In alle onderzoeken werd een lage (intra- en interbeoordelaars) betrouwbaarheid gevonden bij het meten van romprotatie.

Bij het beoordelen van de betrouwbaarheid van bovenbeschreven methoden moet rekening worden gehouden met het feit dat de variatie in metingen niet alleen het gevolg is van de metingen, maar ook van de variatie in houdingen, die voor het bepalen van de betrouwbaarheid in de verschillende onderzoeken vaak herhaald werden.

### **Validiteit**

Wat betreft de validiteit van deze methode zijn de resultaten niet eenduidend. Een significante correlatie tussen het bepalen van de bewegingsrange van de wervelkolom met een centimeter en de radiografische methode werd gevonden door Macrae & Wright (1969,  $r = .97$  bij een afstand van 15 cm tussen de twee punten) en Moll e.a. (1972,

$r = .79$ ). Deze was echter onvoldoende volgens Burdett e.a. (1986), Portek e.a. (1983,  $r = .43$ ) en Salisbury & Porter (1987,  $r = .04$ ).

### **Praktische bruikbaarheid**

Het meten van houdingen met een centimeter is goedkoop en eenvoudig uitvoerbaar. De methode is alleen bruikbaar voor het meten van houdingen. De metingen worden bij voorkeur op de blote huid of eventueel strakke, rekbare kleding uitgevoerd, omdat de punten waartussen gemeten wordt niet mogen verschuiven ten opzichte van het meetinstrument.

Omdat het uitvoeren van de metingen nogal arbeidsintensief is, is de methode niet geschikt in situaties waarin veel metingen gedaan moeten worden.

De centimeter kan in principe nauwkeurige resultaten leveren.

Bij toepassing van deze methode binnen de ergonomie zijn de resultaten alleen interpreteerbaar binnen het onderzoek zelf, bijvoorbeeld bij vergelijking van metingen per proefpersoon vóór en ná een ergonomische aanpassing in de werksituatie, tenzij aan de hand van voormetingen een relatie met gewrichtshoeken gelegd kan worden. In hoeverre de centimeter bruikbaar is voor het meten van standen van andere gewrichten dan de wervelkolom, is niet bekend.

## **2.5.2.2 Elektrische lengtemeters**

### **Beschrijving**

#### **Het Uniman-system**

Door Odenrick e.a. (1987) werd het zgn. Uniman-system (ontwikkeld door o'Brien 1986) beschreven. Bij deze meetmethode wordt gebruik gemaakt van een strak pak met 24 elastische rekstrookjes op de gewrichten en wervelkolom. Verandering van de lengte van ieder rekstrookje wordt omgevormd tot een elektrisch signaal en als zodanig opgeslagen. Zo wordt de beweging van meerdere lichaamssegmenten tegelijk (behalve hoofd en nek) geregistreerd.

#### **De curvemeter**

Door Lepoutre e.a. (1986) werd, voor de evaluatie van de zithouding bij verschillende werkomstandigheden tijdens typwerk, de vorm van de wervelkolom bepaald met behulp van een zgn. curvemeter. Deze bestaat uit een buigbare staaf met op verschillende nivo's (T1, T6, T10, L3) rekstrookjes die continu de uitrekking van de huid meten. De signalen worden opgeslagen op een recorder. Door vergelijking met radiografische metingen werd de vorm van de wervelkolom ten opzichte van de zwaartelijn bepaald.

Op basis van met dit meetinstrument verzamelde gegevens kan met behulp van een computer de vorm van de wervelkolom worden bepaald. Aan de verschillende houdingen is een comfort-score gegeven door ze te relateren aan de resultaten van een vragenlijst. Zo kunnen verschillende omstandigheden vergeleken worden.

#### **Snijders**

Door Snijders wordt, in combinatie met een inclinometer en een draaipotentiometer, een elektrische lengtemeter gebruikt om vormveranderingen van de wervelkolom te meten (Snijders & Philippens 1985). Met de lengtemeter wordt de lengteverandering tussen twee punten op de huid van de rug (T 7/8 en L 4/5) links en rechts van de wervelkolom gemeten. Het gemiddelde van deze twee geeft een maat voor voor- en

achterwaarts buigen, en het verschil geeft een maat voor zijwaarts buigen. Het apparaat bestaat uit een miniatuur (7 mm dikke) krachtmeter en een veer die via een draad is bevestigd aan de huid, en wordt op de huid van de rug bevestigd. Uitrekking van de huid resulteert in uitrekking van de veer. Hierdoor ontstaat een krachtverandering die met behulp van rekstrookjes in de krachtmeter wordt omgezet in een elektrisch signaal. Een draagbare datarecorder slaat de elektrische signalen gedurende de gehele dag op. De gegevens worden later computermatig verwerkt en geven informatie over de frequentie en duur van een bepaalde houding in de meetperiode.

Gegevens over de betrouwbaarheid en validiteit van de elektrische lengtemeters zijn niet bekend.

#### **Praktische bruikbaarheid**

De hier besproken methoden zijn duur in aanschaf. Na enige oefening zijn ze betrekkelijk eenvoudig te bedienen. Ter voorbereiding van de metingen moet de apparatuur op het lichaam worden aangebracht, en worden ijkmetingen gedaan. Door de registratiewijze lijken ze toepasbaar in zowel statische als niet te snelle dynamische situaties.

Het door Lepoutre e.a. (1986) beschreven instrument is eenvoudig te bevestigen, maar beperkt de bewegingsvrijheid van de te meten persoon door verbinding met de registratie-apparatuur via draden. Met behulp van het Uniman-systeem worden de bewegingen van meerdere lichaamsdelen tegelijk gemeten, en wordt een maat voor de belasting bepaald door de metingen te combineren met een tegelijkertijd afgenomen vragenlijst betreffende ervaren "discomfort".

Het aanbrengen en verwijderen van de apparatuur kost enige tijd (1/2 - 3/4 uur bij de door Snijders beschreven methode). De methode van Snijders verkeert nog in een experimenteel stadium. Uit enkele proefmetingen die verricht zijn bij mensen uit verschillende beroepsgroepen bleek de door Snijders gebruikte lengtemeter gevoelig genoeg is om verschillen in houdings- en bewegingspatronen bij deze beroepen te kunnen vastleggen (Snijders & Philippens 1985).

### **2.5.3 Goniometers**

Met behulp van een goniometer wordt de hoek(verandering) tussen twee lichaamssegmenten gemeten.

#### **2.5.3.1 Hand-goniometers**

##### **Beschrijving**

Als de meetresultaten direct worden afgelezen kan men spreken van hand-goniometrie. Hand-goniometers worden meestal gebruikt voor het bepalen van de (pathologische) bewegingsrange van allerlei gewrichten in een vlak (Gast e.a. 1988, Bell & Hoshizaki 1981, Boone e.a. 1978, Boone e.a. 1979, Ekstrand e.a. 1982, Roth e.a. 1981, Fitzgerald e.a. 1983, Mitchell e.a. 1975). Door Sakakibara e.a. (1987) werd een hand-goniometer gebruikt in een onderzoek naar arm- en nekhoudingen in het sagittale vlak bij werknemers in boomgaarden.

Verschillende soorten hand-goniometers worden beschreven.

### Het standaardmodel

De eenvoudigste bestaat uit twee (metalen of kunststof) armen, verbonden aan een gradenboog, waarvan het middelpunt zo precies mogelijk op de as van het te meten gewricht geplaatst wordt. De twee armen van de goniometer worden bevestigd aan de twee door het te meten gewricht verbonden lichaamssegmenten.

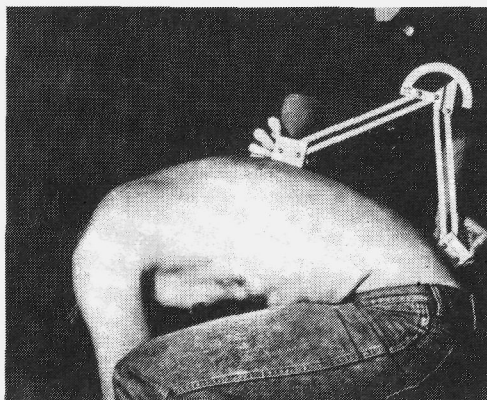
Door Percy (1986) wordt een dergelijk apparaat (een zgn. spondylometer) beschreven. Dit apparaat werd gebruikt door Hart e.a. (1974), Burdett e.a. (1986) en Reynolds (1975) voor het meten van de bewegingsrange van de wervelkolom in het sagittale vlak.

Het instrument bestaat uit twee lange aan elkaar verbonden armen, waarvan een uiteinde weer verbonden is aan een gradenboog. De boog wordt op het sacrum geplaatst en het uiteinde van de andere arm wordt op een punt hoger op de wervelkolom geplaatst. Verandering van de kromming van de wervelkolom resulteert in verdraaiing van de op het sacrum geplaatste arm en deze hoekverandering kan worden afgelezen.

Door Gast e.a. werd een eenvoudige gradenboog gebruikt in een evaluatieonderzoek van het Volvo Werkhouding Analyse Model (VOLWAN), ontwikkeld door Meyboom (Gast e.a. 1988). De hoeken die de lijn schouder-top-vingerknokkels maakt met de denkbeeldige lijn vanaf de schouder-top recht vooruit (verticaal) werd door drie onderzoekers opgemeten bij verschillende werktaken, en verschillende werknemers. De gegevens werden, aangevuld met andere meetgegevens (antropometrische gegevens, afstanden tot en gewicht en afmetingen van de last), gebruikt voor biomechanische berekeningen van de rugbelasting.

### De parallelogramgoniometer

Bij een parallelogramgoniometer (ook wel kyphometer genoemd, indien gebruikt voor het meten van romphoeken) worden de uiteinden van de armen, die op kleine vlakken bevestigd zijn, op twee plaatsen op de huid van de wervelkolom geplaatst (figuur 2.7). Vervolgens kan dan de hoek tussen beide meetvlakken afgelezen worden (Burdett e.a. 1986, Salisbury & Porter 1987).



**Figuur 2.7**

Meting van de voorwaartse rompbuiging met een kyphometer (uit: Salisbury & Porter 1987)

### **Betrouwbaarheid**

Bij het door Sakakibara e.a. (1987) gebruikte instrument werden bewegingsranges van de arm verdeeld in zones van  $10^\circ$ .

De betrouwbaarheid van metingen met behulp van hand-goniometers werd over het algemeen redelijk tot goed bevonden.

Reynolds (1975) vond bij toepassing van de spondylometer een goede interbeoordelaar-betrouwbaarheid ( $r > .76$ ), en redelijke intrabeoordelaarbetrouwbaarheid (variatiecoëfficiënt  $< 12.65\%$ ).

Boone (Boone e.a. 1978, Boone e.a. 1979) concludeerden naar aanleiding van een review en een eigen onderzoek dat de intrabeoordelaarbetrouwbaarheid van het meten van hoeken van gewrichten van de extremiteiten met behulp van een hand-goniometer (standaardmodel) goed zijn (gemiddelde correlatiecoëfficiënt uit haar onderzoek:  $r = .72$ ). Mitchell e.a. (1975) vond bij meting van het kniegewricht een goede interbeoordelaarbetrouwbaarheid ( $r = .96$ ) en intrabeoordelaarbetrouwbaarheid (variatiecoëfficiënt  $< 3.0\%$ ). Een redelijke interbeoordelaarbetrouwbaarheid ( $r$  van  $> .76$ , significant met  $p < .001$ ) werd gevonden door Fitzgerald e.a. (1983) bij meting van zijwaarts buigen van de romp. Bell & Hoshizaki (1981) vonden test-hertest betrouwbaarheidscoëfficiënt binnen een range van .71 en .94.

Gast e.a. (1988) vonden grote onnauwkeurigheden (meetfouten variërend van 10-55%) bij metingen met een eenvoudige gradenboog. Deze metingen vonden echter niet werkelijk op het lichaam plaats, maar met een kleine afstand staande achter de proefpersoon.

### **Validiteit**

Volgens Moll & Wright (in Percy 1986) is de correlatie tussen de spondylometer en radiografische metingen redelijk te noemen.

Salisbury & Porter (1987) vonden goede overeenkomsten tussen meetresultaten van de goniometer enerzijds en een kyphometer (eerder beschreven in deze paragraaf onder parallellogram) en flexicurve (beschreven in paragraaf 2.5.5) anderzijds ( $r =$  resp. .99, .94). In hetzelfde onderzoek werd een redelijke overeenkomst ( $r = .78$ ) gevonden tussen de resultaten van metingen met een goniometer en ultrasound. Deze laatste methode is een methode waarmee nauwkeurig de positie van de botten kan worden vastgelegd op grond van geluidstrillingen, hetgeen van de kyphometer en de flexicurve onzeker is.

### **Praktische bruikbaarheid**

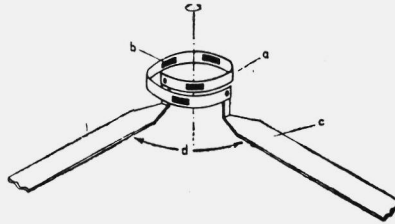
Omdat de resultaten direct afgelezen moeten worden leent de hand-goniometrie zich vooral voor het meten van houdingen, waarbij het gewenste aantal meetgegevens klein is. Onnauwkeurigheden in de metingen kunnen ontstaan als de rotatie-as van het standaardmodel niet precies overeenkomt met die van het gewricht. Daarom is nauwkeurige plaatsing van het instrument zeer belangrijk. Dit maakt de voorbereidingen op de metingen nogal tijdrovend. De beschreven hand-goniometers zijn eenvoudig te bedienen. De proefpersoon kan wel enige hinder ondervinden bij de uitvoering van het werk. De methode is niet geschikt voor metingen aan de lage rug bij werk, waarbij een rugleuning wordt gebruikt. De resultaten geven geen informatie over de houding ten opzichte van de zwaartelij, zodat ze niet geschikt zijn als invoergegevens voor een biomechanisch model.

### 2.5.3.2 Elektro-goniometers

#### Beschrijving

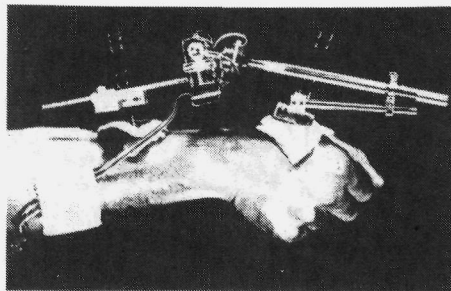
Met elektro-goniometers kunnen hoekveranderingen als elektrische signalen worden gemeten en eventueel opgeslagen. De elektro-goniometer vindt haar toepassing vooral in de medische wereld, waar ze gebruikt wordt om de (beperking van) bewegingsranges van gewrichten (vaak knie- of ellebooggewricht) te meten (Roth e.a. 1981, Shiavi e.a. 1987, An e.a. 1986, Townsend e.a. 1977).

An e.a. (1986) pasten deze methode toe in een werksituatie. Verder wordt gebruik van een elektro-goniometer beschreven door Armstrong e.a. (1985), Armstrong (1986), Atha (1984), Chao e.a. (1980), Chao (1980), Kiser & Rodgers (1986), Palmar e.a. (1985), Peat & Fulford (1976), Adrian (1973), Buchmann & Kuhnhardt (1981) en Armstrong (1986).



Figuur 2.8

Een elektro-goniometer voor hoekmetingen in één vlak (uit: Buchmann & Kuhnhardt 1981)



Figuur 2.9

Een drie-assige elektro-goniometer voor het meten van polsbewegingen (uit: Palmar e.a. 1985)

Elektro-goniometers zijn te onderscheiden in een- (figuur 2.8), twee- en drie-dimensionale goniometers (figuur 2.9) en goniometers waarmee naast rotaties in drie vlakken ook evenveel translaties gemeten kunnen worden (Chao 1980).

Door Buchmann & Kuhnhardt (1981) wordt een twee-dimensionale goniometer beschreven, die bestaat uit een platte spiraalveer met een rekstrook als meetinstrument (figuur 2.8). De uiteinden van de veer zijn bevestigd aan de armen, zodanig dat de centrale as van de veer zo dicht mogelijk bij de rotatie-as van het te meten gewricht zit. Door vervorming van de veer verandert het elektrische signaal met de hoek van het gewricht. Dit meetinstrument is ongevoelig voor translatie van het gewricht, omdat de winding daardoor niet verkleind wordt.

De zgn. "rubber band" goniometrie is een methode waarbij het te meten lichaamssegment van de proefpersoon met een rubberen band verbonden is met een goniometer (Holzhausen 1980, Neukomm 1974). Iedere beweging loodrecht op de band resulteert in een mechanische verplaatsing van de as-arm van de goniometer, die omgezet wordt in een elektrisch signaal. De resultaten geven informatie over positie, snelheid en versnelling in een vlak van het lichaamssegment.

Door Roth e.a. (1981) wordt een twee-dimensionale elektro-goniometer beschreven (de zgn. "discrete step" goniometer), die bestaat uit een roterende transducer, verbonden met een monitor. De transducer heeft een aantal contactpunten op regelmatige afstanden (hier: 11.25 graden) die een elektronische teller activeren zodra een hoekverandering optreedt ter grootte van de afstand tussen twee contacten. De metingen geven resultaten in de vorm van totale hoekverandering gedurende de gemeten periode.

Odenrick e.a. (1987) beschrijven de nickometer, een instrument met drie potentiometers en 1 pendulum inclinometer waarmee hoofd-, romp- en nekhouding in drie vlakken gemeten wordt. Ondanks het feit dat de nickometer wel toegepast is in de werksituatie, lijkt dit apparaat daar niet erg geschikt voor, omdat de bewegingsbeperkingen door omvang van het apparaat en wijze van bevestigen.

Townsend e.a. (1977) beschrijven een elektro-goniometer waarmee zowel rotatie als translatie van het onderbeen ten opzichte van het bovenbeen in drie vlakken kan worden gemeten.

### **Betrouwbaarheid**

Onnauwkeurigheden in de metingen met behulp van een goniometer kunnen ontstaan door een onzorgvuldige plaatsing van de rotatie-as(sen) van het instrument, verschuiving van het instrument door spieractiviteit of translaties van het gewricht of door grote rotatiesnelheden. Deze grote rotatiesnelheden komen echter weinig voor bij bewegingen in de arbeidssituatie (Roth e.a. 1981). Volgens Chao (1980) zijn translaties in het gewricht klein tenzij er sprake is van afwijkingen in het gewricht. Townsend e.a. (1977) en Buchmann & Kuhnhardt (1981) vonden kleine fouten door verschuivingen van het apparaat. In het onderzoek van Townsend waren de maximale verschuivingen van de goniometer t.o.v. femur en tibia ongeveer 30 mm.

In een beschrijving van de rubber band goniometrie zegt Neukomm (1974) dat de nauwkeurigheid van het instrument goed is (afwijkingen < 5%). Volgens Armstrong (1986) kunnen met, behulp van een elektro-goniometer, polsstanden met een nauwkeurigheid van ongeveer 5° worden bepaald.

Bij een rotatierange van 230° werd, bij herhaling van de metingen met behulp van de door Buchmann & Kuhnhardt (1981) beschreven goniometer, een afwijking gevonden van slechts 1%.

### **Validiteit**

In een onderzoek van Karpovich (in Adrian 1973) werd een correlatie van .99 met een meetlat gevonden en goede overeenkomsten met metingen vanaf filmbeelden. Volgens Roth e.a. (1981) liggen fouten bij herhaald meten met behulp van bovenbeschreven 'discrete step' goniometer tussen de 4% bij grote hoekveranderingen en 25% bij kleine hoekveranderingen. De oorzaak van deze fouten ligt in het feit dat de goniometer in compartimenten is verdeeld, waardoor informatie verloren gaat, met name bij kleine hoeken.

### **Praktische bruikbaarheid**

De hierboven genoemde "rubber band" goniometer is vanwege de omvangrijke apparatuur, die in de arbeidssituatie geplaatst zou moeten worden, niet geschikt voor gebruik in arbeidssituaties. De nauwkeurigheid van de hier beschreven elektro-goniometers loopt uiteen. Het door Buchmann & Kuhnhardt (1981) gebruikte instrument meet hoeken tot op de halve graad nauwkeurig, terwijl bij het door Roth e.a. (1981) gebruikte instrument de hoeken in zones van  $11.25^\circ$  breed zijn verdeeld.

Registratie met behulp van de elektro-goniometer is continu, waardoor meer gegevens in korte tijd verzameld kunnen worden en behalve de hoek(verandering)en ook snelheid en versnelling bepaald kunnen worden. Evenals bij de hand-goniometer is het belangrijk dat de goniometer zorgvuldig wordt geplaatst, omdat een te groot verschil tussen rotatie-as van het instrument en het gewricht tot fouten kan leiden. Door het apparaat op benige uitsteeksels te plaatsen worden fouten door verschuiving van het apparaat door huid-verschuiving zoveel mogelijk beperkt. Plaatsing van het instrument op het te meten gewricht en het instellen van alle apparatuur maakt de voorbereidingen nogal tijdrovend. Enkele van de hier besproken instrumenten beperken de normale bewegingsvrijheid van het gewricht door de omvang en het gewicht van de apparatuur volgens Townsend e.a. (1977) en Chao (1980).

Door verbinding met opslagapparatuur via draden wordt het meetbereik en de bewegingsvrijheid van de proefpersoon beperkt. Is de opslagapparatuur draagbaar, dan valt dit bezwaar weg, maar wordt de proefpersoon meer belast door apparatuur op het lichaam.

## **2.5.4**

### **Inclinometers**

Met een inclinometer kan de hoek, die een lichaamssegment maakt ten opzichte van de zwaartelijns of een bepaalde vooraf gekozen nul-stand, gemeten worden. De inclinometer wordt vastgehouden of bevestigd op het te meten lichaamssegment. De stand van het lichaamsdeel kan direct van de inclinometer worden afgelezen (hand-inclinometer), of in elektronische signalen worden opgeslagen (elektro-inclinometer).

### **2.5.4.1**

#### **Hand-inclinometers**

##### **Beschrijving**

Een handmatig bediende inclinometer werd onder andere gebruikt voor het bepalen van de flexibiliteit van verschillende gewrichten door Portek e.a. (1983), Ekstrand e.a. (1982), Loebl (1967), Salisbury & Porter (1987), Gill e.a. (1988), Reynolds (1975), Mayer e.a. (1984) en Mellin (1986). De methode werd besproken door Percy (1986) en Odenrick e.a. (1987) en geïllustreerd door figuur 2.10.

Bij meting met behulp van een zgn. pendulum-inclinometer wordt gebruik gemaakt van een naald die steeds wijst in de richting van de zwaartekracht (Nordin 1984 in Snijders e.a 1987). Meestal wordt bij meting van de stand van een deel van de wervelkolom het instrument op twee plaatsen op de huid geplaatst, en is het verschil tussen de twee metingen een maat voor de kromming van de wervelkolom (Loebl 1967; Reynolds 1975; Portek e.a. 1983, Mayer e.a. 1984), (figuur 2.10).



Figuur 2.10

Meting van de achterwaartse buiging van de romp met een hand-inclinometer (uit: Salisbury en Porter 1987)

Een onderzoek naar de betrouwbaarheid en validiteit van twee verschillende inclinometers, bij het meten van voor- en achterwaarts buigen van de romp, werd verricht door Mayer e.a. (1984). Beide inclinometers bestaan uit een met vloeistof gevuld (rond) compartiment met een zware naald-indicator die steeds in verticale richting wijst. De schijf is gemonteerd op een rechthoekige basis, op een basis met twee steunpunten of op een plastic goniometer. Deze laatste twee, duurdere, mogelijkheden hebben het voordeel dat de schijf ten opzichte van de basis kan draaien en zo een nul-instelling mogelijk maken.

Een dergelijk instrument (inclinometer gemonteerd op plastic basis) werd gebruikt in een onderzoek door Mellin (1986) naar de thoracolumbale houding en mobiliteit (voor-, achter- en zijwaarts buigen).

De passieve bewegingsrange van heup, knie en enkel werd door Ekstrand e.a. (1982) bepaald met behulp van een soortgelijk instrument dat met een band aan het te meten lichaamssegment bevestigd werd.

Loebl (1967) gebruikte, voor het meten van de bewegingsrange van de wervelkolom tijdens de ademhaling, een inclinometer op twee pootjes (ongeveer 9 cm. van elkaar). Steeds werd een van deze steuntjes op een bepaalde plaats op de huid op de wervelkolom geplaatst.

### **Betrouwbaarheid**

De reproduceerbaarheid van metingen door verschillende beoordelaars van de bewegingsrange van de romp in het sagittale vlak is goed volgens Portek e.a. (1983), en iets minder goed als maximaal voor- en achterwaarts buigen apart worden beschouwd. Volgens Portek e.a. (1983) is deze onnauwkeurigheid te wijten aan een slechte reproduceerbaarheid van de rechtop staande houding door de proefpersoon. Reynolds (1975) vond een intrabeoordelaarbetrouwbaarheid die redelijk goed was bij meting van voor- en zijwaarts buigen (variatiecoëfficiënt maximaal 9.4%), maar slecht bij meting van achterwaarts buigen (variatiecoëfficiënt=23.5%). Mayer e.a. (1984) vonden een goede inter- en intrabeoordelaarbetrouwbaarheid van metingen met een inclinometer. In het onderzoek van Gill e.a. (1988) werd een kleine variatiecoëfficiënt (< 4.7%) gevonden bij herhaalde metingen bij achterwaarts buigen maar deze was groot (33.9%) bij voorwaarts buigen.

### **Validiteit**

Een vergelijking van de hand-inclinometer met radiografie door Mayer e.a. (1984) liet een goede overeenkomst tussen beide methoden zien (significante correlatie met  $p < .01$ ).

Portek (1983) vond een lage correlatie (.41-.57) bij vergelijking van de inclinometer met radiografie.

### **Praktische bruikbaarheid**

De hand-inclinometer is, zoals de andere besproken hand-meetinstrumenten, niet zo geschikt voor gebruik in dynamische arbeidssituaties, omdat de meetresultaten direct afgelezen moeten worden. Voor gebruik van deze methode zijn geen aanpassingen in de arbeidssituatie nodig. Wel is het nodig dat de meetpunten goed bereikbaar zijn en niet verschuiven ten opzichte van de huid. Na een goede voorbereiding (markeren van de meetpunten en eventueel nauwkeurig bevestigen van het meetinstrument), zijn de metingen verder vrij eenvoudig uit te voeren. De resultaten zijn direct beschikbaar en kunnen als invoergegevens voor biomechanische modellen dienen.

## **2.5.4.2**

### **Elektro-inclinometers**

De hoek die het te meten lichaamssegment met de zwaartelijns maakt wordt door de elektro-inclinometer omgezet in een elektrisch signaal, en eventueel als zodanig opgeslagen.

### **Beschrijving**

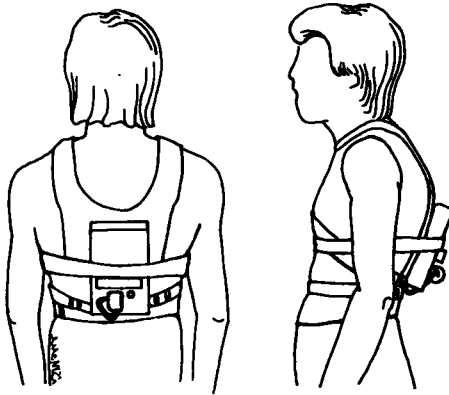
Een elektro-inclinometer werd toegepast in de ergonomie door Baty e.a. (1986), Weber e.a. (1986), Nordin e.a. (1986), Bendix & Hagberg (1984), Bendix e.a. (1985), Bendix e.a. (1987), Snijders (1986) en Dul e.a. (1988) en in een epidemiologisch onderzoek door Maeda e.a. (1980). Door Otun & Anderson (1988) wordt een betrekkelijk nieuwe elektro-inclinometer beschreven.

Door Maeda e.a. (1980) werd de romphouding (op L4-L5 niveau) van kaswerkers gemeten. De in dit onderzoek gebruikte elektro-inclinometer bestaat uit een ronde plastic huls gevuld met kwikzilver en twee elektroden. Zodra het te meten lichaamssegment een bepaalde, van te voren ingestelde, hoek overschrijdt, gaat een elektrische klok lopen (figuur 5.6). Op deze wijze wordt vastgelegd hoelang een bepaalde

houding wordt ingenomen. Eventueel kan met meerdere klokken de overschrijdingsduur van verschillende hoeken worden gemeten.

Door Nordin e.a. (1986) werd een elektro-inclinometer met draagbare datarecorder gebruikt, die met banden op de rug werd bevestigd (op T12 niveau) om voorwaarts buigen van de romp te meten tijdens het uitvoeren van verschillende soorten werk (figuur 2.11).

Door Snijders (1986) wordt een elektro-inclinometer in combinatie met andere meetapparatuur gebruikt om de romphouding te bepalen.



**Figuur 2.11**

Een elektro-inclinometer met draagbare opslag- apparatuur voor de registratie van romphoudingen (uit: Nordin e.a 1986)

Baty e.a. (1986) gebruikten de elektro-inclinometer naast directe observatie en vragenlijsten voor het bepalen van de stand van de romp van verpleegsters tijdens het werk. Het instrument werd in dit onderzoek op het sternum bevestigd. Het meetinstrument bestaat uit een kastje waarin een gewichtje voorzien is van rekstrookjes. Verandering van de stand van het te meten lichaamssegment resulteert in uitrekking van het strookje, dat een met de uitrekking corresponderend elektrisch signaal geeft. Dit elektrische signaal werd vastgelegd in een draagbare datarecorder. Op een naaiwerkplek werd hetzelfde instrument door Dul e.a. (1988) gebruikt voor het meten van de bovenarmstand van naaisters (figuur 2.12).



Figuur 2.12

Toepassing van een elektro-inclinometer met draagbare opslagapparatuur (uit: Dul e.a. 1988)

In een onderzoek naar romp- en hoofdhouding bij verschillende schuinstanden van een stoelzitting door Bendix e.a. (1987) werd onder andere gebruik gemaakt van een tweedimensionele elektro-inclinometer. Dit instrument werd ook gebruikt bij een onderzoek van de zithoudingen bij verschillende schuinstanden van een tafel (Bendix & Hagberg 1984) en om werkhoudingen te vergelijken bij stand, zitten en staan met steun (Bendix e.a. 1985).

De werking van de door Otun & Anderson (1988) beschreven elektro-inclinometer is gebaseerd op opto-elektronische principes. Het apparaat bestaat uit een pendulum, die tussen een infrarood bron en sensoren beweegt. De infrarode straal wordt differen-

tieel onderbroken door de roterende pendulum, waardoor de sensor een met de standverandering van het te meten lichaamsdeel evenredig elektrisch signaal produceert. Om de voorwaartse buiging van de wervelkolom te bepalen worden de hoeken tussen twee punten (T12 en S1) op de wervelkolom gemeten. De signalen worden opgeslagen (maximaal 8 uur) op een draagbare datarecorder en computermatig verwerkt.

### **Betrouwbaarheid**

Bij langzame bewegingen en statische situaties is de betrouwbaarheid goed, maar bij snellere, abrupte bewegingen of toevallige extreme omstandigheden (opstaan) kunnen storingen ontstaan (Dul e.a. 1988, Otun & Anderson 1988, Baty e.a. 1986). Een oplossing hiervoor vormt het synchroon opnemen van bijvoorbeeld videobeelden, zodat storingen achteraf uit het signaal kunnen worden verklaard (Dul e.a. 1988). De door Otun & Anderson (1988) beschreven inclinometer is beschermd tegen mechanische schokken (door silicon rubber), waardoor de storing bij grote versnellingen volgens de auteurs minimaal is. Deze storingen zouden bovendien als zodanig herkenbaar zijn en daardoor uit de analyse kunnen worden weggelaten. Dezelfde auteurs vonden bij herhaalde metingen een kleine standaarddeviatie ( $sd = 2.3^\circ$  bij een gemiddelde van  $29.5^\circ$ ). Het signaal dat wordt gegeven door de elektro-inclinometer kan worden beïnvloed door bewegingen in andere vlakken dan die waarin men is geïnteresseerd (Otun & Anderson 1988). Otun & Anderson bekeken de invloed van zijwaarts buigen en roteren van de romp op het signaal bij meting van voorwaartse buiging van de romp en vonden een maximale fout van  $6.3^\circ$  bij  $60^\circ$  zijwaarts buigen.

De betrouwbaarheid van de metingen van hoofd- en romphouding met behulp van een elektro-inclinometer, in de onderzoeken van Bendix (Bendix e.a. 1985, Bendix e.a. 1987, Bendix & Hagberg 1984) was laag.

### **Validiteit**

Vergelijking van de resultaten van metingen met de door Otun & Anderson (1988) beschreven elektro-inclinometer en die van radiografische metingen, leverde een (significante) correlatie coëfficiënt op van 0.91.

### **Praktische bruikbaarheid**

De elektro-inclinometer is klein en licht (het door Otun & Anderson beschreven, cilindervormige, apparaat is 20 mm lang en 15 mm in diameter, en weegt 17 g). Het kan onder de kleding gedragen worden dankzij de elektrische opslag van de gegevens. Een draagbare data-recorder (ter grootte van een walkman en ongeveer 0.5 kg in gewicht) kan om het middel worden gedragen. De apparatuur vormt volgens de onderzoekers geen beperking voor de proefpersoon bij de uitvoering van het werk. De voorbereidingen op de metingen bestaan uit het aanbrengen van de apparatuur en calibratie van het instrument. De nauwkeurigheid waarmee hoeken kunnen worden gemeten met een elektro-inclinometer, is variabel. Bij metingen met het door Nordin beschreven apparaat werd de bewegingsrange verdeeld in zones van  $18^\circ$ . De nauwkeurigheid van het door Weber e.a. (1986) gebruikte instrument ligt binnen  $3^\circ$  op een range van  $60^\circ$ .

Verwerking van de gegevens verloopt over het algemeen computermatig. De resultaten geven informatie over de duur en frequentie van de gemeten houdingen. Uit deze gegevens kan worden berekend hoelang iedere houding (range van hoeken) is aangenomen, als percentage van de gehele meetperiode, en de gemiddelde duur per houding (Baty e.a. 1986, Nordin e.a. 1986), of kan de gemiddelde houding tijdens de meetperiode worden bepaald (Dul e.a. 1988).

### 2.5.5 Vormmeting (de flexirule)

#### **Beschrijving**

De flexirule (ook wel flexicurve genoemd) wordt gebruikt om de buiging van de wervelkolom te meten (Anderson & Sweetman 1975, Burton 1986a, Burton 1986b, Sweetman e.a. 1974 en Salisbury & Porter 1987).

De flexirule is een (maximaal) ongeveer 40 cm lange, lichte, buigbare loden draad en is afkomstig uit de grafische wereld. De flexirule wordt langs de wervelkolom geplaatst waarbij enkele punten worden gemarkeerd. Vervolgens wordt bij een te meten houding de flexirule overgebracht op grafiekenpapier. Op deze wijze wordt de vorm van de wervelkolom handmatig gemeten. Eventueel kunnen de hoeken die de raaklijnen aan de curve maken op de plaats van de markeerpunten berekend worden, waardoor een vergelijking van deze methode met meting d.m.v. andere methoden (bijv. inclino- of goniometer) mogelijk wordt (Anderson & Sweetman 1975).

#### **Betrouwbaarheid**

Burton (1986a) vond een minimale betrouwbaarheidscoëfficiënt van respectievelijk .95 (metingen door verschillende onderzoekers) en .81 (metingen door één onderzoeker) bij het herhaald meten van voorwaartse en achterwaartse rompbuiging.

De flexicurve had een grotere spreiding dan de goniometer en de kyphometer bij herhaalde metingen van voorwaarts buigen van de romp (Salisbury & Porter 1987).

#### **Validiteit**

Burton (1986a) vergeleek de flexirule met een inclinometer en vond een minimale correlatiecoëfficiënt van .80.

Een vergelijking van metingen met de flexirule met radiografische metingen, bij meting van voor- en achterwaarts buigen van de romp, gaf een maximale afwijking van 1 graad (circa 1%).

Salisbury & Porter (1987) vonden een correlatie van respectievelijk .94 en .93 tussen de resultaten van meting van voor- en achterwaarts buigen met een flexicurve enerzijds en een goniometer en kyphometer anderzijds.

#### **Praktische bruikbaarheid**

Een flexirule kan alleen worden gebruikt voor het meten van houdingen, in statische werksituaties. De methode is goedkoop, maar vrij arbeidsintensief, met name door het uittekenen van de vorm.

### 2.5.6 Conclusie

De meeste in deze paragraaf besproken meetinstrumenten (met name de handmatig bediende apparatuur) zijn vooral in de medische wereld (onder laboratoriumcondities) toegepast, met als doel de mobiliteit van de wervelkolom of een ander gewricht (hoofd, knie, elleboog) te bepalen. Bij het bepalen van de herhaalbaarheid van metingen speelt ook de reproduceerbaarheid van houdingen een rol, waardoor de beoordeling van de bruikbaarheid van het meetinstrument in arbeidssituaties bemoeilijkt wordt. Voor alle meetinstrumenten die in deze paragraaf werden besproken geldt dat ze praktisch moeilijker toepasbaar zijn, door de volgende factoren:

- zorgvuldige plaatsing van de apparatuur op het lichaam en een goede standaardprocedure zijn van groot belang voor de nauwkeurigheid van de metingen;

- huidverschuivingen kunnen, met name bij gebruik van een goniometer, tot onnauwkeurigheden in de metingen leiden. Daarom wordt de apparatuur bij voorkeur op benige uitsteeksels geplaatst.
- het vaststellen van een baseline voor de rughouding kan worden bemoeilijkt door een slechte reproduceerbaarheid van houdingen door de proefpersoon (Mellin 1986);
- voor interpretatie van de gegevens is aanvullende informatie nodig over de verrichtte activiteiten door de proefpersoon.

De betrouwbaarheid en validiteit van de in § 2.5 besproken methoden werd vaak niet bepaald of vermeld.

Voordelen van elektrische meetinstrumenten ten opzichte van handmatige zijn:

- een meer objectieve wijze van meten, waardoor betrouwbaarheid en nauwkeurigheid groter kunnen zijn;
- de metingen zijn minder arbeidsintensief;
- de registratie is continu en kan, dankzij de mogelijkheid tot automatische opslag van gegevens, eventueel over een gehele werkdag plaatsvinden;
- een vaste werkplaats is niet vereist als de apparatuur voor opslag van de signalen draagbaar is, of als de signalen radiografisch worden vastgelegd;
- het meetinstrument kan, als gebruik wordt gemaakt van draagbare opslagapparatuur, of radiografische overzending van gegevens, onder de kleding worden aangebracht;
- de mogelijkheid tot herbeoordeling van de resultaten dankzij het feit dat ze worden opgeslagen.

Nadelen van elektrische meetinstrumenten ten opzichte van handmetingen zijn:

- ze zijn redelijk duur;
- ze vereisen een uitgebreidere voorbereiding (instellen en calibreren van de apparatuur);
- de meetgegevens zijn niet direct beschikbaar;
- er is meer deskundigheid vereist voor bediening van de apparatuur en verwerking van de gegevens met behulp van een computer.

De handmeetmethoden zijn uitsluitend bruikbaar voor registratie van houdingen vanwege de noodzaak de resultaten direct af te lezen.

De inclinometers geven informatie over de stand ten opzichte van de zwaartelijn, waardoor het mogelijk wordt via biomechanische modellen en antropometrische gegevens krachten en momenten te berekenen.

De inclinometers zijn over het algemeen iets minder omvangrijk dan goniometers, waardoor de proefpersoon minder in zijn bewegingen gehinderd wordt.

De meeste instrumenten meten alleen standen van één lichaamsdeel (meestal in één vlak). Een uitzondering hierop vormt het Uniman-systeem (§ 2.5.2.2), dat het gehele lichaam beschouwt. Door combinatie van verschillende instrumenten kunnen bewegingen van meerdere lichaamsdelen of in meerdere vlakken worden beschouwd. Zo gebruiken Odenrick e.a. (1987) een instrument met drie potentiometers en een inclinometer, waarmee het hoofd, de romp en de nekhouding gemeten worden in drie vlakken. Snijders e.a. (1987) gebruiken een elektro-inclinometer, een lengtemeter en een potentiometer om de stand van de romp in drie vlakken te meten.

De nauwkeurigheid waarmee men houdingen wil registreren is een zeer belangrijke factor bij de keuze van een meetmethode. In sommige gevallen zijn, als gevolg van een ergonomische verandering, slechts kleine houdingsveranderingen te verwachten, die over een hele werkdag gezien, toch van betekenis kunnen zijn in termen van belastingvermindering. Een verschil van 5° rompbuiging kan immers een verbetering opleveren in compressiekracht op de lumbale wervels (L3/L4) van 40%). Voor het aantonen van dergelijke kleine houdingsverschillen zal de nauwkeurigheid (het discriminatievermogen) van het meetinstrument groot moeten zijn.

Bij enkele methoden wordt een maat voor de belasting berekend. Dit gebeurt op verschillende manieren, bijvoorbeeld op basis van EMG-metingen (Zuidema) of van het oordeel van deskundigen en de werknemers zelf (OWAS, ARBAN) of de relatie met klachten of aandoeningen van het bewegingsapparaat (Ergoloc). Deze belastingsmaten kunnen gebruikt worden om verschillende belastingssituaties met elkaar te vergelijken. Bij de methoden OWAS en ARBAN worden bovendien kwalitatieve uitspraken gedaan over de gemeten houdingen. Hoe waardevol de normen zijn die daarbij worden gebruikt, is echter onduidelijk.

Het lijkt niet mogelijk om vanuit het uitgebreide scala van meetmethoden ter registratie van houding en beweging een methode te kiezen die het meest geschikt is voor gebruik in "de" arbeidssituatie. De keuze van een methode zal steeds van een aantal factoren (die in § 2.3.2 zijn besproken) afhangen:

- de betrouwbaarheid en validiteit;
- de aard van de werkzaamheden;
- het doel van het onderzoek;
- praktische overwegingen (specifieke eisen die gesteld worden aan de methode).

Uitgaande van deze factoren zal op deze plaats getracht worden een indruk te geven van de bruikbaarheid van de besproken meetmethoden door deskundigen (bedrijfsartsen, ergonomen etc.) in arbeidssituaties. In vier tabellen wordt aangegeven in hoeverre de besproken methoden bruikbaar zijn onder verschillende omstandigheden. In tabel 2.2 wordt een overzicht gegeven van de betrouwbaarheid en validiteit van de methoden. In tabel 2.3 staat de waarde van de methoden met betrekking tot de soort belasting die in de werksituatie voorkomt. In tabel 2.4 wordt aangegeven in hoeverre het doel van het onderzoek wordt gediend door de verschillende methoden, en in tabel 2.5 aan welke praktische overwegingen wordt voldaan.

Voor een verklaring van in de tabellen voorkomende termen wordt verwezen naar tabel 2.1 op het uitvouwblad in § 2.2.3. In de tabellen wordt uitgegaan van de methoden zoals ze zijn ontwikkeld of worden toegepast. Soms kan een methode, met een kleine aanpassing (bijvoorbeeld de mogelijkheid tot computermatige verwerking), geschikt worden gemaakt voor meerdere omstandigheden dan in de tabellen wordt weergegeven.

Enkele methoden worden niet in de tabellen vermeld. Over de observatiemethode van Chaffin (§ 2.3.2.4) ontbreken veel gegevens. Deze methode zal niet in de tabellen worden vermeld. Van de dans-notatiesystemen is al gezegd (in § 2.3.2.5) dat deze een te lange leertijd vereisen om door Arbo-deskundigen te kunnen worden toegepast. De methoden die worden besproken onder "diversen" (§ 2.3.3.4 en § 2.3.4.4) zijn niet in de tabellen vermeld, omdat ze geen specifieke kenmerken bezitten, maar aanpassingen zijn van andere methoden voor gebruik in een specifieke situatie.

**Tabel 2.2**

I. Beoordeling van de methoden o.g.v. betrouwbaarheid en validiteit. Voor een omschrijving van de begrippen wordt verwezen naar tabel 2.1 (+ = goed, o = matig, - = slecht, p = predictieve validiteit; niet ingevuld betekent: geen gegevens bekend; alle gegevens zijn gebaseerd op slechts enkele onderzoeken)

|                                               | 1<br>betrouwbaarheid | 2<br>validiteit |
|-----------------------------------------------|----------------------|-----------------|
| <b><u>Observatiemethoden</u></b>              |                      |                 |
| Methode Zuidema (2.3.1.1)                     |                      |                 |
| De OMAS-methode (2.3.1.2)                     | +                    | o <sup>p</sup>  |
| Methode Corlett (2.3.2.1)                     | o                    | o <sup>p</sup>  |
| ROTA (2.3.2.1)                                | +                    | +               |
| Van Rooijen (2.3.2.2)                         |                      |                 |
| Ergoloc (2.3.2.2)                             |                      |                 |
| ARBAN (2.3.3.1)                               |                      |                 |
| VIRA/Keyserling (2.3.3.2)                     | o                    | o <sup>p</sup>  |
| Keyserling & Budnick (2.3.3.3)                | o                    |                 |
| <b><u>Handmatig opmeten vanaf beelden</u></b> |                      |                 |
| Fotografie (2.4.2.1)                          | +                    | +               |
| Film (2.4.2.2)                                | +                    | +               |
| Cyclografie (2.4.2.3)                         |                      |                 |
| Video-opnamen (2.4.2.4)                       | +                    | +               |
| <b><u>Metingen direct op het lichaam</u></b>  |                      |                 |
| Handlengtemeters (2.5.2.1)                    | o                    | o               |
| Elektro-lengtemeters (2.5.2.2)                |                      |                 |
| Hand-goniometers (2.5.3.1)                    | o/+                  | o               |
| Elektro-goniometers (2.5.3.2)                 | +                    | +               |
| Hand-inclinometers (2.5.4.1)                  | o                    | o               |
| Elektro-inclinometers (2.5.4.2)               | o/+                  | +               |
| Flexi-rule (2.5.5)                            | +                    | o/+             |

Tabel 2.3 II. Beoordeling van de methoden op grond van de aard van de belasting en werkzaamheden. Voor een beschrijving van de begrippen wordt verwezen naar tabel 2.1. (x = de methode levert informatie over, x<sup>s</sup> = rompostand, x<sup>k</sup> = rompkromming)

|                                       | houding<br>versus<br>beveging | (kort)cylisch<br>variërend<br>werk | totale<br>lichaam | hoofd<br>(nek) | boven-<br>armen<br>(schouders) | orderarm<br>en handen<br>(elleboog,<br>polsen) | romp<br>(heup)<br>(stand/<br>kromming) | benen,<br>voeten<br>(knieën,<br>of latero-<br>enkeis) | rompro-<br>tatie en/<br>of latero-<br>flexie | uifwen-<br>dige<br>belas-<br>ting | 2/3D |
|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------|----------------|--------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------|------|
| <b>Observatiemethoden</b>             |                               |                                    |                   |                |                                |                                                |                                        |                                                       |                                              |                                   |      |
| Methode Zuidema (2.3.1.1)             | h                             | v                                  |                   |                |                                |                                                | x <sup>s</sup>                         |                                                       |                                              | x                                 | 3    |
| De OMAS-methode (2.3.1.2)             | h                             | v/k                                | x                 | x              | x                              |                                                | x <sup>s</sup>                         | x                                                     | x                                            | x                                 | 3    |
| Methode Corlett (2.3.2.1)             | h                             | v/k                                | x                 | x              | x                              | x                                              | x <sup>s</sup>                         | x                                                     | x                                            | x                                 | 3    |
| ROTA (2.3.2.1)                        | h                             | v                                  | x                 | x              | x                              |                                                |                                        |                                                       |                                              | x                                 | 3    |
| Van Rooijen (2.3.2.3)                 | h                             | v                                  | x                 | x              | x                              |                                                | x <sup>s</sup>                         |                                                       | x                                            | x                                 | 3    |
| Ergoloc (2.3.2.3)                     | h                             | k                                  | x                 | x              | x                              | x                                              | x <sup>s</sup>                         | x                                                     | x                                            | x                                 | 3    |
| ARBAN (2.3.3.1)                       | h(b)                          | k                                  | x                 | x              | x                              |                                                |                                        |                                                       |                                              | x                                 | 3    |
| VIBA/Keyserling (2.3.3.2)             | h(b)                          | k                                  | x                 | x              | x                              |                                                |                                        |                                                       |                                              | x                                 | 3    |
| Keyserling & Budnick (2.3.3.3)        | h                             | v/k                                | x                 | x              | x                              | x                                              | x <sup>s</sup>                         | x                                                     | x                                            | x                                 | 3    |
| <b>Handmatia opmeten vanaf</b>        |                               |                                    |                   |                |                                |                                                |                                        |                                                       |                                              |                                   |      |
| <b>beelden (1 camera)</b>             |                               |                                    |                   |                |                                |                                                |                                        |                                                       |                                              |                                   |      |
| Fotografie (2.4.2.1)                  | h                             | v/k                                | x                 |                |                                |                                                | x                                      | x                                                     |                                              | x                                 | 2    |
| Film (2.4.2.2)                        | h/b                           | v/k                                | x                 |                |                                |                                                | x                                      | x                                                     |                                              | x                                 | 2    |
| Cyclografie (2.4.2.3)                 | b                             | k                                  |                   |                |                                |                                                | x                                      | x                                                     |                                              |                                   | 2    |
| Video-opnamen (2.4.2.4)               | h/b                           | v/k                                | x                 |                |                                |                                                | x                                      | x                                                     |                                              | x                                 | 2    |
| <b>Metingen direct op het lichaam</b> |                               |                                    |                   |                |                                |                                                |                                        |                                                       |                                              |                                   |      |
| Handlengtemeters (2.5.2.1)            | h                             | v/k                                |                   |                |                                |                                                | x <sup>k</sup>                         | x                                                     |                                              |                                   | 2    |
| Elektro-lengtemeters (2.5.2.2)        | h/b                           | v/k                                |                   |                |                                |                                                | x <sup>k</sup>                         | x                                                     |                                              |                                   | 2    |
| Hand-goniometers (2.5.3.1)            | h                             | v/k                                |                   | x              | x                              | x                                              | x <sup>s</sup>                         |                                                       |                                              |                                   | 2    |
| Elektro-goniometers (2.5.3.2)         | h/b                           | v/k                                |                   | x              | x                              | x                                              | x <sup>s</sup>                         |                                                       |                                              |                                   | 2    |
| Hand-inclinometers (2.5.4.1)          | h                             | v/k                                |                   | x              | x                              | x                                              | x <sup>s</sup>                         |                                                       |                                              |                                   | 2    |
| Elektro-inclinometers (2.5.4.2)       | h/b                           | v/k                                |                   | x              | x                              | x                                              | x <sup>s</sup>                         |                                                       |                                              |                                   | 2    |
| Flexi-rule (2.5.5)                    | h                             | v/k                                |                   |                |                                |                                                | x <sup>k</sup>                         |                                                       |                                              |                                   | 2    |

**Tabel 2.4** 111. Beoordeling van de methoden op grond van het type onderzoeksresultaten die worden verkregen bij toepassing van de methode en de vereiste nauwkeurigheid. Voor een beschrijving van de begrippen wordt verwezen naar tabel 2.1. (x = de methode levert informatie over, + = goed, o = matig, - = slecht, x<sup>n</sup> = normatieve beoordeling).

|                                       | gegevens over:         |                     |                           | belastingsmaat: m.b.v. |                  |                | koppeling met belastende werkhandeling | nauwkeurigheid |
|---------------------------------------|------------------------|---------------------|---------------------------|------------------------|------------------|----------------|----------------------------------------|----------------|
|                                       |                        |                     |                           |                        |                  |                |                                        |                |
|                                       | a - duur en frequentie | b - freq. verdeling | c - snelheid/ versnelling | a - biomech. model     | b - EMG-metingen | c - anders     |                                        |                |
|                                       | a                      | b                   | c                         | a                      | b                | c              |                                        |                |
| <b>Observatiemethoden</b>             |                        |                     |                           |                        |                  |                |                                        |                |
| Methode Zuidema (2.3.1.1)             |                        | x                   |                           |                        | x                | x <sup>n</sup> | x                                      | -              |
| De OMAS-methode (2.3.1.2)             |                        | x                   |                           |                        |                  |                | x                                      | -              |
| Methode Corlett (2.3.2.1)             | x                      | x                   |                           |                        |                  |                | x                                      | o              |
| ROTA (2.3.2.1)                        | x                      | x                   |                           |                        |                  |                | x                                      | o              |
| Van Rooijen (2.3.2.2)                 |                        | x                   |                           |                        |                  |                | x                                      | -              |
| Engeloc (2.3.2.3)                     | x                      | x                   |                           | x                      |                  |                |                                        | o              |
| ARBAN (2.3.3.1)                       | x                      | x                   |                           | x                      |                  | x <sup>n</sup> | x                                      | o              |
| VIRA/Keyserling (2.3.3.2)             | x                      | x                   |                           |                        |                  | x <sup>n</sup> | x                                      | o              |
| Keyserling & Budnick (2.3.3.3)        | x                      |                     |                           | x                      |                  |                | x                                      | ?              |
| <b>Handmatige opmeten</b>             |                        |                     |                           |                        |                  |                |                                        |                |
| <b>vanaf besloten</b>                 |                        |                     |                           |                        |                  |                |                                        |                |
| Fotografie (2.4.2.1)                  |                        | x                   |                           | x                      |                  | —              | x                                      | +              |
| Film (2.4.2.2)                        | x                      | x                   | x                         | x                      |                  |                | x                                      | +              |
| Cyclografie (2.4.2.3)                 |                        |                     | x                         |                        |                  |                |                                        | +              |
| Video-opnamen (2.4.2.4)               | x                      | x                   | x                         | x                      |                  |                | x                                      | +              |
| <b>Metingen direct op het lichaam</b> |                        |                     |                           |                        |                  |                |                                        |                |
| Handlengtemeters (2.5.2.1)            |                        |                     |                           |                        |                  |                |                                        | +              |
| Elektro-lengtemeters (2.5.2.2)        |                        | x                   |                           |                        |                  |                |                                        | +              |
| Hand-goniometers (2.5.3.1)            |                        | x                   |                           |                        |                  |                |                                        | o/+            |
| Elektro-goniometers (2.5.3.2)         | x                      | x                   |                           |                        |                  |                |                                        | o/+            |
| Hand-inclinometers (2.5.4.1)          |                        | x                   |                           | x                      |                  |                |                                        | o/+            |
| Elektro-inclinometers (2.5.4.2)       | x                      | x                   |                           | x                      |                  |                |                                        | o/+            |
| Flexi-rule (2.5.5)                    | x                      | x                   |                           |                        |                  |                |                                        | +              |

**Tabel 2.5** IV. Beoordeling van de methoden op grond van praktische overwegingen. Voor een omschrijving van de begrippen wordt verwezen naar tabel 2.1 (+ = goed, o = matig, - = slecht, c = indien gebruik wordt gemaakt van een computer).

|                                       | goed-<br>koop    | weinig<br>directe<br>voorbereiding | eenvou-<br>dige<br>bediening | geen<br>contact<br>met de<br>pp | geen in-<br>vloed op<br>normale<br>werk | vereist<br>geen<br>vaste<br>werk-<br>plaats | niet<br>arbeids-<br>inter-<br>sief | compu-<br>termatige<br>verwer-<br>king | verwer-<br>king is<br>niet<br>arb.int. | veel<br>toege-<br>past in<br>werk-<br>situaties |
|---------------------------------------|------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>Observatiemethoden</b>             |                  |                                    |                              |                                 |                                         |                                             |                                    |                                        |                                        |                                                 |
| Methode Zuidam (2.3.1.1)              | o/+ <sup>c</sup> | +                                  | +                            | +                               | +                                       | +                                           | -/o                                | +                                      | o/+ <sup>c</sup>                       | +                                               |
| De OMAS-methode (2.3.1.2)             | o/+ <sup>c</sup> | +                                  | o                            | +                               | +                                       | +                                           | -/o                                | +                                      | o/+ <sup>c</sup>                       |                                                 |
| Methode Corlett (2.3.2.1)             | +                | +                                  | +                            | +                               | +                                       | +                                           | -/o                                | -                                      | o                                      |                                                 |
| ROTA (2.3.2.1)                        | o                | +                                  | o                            | +                               | +                                       | +                                           | o                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| Van Rooijen (2.3.2.2)                 | o                | +                                  | +                            | +                               | +                                       | +                                           | o                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| Ergoloc (2.3.2.3)                     | o                | +                                  | o                            | +                               | +                                       | +                                           | o                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| ARBAM (2.3.3.1)                       | -                | o                                  | o                            | +                               | o/+                                     | +                                           | -                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| VIRA/Keyserling (2.3.3.2)             | -                | o                                  | +                            | +                               | o/+                                     | -                                           | -                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| Keyserling & Budnick (2.3.3.3)        | -                | o                                  | o                            | +                               | o/+                                     | -                                           | -                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| <b>Handmatige omzeten</b>             |                  |                                    |                              |                                 |                                         |                                             |                                    |                                        |                                        |                                                 |
| <b>Handmatig omzetten</b>             |                  |                                    |                              |                                 |                                         |                                             |                                    |                                        |                                        |                                                 |
| vanaf beelden (met digitizer)         |                  |                                    |                              |                                 |                                         |                                             |                                    |                                        |                                        | o                                               |
| Fotografie (2.4.2.1)                  | o/+              | -/o                                | +                            | +                               | o/+                                     | -/+                                         | -                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| Film (2.4.2.2)                        | -                | -/o                                | +                            | +                               | o/+                                     | -/+                                         | -                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| Cyclografie (2.4.2.3)                 | -                | -/o                                | o                            | +                               | -                                       | -                                           | -                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| Video-opnamen (2.4.2.4)               | -                | -/o                                | +                            | +                               | o/+                                     | -/+                                         | -                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| <b>Metingen direct op het lichaam</b> |                  |                                    |                              |                                 |                                         |                                             |                                    |                                        |                                        |                                                 |
| Handlengtemeters (2.5.2.1)            | +                | o                                  | +                            | -                               | -                                       | +                                           | -                                  | -                                      | o                                      |                                                 |
| Elektro-lengtemeters (2.5.2.2)        | -                | o                                  | o                            | -                               | +                                       | +                                           | +                                  | +                                      | +                                      |                                                 |
| Hand-goniometers (2.5.3.1)            | +                | o                                  | o                            | -                               | o/+                                     | +                                           | -                                  | -                                      | o                                      |                                                 |
| Elektro-goniometers (2.5.3.2)         | -/o              | -/o                                | o                            | -                               | o/+                                     | -/+                                         | +                                  | +                                      | + <sup>c</sup>                         |                                                 |
| Hand-inclinometers (2.5.4.1)          | +                | o                                  | +                            | -                               | o/+                                     | +                                           | -                                  | -                                      | o                                      |                                                 |
| Elektro-inclinometers (2.5.4.2)       | -/o              | -/o                                | o                            | -                               | o/+                                     | +                                           | +                                  | +                                      | + <sup>c</sup>                         |                                                 |
| Flexi-rule (2.5.5)                    | +                | +                                  | +                            | -                               | -                                       | +                                           | -                                  | -                                      | o                                      |                                                 |

Op basis van de tabellen kan een algemeen beeld geschetst worden van de toepasbaarheid van de besproken meetmethoden voor houdings- en/of bewegingsregistratie door Arbo-deskundigen.

Observatiemethoden voldoen aan veel praktische criteria, maar leveren resultaten die niet erg nauwkeurig zijn, en niet geschikt voor het bestuderen van bewegingen. De bewegingsrange van een gewricht wordt meestal in relatief brede intervallen verdeeld (met een breedte van minimaal ongeveer  $15^\circ$ , vaak zelfs  $30^\circ$ ), waardoor slechts grove schattingen gemaakt kunnen worden. Onduidelijk is hoe groot de nauwkeurigheid van observaties is als puntschattingen worden gedaan (in plaats van intervallschattingen). Observatiemethoden lijken bruikbaar als men de duur en frequentie van goed onderscheidbare houdingen wil bepalen. Enkele veelbelovende methoden binnen deze groep zijn de methode ROTA en Ergoloc, die beide gebruik maken van een toetsenbord. De gebruikte computer-apparatuur maakt deze methoden wel duurder dan andere directe observatie methoden. De methode Ergoloc is nog in ontwikkeling. De OWAS-methode biedt het voordeel dat het een goedkope methode is waar al relatief veel ervaring mee is onder Arbo-deskundigen. Voor alle observatiemethoden geldt dat er geen gegevens bekend zijn over de (construct)validiteit van die methoden.

Een nauwkeurige analyse van houdingen kan worden uitgevoerd met behulp van foto- en film- of video-opnametechnieken, waarbij handmatig wordt opgemeten vanaf de beelden. Vanaf foto's kunnen alleen houdingen worden bestudeerd, vanaf film- en video-beelden ook eigenschappen van bewegingen (snelheid, versnelling). Het gebruik van film- en video-apparatuur maakt de registraties duur. Als de metingen vanaf de beelden geheel handmatig worden uitgevoerd is het hele proces erg arbeidsintensief. Het gebruik van een digitizer voor deze metingen verhoogt de kosten, maar ook de snelheid van meten en verwerken van de gegevens. Apparatuur waarmee direct op het lichaam wordt gemeten levert resultaten die ongeveer even nauwkeurig zijn als bovengenoemde beeldopname-apparatuur. Handmatige apparatuur is bruikbaar voor het meten van houdingen en heeft als voordeel boven bijvoorbeeld fotografie dat de resultaten direct beschikbaar zijn. Betrouwbaarheid en validiteit van deze methoden zijn, voorzover bekend, redelijk (handmetingen) tot goed (elektrogoniometers). Maar hierover ontbreken vaak gegevens.

Enkele methoden zijn alleen onder vrij uitzonderlijke condities bruikbaar. Omdat het meten met behulp van een flexicurve of een centimeter erg arbeidsintensief is, lijken deze methoden alleen bruikbaar als men slechts enkele metingen van de kromming van de wervelkolom wil doen, waarbij de flexicurve het voordeel biedt dat de totale vorm van de wervelkolom gemeten kan worden, maar het nadeel dat het meer tijd kost. Of deze methoden ook geschikt zijn voor het meten van standen van andere gewrichten dan de wervelkolom, blijkt niet uit de literatuurgegevens.

Cyclografische methoden vereisen een vrij donkere omgeving, hetgeen meestal een ongewenste verandering van de arbeidssituatie impliceert. Bovendien kunnen met deze methode alleen kortdurende (deel)bewegingen van een lichaamsdeel worden bestudeerd, wil men de bewegingsbaan en de bron nog kunnen identificeren.

Aan de hand van een fictief voorbeeld zal getracht worden aan te geven hoe men op grond van de tabellen tot een keuze zou kunnen komen van de onder verschillende condities meest bruikbare methode(n). Dit voorbeeld geeft tevens aan dat een combinatie van verschillende methoden soms nodig of wenselijk kan zijn om de gewenste informatie over houding en beweging te verzamelen.

**Voorbeeld:**

In een industriële situatie, waarin montagewerkzaamheden worden verricht, wil men bij een bepaalde groep werknemers de werktafel verhogen om een meer verticale positie van het hoofd en de (thoracale) romp (in het sagittale vlak) te verkrijgen. De vraag is echter of door verhoging van de tafel zowel hoofd- als rompstand verbeterd kunnen worden. De kans bestaat dat bijvoorbeeld alleen de rompstand een meer verticale positie aanneemt, terwijl het hoofd juist verder voorovergebogen moet worden en daarmee verslechtert. Ook de houding van de armen kan als gevolg van een verhoogde tafel ongunstiger worden. Om dit te kunnen onderzoeken, en om aanbevelingen te kunnen doen omtrent een optimale tafelinstelling, zou men, wat betreft de keuze van de meetmethode het volgende kunnen overwegen.

Naar aanleiding van een vooronderzoek wordt, gezien de statische aard van de belasting op de rug en nek, geconcludeerd dat 1 registratie per 2 minuten, gedurende de werkperiodes over een hele werkdag voldoende indicatie zou moeten geven over de gemiddelde houding van romp en hoofd (bij een bepaalde tafelhoogte). Doordat de werkzaamheden met de handen worden verricht, veranderen de armen veel sneller (bijna continu) van houding. Voor het bepalen van de armhouding zou deze dus (bijna) continu moeten worden geregistreerd.

Observatiemethoden zijn niet geschikt in deze situatie omdat de armen te snel bewegen en de resultaten niet nauwkeurig genoeg zijn om (eventueel) kleine houdingsverschillen als gevolg van verandering van de tafelhoogte aan te tonen. Het opmeten vanaf foto-, film- of videobeelden biedt wel die mogelijkheid, waarbij fotografie de meest voor de hand liggende methode is voor het registreren van de hoofd- en romphouding, gezien de vereiste snelheid van registreren (1 maal per 2 minuten) en de lagere kosten van fotografie. Handmatige metingen (met een gradenboog) vanaf de foto's hebben de voorkeur boven semi-automatische, vanwege de lagere kosten. Voor het registreren van de drie-dimensionale stand van de arm zouden twee film- of videocamera's gebruikt kunnen worden, maar zou de data-verzameling zeer tijdrovend worden.

Voor registratie van de armhouding kiest men voor een elektro-inclinometer, die het voordeel heeft dat metingen betrouwbaar, valide en minder arbeidsintensief zijn en dat de gegevens direct opgeslagen kunnen worden. De apparatuur is over het algemeen kleiner, en eenvoudiger op het lichaam aan te brengen dan een elektro-goniometer.

Uit dit voorbeeld blijkt dat de keuze van de meetmethode sterk bepaald wordt door de betreffende toepassing. De tabellen 2.2 t/m 2.5 bieden een houvast voor de keuze van een methode voor toepassing in een specifieke werksituatie.

## 2.7

**Conclusies van het literatuuronderzoek**

Het is niet mogelijk om één methode te kiezen die voldoet aan alle criteria die door de Arbo-deskundige kunnen worden gesteld betreffende de aard van de werkzaamheden, het doel van het onderzoek (en de vereiste nauwkeurigheid), en praktische overwegingen. Daarom is getracht, in een drietal tabellen (zie vorige paragraaf), een overzicht te geven van de bruikbaarheid van de onderzochte methoden onder verschillende omstandigheden. Daarnaast wordt, in een vierde tabel, een indruk gegeven van de validiteit en betrouwbaarheid van de methoden voor het registreren van houdingen en bewegingen.

Wat betreft de praktische toepasbaarheid voldoen directe observatie (bijvoorbeeld de OWAS-methode, de methode Corlett of Ergoloc) en fotografie beter dan de andere

onderzochte methoden. Deze methoden zijn met name geschikt voor het bestuderen van houdingen (meestal in het sagittale vlak). Metingen vanaf foto's kunnen nauwkeuriger resultaten opleveren dan directe observatie. Hoe groot deze nauwkeurigheid is in verhouding tot de perspectivische vertekeningen die bij fotografie een rol spelen, is echter niet duidelijk geworden uit de literatuurgegevens. Voor nauwkeurige houdingsgegevens in een situatie waarbij het lichaam veel gedraaid wordt (en het vlak waarin men wil meten moeilijk te vangen is met een fotocamera), zou beter apparatuur op het lichaam kunnen worden aangebracht, zij het dat de kosten en de vereiste deskundigheid daarbij groter zijn. Een elektro-inclinometer biedt het voordeel boven een elektro-goniometer dat daarmee informatie kan worden verkregen over de stand van lichaamsdelen ten opzichte van de zwaartelijns, en dat het instrument doorgaans kleiner in formaat en gewicht is.

Voor het bestuderen van (eigenschappen van) beweging zijn methoden vereist die een aantal praktische consequenties (zoals de kosten, de voorbereidingstijd of de benodigde deskundigheid) met zich mee brengen. Bij het meten vanaf filmbeelden of videobeelden dient men rekening te houden met perspectivische vertekeningen. Apparatuur op het lichaam (elektro-inclinometers) kunnen dan eventueel worden toegepast, met genoemde nadelen.

Van veel methoden die op praktische gronden geschikt lijken voor gebruik door Arbe-deskundigen (met name de observatiemethoden), zijn geen gegevens over de betrouwbaarheid en validiteit bekend. Onderzoek waarin deze eigenschappen worden getest is nodig.

### 3. PILOTONDERZOEK NAAR DE VALIDITEIT VAN FOTOGRAFIE EN OBSERVATIE VOOR DE REGISTRATIE VAN HOUDINGEN

#### 3.1 Inleiding

##### 3.1.1 Achtergrond

In hoofdstuk 2 werd een inventarisatie gemaakt van eenvoudige methoden voor houdings- en bewegingsregistratie op de werkplek. Het ging daarbij om eenvoudige methoden, waarmee Arbo-deskundigen in de praktijk de effecten van mogelijke ergonomische interventies op de belasting, in termen van houding of beweging, kunnen kwantificeren om een gegrond advies te kunnen geven over dergelijke veranderingen in de werksituatie.

De methoden voor het registreren van houding en beweging werden beoordeeld op hun bruikbaarheid voor Arbo-deskundigen in de praktijk, aan de hand van vooraf opgestelde methodologische en praktische criteria. Uit het onderzoek bleek dat het niet mogelijk is om één methode te kiezen die toepasbaar is onder alle onderzoeksomstandigheden betreffende de aard van de werkzaamheden (zoals bijvoorbeeld statisch versus dynamisch), het doel van het onderzoek (waardoor ondermeer de vereiste nauwkeurigheid wordt bepaald), en praktische overwegingen (zoals kosten van de methode en eenvoud van het gebruik ervan). Wel zijn er methoden die in veel gevallen voldoen aan de eisen die gesteld kunnen worden aan een methode om het effect van ergonomische veranderingen op de houding te meten.

Op basis van de resultaten van het literatuuronderzoek werd een aantal methoden gekozen voor nadere bestudering. Bij deze keuze werd met name de aandacht gericht op methoden die geschikt zijn voor het bestuderen van houdingen, en niet bewegingen, omdat het onderzoeken van beweging hogere eisen stelt aan de methode en gebruiker, met name wat betreft de kosten en vereiste deskundigheid.

Besloten werd om de methoden waarbij de meetapparatuur op het lichaam wordt geplaatst niet verder te bestuderen. Deze methoden zijn weliswaar relatief nauwkeurig, maar het plaatsen van apparatuur op het lichaam van de werknemer is vaak een bezwaar. Verder zijn deze methoden erg arbeidsintensief (bij handmetingen), of te duur en ingewikkeld (bij elektrische metingen) voor gebruik door Arbo-deskundigen (zie hoofdstuk 2).

Methoden die geschikt lijken voor gebruik door Arbo-deskundigen zijn directe observatie, indirecte observatie en fotografie. Deze methoden zijn niet duur, eenvoudig te gebruiken, staan niet in contact met het lichaam van de werknemer en worden al veel gebruikt door Arbo-deskundigen. Ze zijn met name geschikt voor het bestuderen van houdingen (meestal in het sagittale vlak). Om kenmerken van bewegen, zoals snelheid en versnelling, te meten is meer geavanceerde apparatuur nodig.

Over de validiteit van houdingsregistratie met beide vormen van observatie zijn onvoldoende gegevens bekend (zie hoofdstuk 2). Van fotografie zijn alleen gegevens bekend over betrouwbaarheid en validiteit van herhaalde metingen van coördinaten van punten vanaf foto's, en niet van metingen van lichaamshoeken.

De eisen die men stelt aan de nauwkeurigheid van een methode hangen steeds af van de toepassing van de methode. Als het gaat om het aantonen van houdingsverschillen voor en na een mogelijke ergonomische interventie, dan is de grootte van de verwachte houdingsverschillen bepalend voor de vereiste nauwkeurigheid van het onderzoeksinstrument. In een werksituatie waarin bijvoorbeeld een houding langdurig moet worden aangenomen kan een houdingsverandering van 5° al een belangrijke verbetering zijn,

zo blijkt uit eerder onderzoek (bijvoorbeeld Delleman & Dul 1989) en uit biomechanische berekeningen. Een afname van 5° rompbuiging zonder uitwendige krachtsuitoefening (van 10° naar 5° bij een man met gemiddeld postuur) kan een afname van de compressiekracht op L5-S1 opleveren van bijna 30% (of 200 N). Dat betekent dat een gevoelig instrument moet worden gekozen, waarmee houdingsverschillen van minimaal 5° kunnen worden aangetoond.

In andere situaties, bijvoorbeeld als het gaat om zwaardere houdingen die minder lang worden ingenomen, zal men grotere houdingsverschillen willen bewerkstelligen door ergonomische veranderingen. Het meetinstrument dat gebruikt wordt om die effecten aan te tonen hoeft dan minder nauwkeurig te zijn.

### **Doelstelling**

De doelstelling van dit pilotonderzoek is een eerste indruk te krijgen van de nauwkeurigheid en validiteit van directe observatie, indirecte observatie en fotografie voor het meten van hoeken van lichaamsdelen ten opzichte van een referentielijn.

In de volgende paragraaf wordt iets gezegd over de nauwkeurigheid en validiteit van de drie eenvoudige meetmethoden, om daarna tot een formulering van de vraagstellingen te komen.

## **3.1.2**

### **Nauwkeurigheid en validiteit van de methoden**

Voor alle drie de methoden geldt dat, doordat uitwendig wordt gemeten (of geschat), afwijkingen kunnen ontstaan tussen deze metingen en de werkelijke botstanden of gewrichtsstanden, bijvoorbeeld door verschillen tussen het draaipunt van een gewricht en de plaats waar een markeerpunt is aangebracht. Deze afwijkingen worden in deze studie niet onderzocht.

### **3.1.2.1**

#### **Directe observatie**

Er bestaat onvoldoende inzicht in de nauwkeurigheid waarmee lichaamshoeken kunnen worden geschat door directe observatie. Uit de resultaten van betrouwbaarheidsonderzoek van observaties (zie hoofdstuk 2) in situaties, waarbij de lichaamshoeken in regio's verdeeld waren (bijvoorbeeld 0°-15°, 15°-30°, 30°-45° etc.) krijgt men de indruk dat alleen grotere houdingsverschillen (minimaal ongeveer 15°) in het sagittale vlak kunnen worden aangetoond. Hoe groot de nauwkeurigheid van het schatten van lichaamshoeken is als deze niet vooraf in regio's worden verdeeld, is niet bekend.

Onder bepaalde omstandigheden zou de observatiemethode nauwkeuriger kunnen zijn dan fotografie, doordat de observator gebruik kan maken van extra visuele informatie (zoals grootte en plaats van de lichaamsdelen ten opzichte van elkaar), waardoor een drie-dimensionale interpretatie van het beeld mogelijk wordt. Draaiing van het lichaamsvlak, waarin men de hoek wil meten, ten opzichte van het "observatie- of cameravlak" (het vlak loodrecht op de kijkrichting van de observator of camera) om de zwaartelijn, zou door de aanwezigheid van deze drie-dimensionale informatie wellicht minder invloed hebben op de nauwkeurigheid van de observaties dan op de nauwkeurigheid van hoekmetingen vanaf foto's.

### 3.1.2.2 Indirecte observatie

De nauwkeurigheid van hoekschattingen door indirecte observatie (zonder hulpmiddelen, zoals een gradenboog), bijvoorbeeld vanaf foto's, zou negatief beïnvloed kunnen worden door verlies van diepte-informatie. Of en in welke mate dit het geval is, is niet bekend.

### 3.1.2.3 Fotografie

Bij het meten van lichaamshoeken (van lichaamsdelen ten opzichte van elkaar of van ten opzichte van een referentielijn) vanaf foto's kunnen fouten ontstaan:

- a bij het (handmatig of met een digitizer) meten van de coördinaten vanaf de foto's. Uit het literatuuronderzoek bleek dat deze fouten klein zijn (zie § 2.9);
- b door perspectivische vertekeningen, doordat een twee-dimensionale opname wordt gemaakt van een drie-dimensionale gebeurtenis. Vanaf de foto wordt in feite een projectie van de werkelijke hoek gemeten.

Wat betreft fotografie is de aandacht in dit onderzoek vooral gericht op de invloed die perspectivische vertekeningen kunnen hebben op de validiteit, bij het meten van lichaamshoeken vanaf foto's.

De grootte van perspectivische vertekeningen kan middels theoretische berekening worden voorspeld volgens

$$\text{gemeten hoek} = \arctan \left( \frac{\tan \text{hoek met horizontaal}}{\cos \text{draaiingshoek}} \right)$$

Deze fouten zijn afhankelijk van de stand van het vlak waarin men de hoeken wil meten ten opzichte van het cameravlak, en van de grootte van de te bepalen lichaamshoek. Voor het bepalen van hoeken van lichaamsdelen ten opzichte van een referentielijn, bijvoorbeeld de zwaartelij, zijn in figuur 3.1 de berekende fouten uitgezet tegen de draaiingshoek (dit is de hoek met het cameravlak), bij verschillende hoekgroottes.

### 3.1.3 Vraagstellingen van het pilotonderzoek

In dit onderzoek is gekeken naar de nauwkeurigheid van hoekmetingen van lichaamsdelen in het *sagittale* vlak (het vlak dat het lichaam in de anatomische stand verdeelt in een gelijke linker en rechter helft), omdat deze het meeste worden geanalyseerd door Arbo-deskundigen in de praktijk. Steeds wordt een verticale stand van het camera- en observatievlak verondersteld.

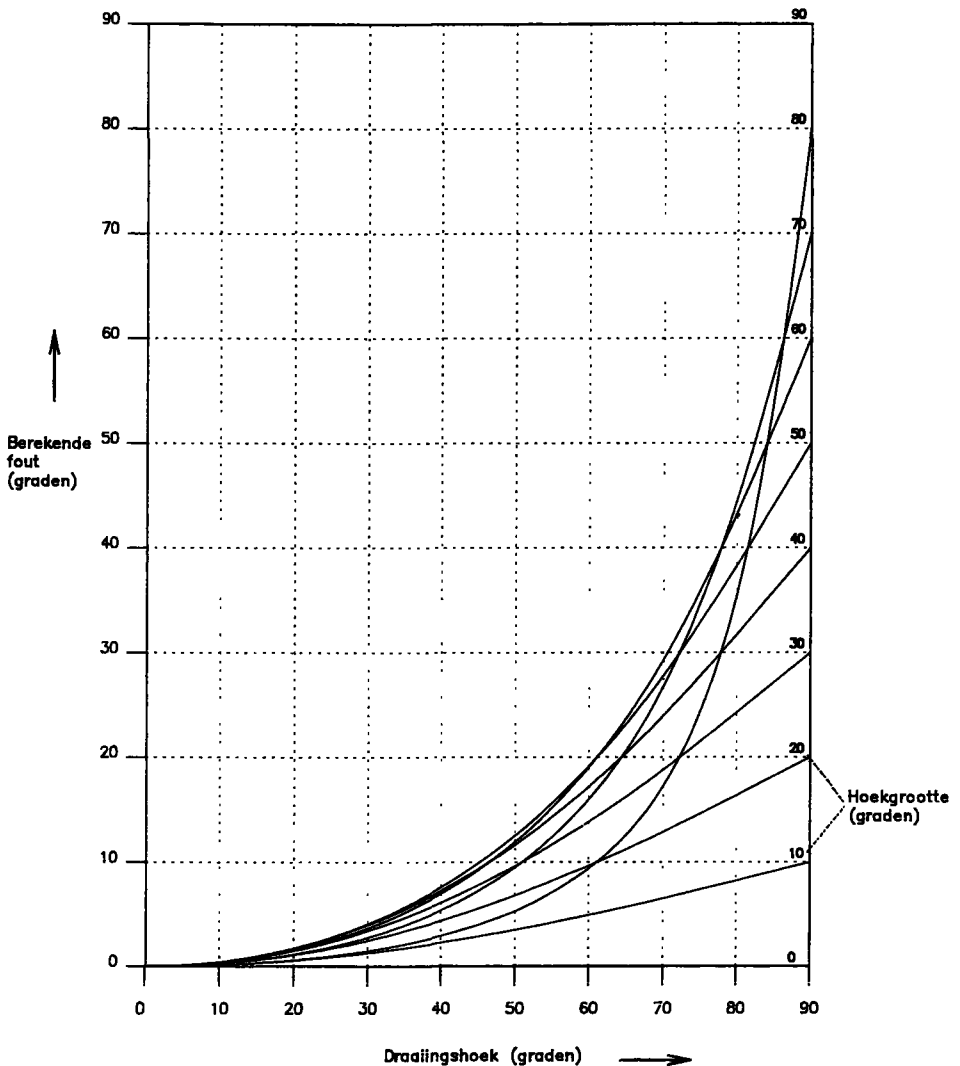
Hoewel de fouten bij fotografie berekend kunnen worden zijn naast de nauwkeurigheid van schattingen met beide observatiemethoden ook de fouten bij fotografie bepaald.

De vraagstellingen van het onderzoek kunnen als volgt geformuleerd worden:

- 1 Hoe groot moet de houdingsverandering (in het sagittale vlak) ten minste zijn om deze met directe of indirecte observatie of met fotografie te kunnen aantonen? Kunnen bijvoorbeeld veranderingen van een lichaamshoek van 5° (die van groot belang kunnen zijn voor de belasting) met deze methoden worden aangetoond? Met andere woorden, hoe groot is de fout bij meting van lichaamshoeken met de beide methoden, en wat is de invloed van de grootte van de te registreren hoek en van het lichaamsdeel waarvan de hoek gemeten wordt (hoofd t/m voet, zie tabel 3.1) op deze fouten?
- 2 Welke fout wordt gemaakt als het in de praktijk niet mogelijk is om het lichaam (of alle lichaamsdelen) precies vanaf de zijkant te observeren of fotograferen, en

welke consequenties heeft dat voor de minimale hoekverandering die met de twee methoden nog kan worden aangetoond? Met andere woorden, hoe hangt de fout af van de mate van draaiing van het lichaam ten opzichte van het cameravlak respectievelijk observatievlak?

- 3 Verschillen directe en indirecte observatie wat betreft de grootte van de fouten die worden gemaakt bij registratie van lichaamshoeken?
- 4 Welke aanbevelingen voor gebruik van de meetmethoden kunnen uit de resultaten worden afgeleid?



**Figuur 3.1**

De theoretisch berekende fouten door perspectivische vertekening bij hoekmeting vanaf foto's bij verschillende hoekgroottes (hoek met de zwaartelijn), uitgezet tegen de draaiingshoek ten opzichte van het cameravlak (x-as)

Overeenkomstig de genoemde vraagstellingen betreffende beide vormen van observatie en fotografie kunnen de volgende hypothesen of verwachtingen worden geformuleerd:

- 1 Als het sagittale vlak van het lichaam evenwijdig is aan het camera- of observatievlak is er:
  - een relatief grote (en ongeveer gelijke) fout bij beide vormen van observatie;
  - een relatief kleine fout bij fotografie.

De grootte van de te bepalen lichaamshoek zal naar verwachting geen invloed hebben op de meetfouten bij fotografie, maar wel bij observatie. De verwachting is dat fouten bij observatie kleiner zijn bij hoeken van ongeveer  $0^\circ$  of  $90^\circ$  en groter bij hoeken waarbij het lichaamsdeel verder af ligt van een referentielijn.

Het lichaamsdeel waarvan de hoek wordt gemeten zal waarschijnlijk wel invloed hebben op de fout bij observatie (bijvoorbeeld de hoek van de voet is gemakkelijker te schatten doordat deze meestal horizontaal is), en niet of weinig op de fout bij fotografie (behalve door verschil in inleesfouten als gevolg van de afstand tussen de meetpunten op de foto).
- 2 Bij toenemende draaiing (om de zwaartelijn) van het sagittale vlak van het lichaam ten opzichte van het camera- of observatievlak zullen:
  - de fouten bij directe en indirecte observatie wel enigszins toenemen, maar niet zo sterk als dit bij fotografie het geval zal zijn;
  - de fouten bij fotografie toenemen ongeveer volgens de berekeningen in figuur 3.1;
- 3 Indirecte observatie zal naar verwachting iets slechtere resultaten opleveren dan directe observatie door verlies van diepte-informatie.

### 3.1.4

#### Opbouw van dit hoofdstuk

In § 3.2 wordt de methode van pilotonderzoek beschreven. Daarin wordt de keuze van variabelen en de meetopstelling en gebruikte meetprocedure toegelicht. De resultaten worden gepresenteerd in § 3.3, en bediscussieerd in § 3.4. In § 3.5 staan de conclusies ten aanzien van de toepassingsmogelijkheden van de onderzochte meetmethoden voor het registreren van houdingen.

## 3.2

**Methode van het pilotonderzoek**

Om bovengenoemde vraagstellingen te beantwoorden werd een experiment uitgevoerd met de drie eenvoudige methoden: fotografie, directe en indirecte observatie. Bij een aantal verschillende houdingen en draaiingshoeken (om de verticale as) ten opzichte van het cameravlak (= observatievlak in dit onderzoek) werden met behulp van de drie methoden standen van lichaamsdelen (ten opzichte van elkaar of een referentielijn) bepaald. De meetresultaten werden vervolgens vergeleken met de resultaten van drie-dimensionale VICON-opnamen die gelijktijdig werden gemaakt en als referentiegegevens dienden. De meetfouten bij de drie eenvoudige methoden worden gegeven door verschillen tussen metingen de eenvoudige methoden en metingen met VICON anderzijds.

De houdingen werden opgelegd aan één proefpersoon, een stagiaire bij het NIPG-TNO. De observaties werden gedaan door één observator, een NIPG-onderzoeker met ervaring in het observeren van houdingen.

## 3.2.1

**Onafhankelijke variabelen**

De onafhankelijke variabelen in dit onderzoek zijn:

- 1 de registratiemethode;
- 2 de projectie van de hoek tussen lichaamsdeel en cameravlak op het grondvlak (hierna te noemen: draaiingshoek);
- 3 de "ware" (drie-dimensionale, met VICON gemeten) hoek die wordt gemeten (hierna te noemen: hoekgrootte);
- 4 het lichaamsdeel.

Deze variabelen worden hieronder toegelicht.

**ad 1 Registratiemethode**

Bij alle combinaties van houdingen (hoekgroottes) en draaiingshoeken werden gelijktijdig hoekmetingen van lichaamsdelen gedaan aan de hand van VICON-opnames, directe en indirecte observatie en fotografie. De resultaten van de VICON-opnames dienen als referentiegegevens, en werden niet op nauwkeurigheid beoordeeld.

**ad 2 Draaiingshoek**

De invloed van de mate van draaiing van het lichaam ten opzichte van het cameravlak op de nauwkeurigheid van de meetresultaten werd bij 5 verschillende draaiingshoeken bekeken. De draaiingshoeken zijn met gelijke stappen (van 18°) gespreid over de range 0°-72° draaiing van het cameravlak af gekozen, om een beeld te krijgen van de fouten over deze hele range. Grotere draaiingshoeken van het lichaam zijn achterwege gelaten omdat dan de markers te vaak niet zichtbaar zouden zijn op de foto's.

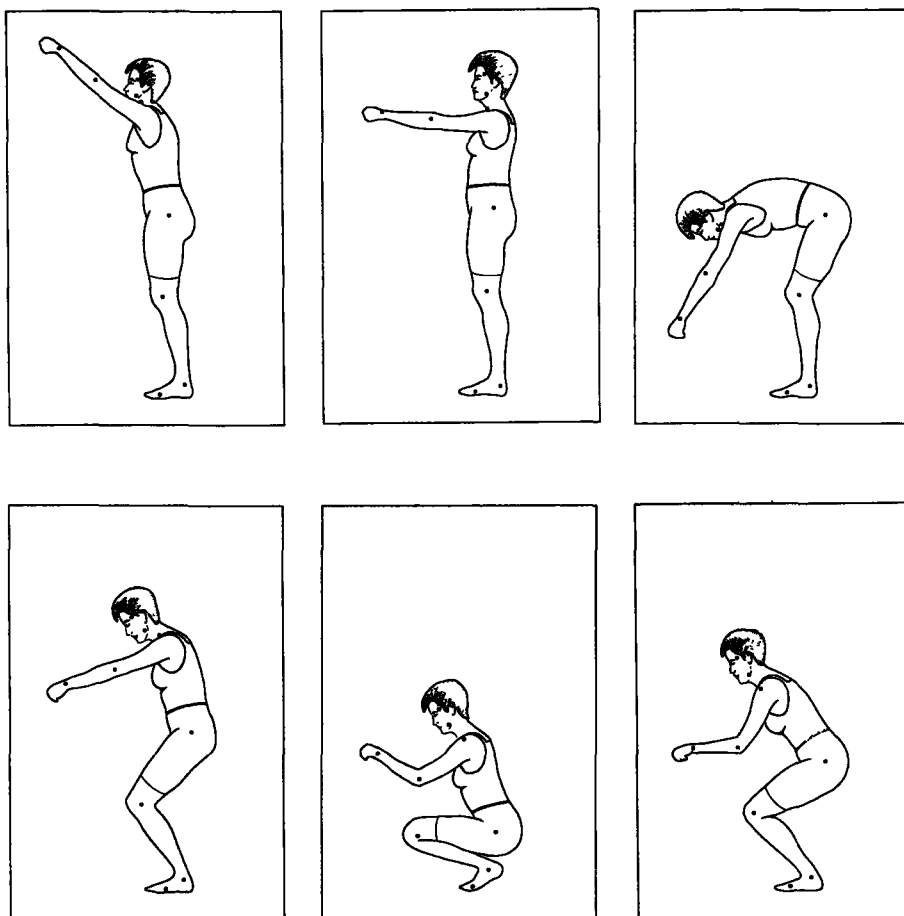
**ad 3 Hoekgrootte**

Zes verschillende houdingen werden opgelegd om een beeld te krijgen van de nauwkeurigheid van de drie methoden bij een aantal verschillende standen van lichaamsdelen, oftewel bij verschillende hoekgroottes. Deze standen of hoekgroottes van lichaamsdelen werden zoveel mogelijk verspreid gekozen over de hele bewegingsrange van een lichaamsdeel. Het sagittale vlak van de proefpersoon was steeds zoveel mogelijk verticaal, om de opgelegde draaiing niet teveel te beïnvloeden. De houdingen zijn getekend in figuur 3.2.

#### ad 4 Lichaamsdeel

In de praktijk zal men (afhankelijk van het klachtenpatroon in een specifieke arbeidssituatie) meestal geïnteresseerd zijn in de stand van de romp, het hoofd, de armen (boven- en onderarm), de benen (kniehoek) en voeten, bijvoorbeeld in verband met respectievelijk rugklachten, nekkklachten, schouderklachten, en het bestuderen van tiltechnieken. In dit onderzoek werd daarom gekozen voor registratie van hoeken van deze lichaamsdelen.

Alle combinaties van 6 houdingen, 5 draaiingshoeken en 7 lichaamsdelen (210 condities) zijn éénmaal (tegelijktijd) met VICON, fotografie en door observatie geregistreerd.



**Figuur 3.2**

De 6 verschillende houdingen die werden geanalyseerd in het onderzoek.

## 3.2.2

Afhankelijke variabelen

De afhankelijke variabelen in dit onderzoek zijn hoekmetingen van lichaamsdelen ten opzichte van elkaar of een referentielijn met behulp van directe observatie, indirecte observatie en fotografie, oftewel de (absolute) verschillen tussen deze metingen enerzijds en de resultaten van VICON-metingen anderzijds.

Bij observatie werden dezelfde hoeken geschat als bij fotografie, met het verschil dat in plaats van de bovenarmhoek de schouderhoek (hoek tussen romp en bovenarm) en in plaats van de onderarmhoek de ellebooghoek (hoek tussen bovenarm en onderarm) werd bepaald. Bij fotografie werden alle lichaamshoeken bepaald ten opzichte van een referentielijn (de zwaarteliijn).

Alle hoeken werden geschat aan de hand van op het lichaam aangebrachte markeerpunten. De plaatsing van de markers en de gemeten hoeken zijn weergegeven in tabel 3.1 en figuur 3.3.

De twee-dimensionale coördinaten van de markeerpunten op het lichaam werden vanaf de foto's gemeten met een digitizer, waarna computermatig de hoeken werden bepaald. Hiertoe werden de foto's afgedrukt op een formaat van 25 bij 20 cm, zodat de lengte van de proefpersoon op de foto ongeveer 17 cm was.

Tabel 3.1                      Plaatsing van de markeerpunten op het lichaam en de hoeken die werden bepaald.

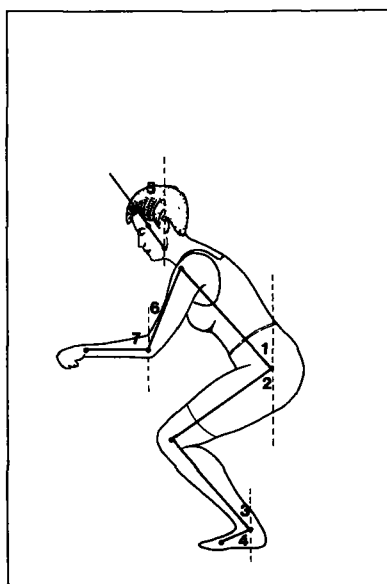
---

Op onderstaande plaatsen op het lichaam werden markers aangebracht.

- 1 De schouder (het acromion).
  - 2 De heup (de trochanter major).
  - 3 De knie (de epicondylus lateralis van het femur).
  - 4 De enkel (het bovenste spronggewricht).
  - 5 De voet (het distale middenvoetsbeentje 5).
  - 6 Het hoofd (iets boven de slaap).
  - 7 De kaak (bij anatomische hoofdstand verticaal onder de hoofdmarker).
  - 8 De elleboog (epicondylus lateralis van de humerus).
  - 9 De ulnaire zijde van het polsgewricht.
- 

De lichaamshoeken die werden gemeten zijn:  
(tussen haakjes staan de hoeken in termen van markers en referentielijnen).

- |                                                  |                       |
|--------------------------------------------------|-----------------------|
| 1 De romp en de zwaarteliijn                     | (1,2 - zwaarteliijn). |
| 2 Het bovenbeen en de zwaarteliijn               | (2,3 - zwaarteliijn). |
| 3 Het onderbeen en de zwaarteliijn               | (3,4 - zwaarteliijn). |
| 4 De voet en de zwaarteliijn                     | (4,5 - zwaarteliijn). |
| 5 Het hoofd en de zwaarteliijn                   | (1,2 - zwaarteliijn). |
| 6 De bovenarm en de zwaarteliijn: bij fotografie | (1,8 - zwaarteliijn). |
| 7 De onderarm en de zwaarteliijn: bij fotografie | (8,9 - zwaarteliijn). |
| 8 De romp en de bovenarm: bij observatie         | (1,2 - 1,8).          |
| 9 De bovenarm en de onderarm: bij observatie     | (1,8 - 8,9).          |
-



**Figuur 3.3**

De in het pilotonderzoek gemeten lichaamshoeken.

### 3.2.3

#### **Meetopstelling**

Een bovenaanzicht van de meetopstelling, die nu zal worden besproken, is gegeven in bijlage 1.

#### **Proefpersoon**

Aan de proefpersoon (een 24-jarige vrouw met normaal postuur) werd gevraagd om strakke kleding (een fietsbroek en hemd) te dragen. Deels op deze kleding, deels op de huid werden, met dubbelzijdig plakband, reflecterende VICON-markers aangebracht. Voor een goede zichtbaarheid op de foto's en videobeelden werd onder deze (grijze) markers zwart tape geplakt.

#### **Houdingsframe**

De houdingen werden opgelegd door aan een verticaal opgestelde paal op verschillende hoogten 2 handvatten aan te brengen, waarop de handen werden geplaatst. De voeten stonden op een aangegeven punt op het grondvlak. Door de hoogte van de handgrepen te variëren (5 niveaus) werden zes verschillende houdingen opgelegd. Bij houding 4 en 6 (zie figuur 3.2) werd steeds hetzelfde handvat gebruikt.

Door de plaats van de verticaal opgestelde palen met handgrepen te variëren werden (5) verschillende draaiingshoeken ten opzichte van het cameravlak gecreëerd.

Alle hoeken werden aan de linkerzijde van het lichaam gemeten.

#### VICON-apparatuur en video-camera's

De VICON-camera's werden zodanig opgesteld dat iedere marker bij alle houdingen door tenminste twee camera's kon worden geregistreerd. De video-camera's waren bevestigd op de VICON-camera's waardoor ze nagenoeg hetzelfde bereik hadden. De voor VICON- en video-opnames benodigde opname-apparatuur stond opgesteld in een aparte, aangrenzende ruimte, en werd bediend door de proefleider.

#### Fotocamera en observator

Om de onderzoeksvraag betreffende de invloed van draaiing van het lichaam ten opzichte van het camera- en observatievlak te kunnen beantwoorden, werd een vaste plaats gekozen voor de observator en fotocamera. Voor de fotocamera is een afstand van 5 meter gekozen om vertekening door hoogteverschil van de verschillende lichaamsdelen ten opzichte van de camera te kunnen verwaarlozen. De observator zat vlak achter de camera, en had een kijkrichting die gelijk was aan de optische as van de fotocamera. Fotovlak en observatievlak waren derhalve ook gelijk. De fotocamera werd van afstand bediend door de proefleider, die tevens de VICON-apparatuur bediende.

Zowel de directe, als de indirecte observaties werden ingesproken op een kleine cassette recorder, die door de observator zelf bediend werd.

### 3.2.4

#### Meetprocedure

Om te voorkomen dat de observator tijdens het experiment de houdingen in verschillende draaiingshoeken met elkaar in verband zou brengen, werden niet alle houdingen in één meet sessie aangeboden, maar steeds een deel ervan, in verschillende volgorde.

Het startsignaal voor iedere nieuwe houding werd gegeven door de observator. De proefleider, die de VICON-, video- en foto-apparatuur bediende, gaf aan wanneer de registratie gestart kon worden (dit gebeurde zodra de houding stabiel was). De foto werd steeds ongeveer 6 seconden na het aannemen van een nieuwe houding gemaakt. Zodra de observator klaar was gaf zij dit aan en werd de registratie beëindigd. Iedere houding duurde dus zo lang als de observator nodig had om alle hoekschattingen te doen (gemiddeld ongeveer 12 seconden). Tussen de houdingen zat steeds ongeveer 15 seconden rust.

Per meet sessie werden zes verschillende houdingen bij 5 verschillende draaiingshoeken aangenomen door de proefpersonen. In de eerste, derde en vijfde meet sessie werden de hoeken van romp, bovenbeen, onderbeen en voet geregistreerd, in de tweede, vierde en zesde meet sessie werden hoofd-, schouder-, en ellebooghoek geregistreerd. De reden van deze verdeling is dat de benodigde tijd voor observatie van alle hoeken achter elkaar langer is dan de volhoudtijd van sommige houdingen.

De observator kreeg de opdracht de hoeken zo nauwkeurig mogelijk te schatten en deze schattingen direct in te spreken op een cassettebandje. Bij iedere meet sessie was de volgorde van de lichaamshoeken, die moesten worden geschat, gelijk.

De observaties werden enkele maanden later herhaald door dezelfde observator, maar ditmaal vanaf de gemaakte foto's. Hierbij was de wijze van registratie en de volgorde van de houdingen zoals bovenbeschreven.

### 3.2.5 Verwerking van de resultaten

Omdat per conditie (combinatie van houding, draaiingshoek en lichaamsdeel) maar één meting werd gedaan, is gekozen voor een visuele analyse van de gegevens. Per conditie werden de (absolute) verschillen berekend tussen de resultaten van:

- VICON-opnames en directe observatie;
- VICON-opnames en indirecte observatie;
- VICON-opnames en fotografie.

Deze verschilwaarden (verder aangeduid met fouten) zijn grafisch gepresenteerd en met elkaar vergeleken. De *ware* (met VICON gemeten) draaiingshoeken van de verschillende lichaamsdelen ten opzichte van het cameravlak (in tegenstelling tot de *opgelegde* draaiingshoeken) werden berekend en gebruikt bij de presentatie van de gegevens van fotografie.

De minimale houdingsverschillen die kunnen worden aangetoond met fotografie hangen af van de fout die wordt gevonden. Omdat de gemeten hoek vanaf foto's ten opzichte van de zwaartelijns altijd kleiner zal zijn dan de ware hoek, bij draaiing van het lichaam ten opzichte van het cameravlak, zal de fout altijd positief zijn. Deze fout zal naar verwachting bij herhaling van de meting niet veel variëren (de inleesfout is klein), zodat de gevonden fout de minimaal aantoonbare houdingsverschillen weergeeft.

Bij observatie kunnen de gemeten hoeken zowel groter als kleiner zijn dan de ware hoek, en zijn de minimaal aantoonbare houdingsverschillen twee maal zo groot als de gevonden fout, als de meting niet wordt herhaald.

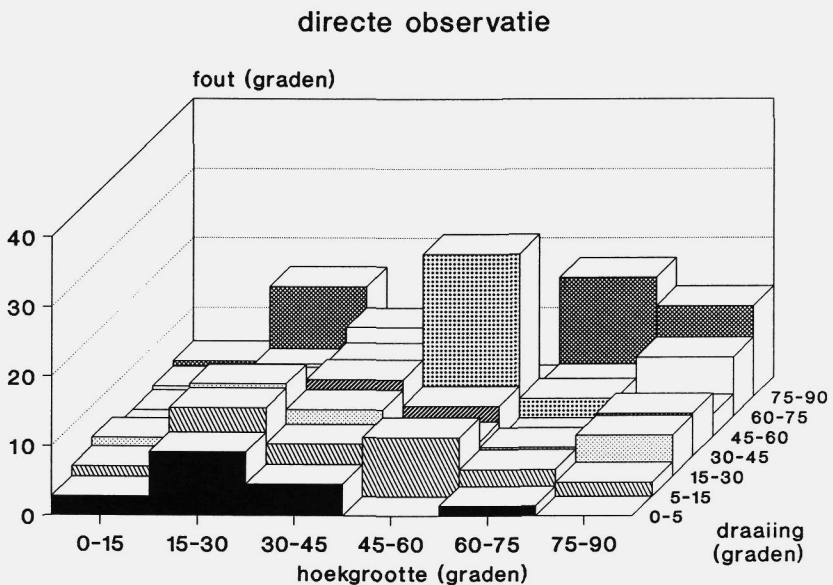
De spreiding van de resultaten bij alle drie de methoden wordt deels veroorzaakt door de verschillende condities waaronder houdingen worden gemeten tijdens het onderzoek. De spreiding in fouten bij fotografie wordt veroorzaakt door inleesfouten, en is klein (binnen 1 graad). Over de spreiding in fouten bij observaties in dit onderzoek is geen informatie, omdat de metingen niet zijn herhaald.

## 3.3

**Resultaten van het pilotonderzoek**

In deze paragraaf worden, per methode, de resultaten van het onderzoek besproken, aan de hand van de grafische presentaties van de gevonden fouten (absolute verschillen tussen resultaten van de drie eenvoudige methoden enerzijds en VICON-metingen anderzijds). Voor de draaiingshoek van het lichaam ten opzichte van het cameravlak wordt steeds de werkelijke (met VICON gemeten) draaiingshoek genomen. Een meer uitgebreide bespreking van deze resultaten vindt plaats in de volgende paragraaf (§ 3.4).

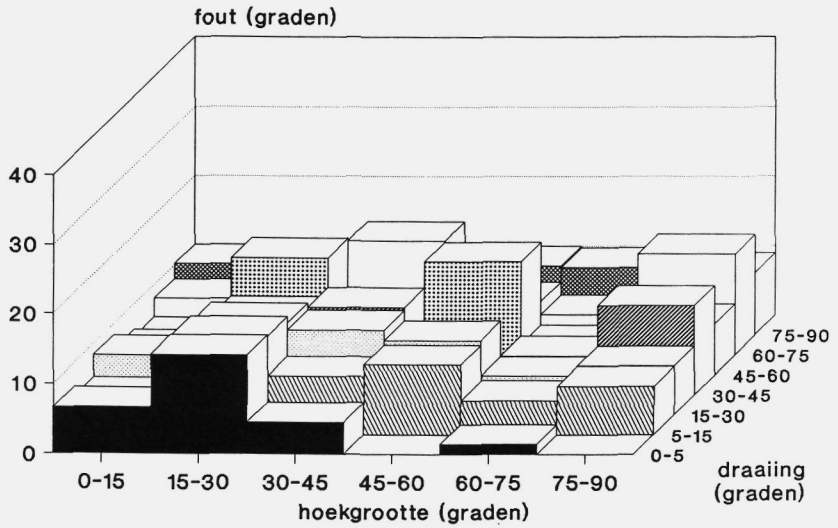
De fouten van metingen met de drie eenvoudige methoden zijn uitgezet tegen de draaiingshoek en de hoekgrootte in figuur 3.4 (voor directe observatie), figuur 3.5 (voor indirecte observatie) en figuur 3.6 (voor fotografie). Bij een draaiing van minder dan 5° ontbreken gegevens voor hoekgroottes in de gebieden van 45°-60° en 75°-90°. In figuur 3.7 zijn de meetfouten bij de drie eenvoudige methoden weergegeven per lichaamsdeel.



**Figuur 3.4**

De absolute meetfouten bij houdingsregistratie door directe observatie, bij verschillende draaiingshoek en hoekgrootte.

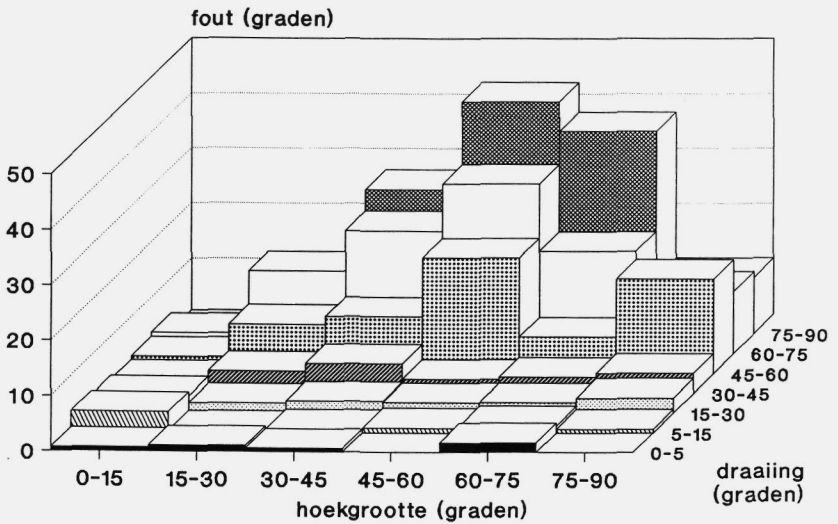
## indirecte observatie



Figuur 3.5

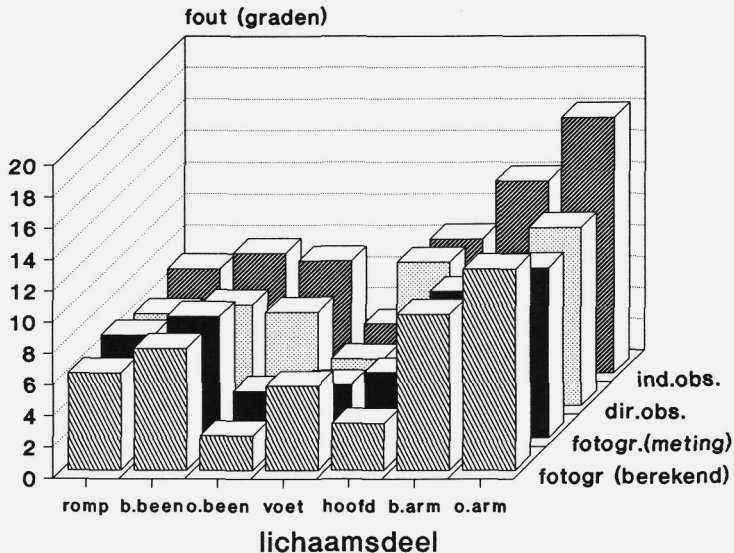
De absolute meetfouten bij houdingsregistratie door indirecte observatie, bij verschillende draaiingshoek en hoekgrootte.

## fotografie



Figuur 3.6

De absolute meetfouten bij houdingsregistratie door meting vanaf foto's, bij verschillende draaiingshoek en hoekgrootte.



**Figuur 3.7**

De absolute meetfouten bij houdingsregistratie door directe observatie, indirecte observatie en fotografie, en de theoretisch berekende fouten, bij verschillende lichaamsdelen.

### 3.3.1

#### Directe observatie

Zoals te zien in figuur 3.4 is de gemiddelde fout bij directe observatie bij een draaiingshoek van minder dan  $5^\circ$  gemiddeld  $3.2^\circ$ . Bij toenemende draaiingshoek neemt ook de fout toe (tot  $10.7^\circ$  bij een draaiingshoek van meer dan  $75^\circ$ ), zij het in veel minder sterke mate dan bij fotografie het geval is (hypothese 2). Bij een draaiingshoek groter dan  $45^\circ$  zijn de hoekschattingen bij directe observatie beter dan bij fotografie (gemiddelde fout bij directe observatie  $\geq 7.0^\circ$  en bij fotografie  $\geq 9.2^\circ$ ). In dezelfde figuur is te zien dat de fouten bij directe observatie het kleinst zijn bij kleine hoeken ( $0^\circ$ – $15^\circ$ ), iets groter als de hoeken groot zijn (groter dan  $90^\circ$ ) en het grootst bij de tussenliggende hoeken (hypothese 1). Groot zijn de verschillen echter niet.

Ook de invloed van het lichaamsdeel waarvan de hoek wordt gemeten op de fout bij directe observatie is klein (figuur 3.7). De voethoek geeft, zoals verwacht, gemiddeld iets kleinere fouten, de hoofthoek en de ellebooghoek iets grotere dan de andere lichaamsdelen.

### 3.3.2 Indirecte observatie

Bij een draaiingshoek die kleiner is dan  $5^\circ$  is de gemiddelde fout bij indirecte observatie  $5.2^\circ$  is ( $sd=4.2^\circ$ ), zo blijkt uit figuur 3.5.

Evenals bij directe observatie het geval is, neemt de fout enigszins (maar minder sterk dan bij fotografie) toe bij toenemende draaiingshoek (tot  $10.5^\circ$  bij meer dan  $60^\circ$ ). De fout bij indirecte observatie is over het algemeen iets groter dan die bij indirecte observatie.

Uit figuur 3.5 blijkt tevens dat de invloed van de hoekgrootte op de fouten bij indirecte observatie vergelijkbaar is met het effect dat bij directe observatie werd gevonden. De hoekschattingen leveren de grootste fouten als de hoekgrootte tussen de  $15^\circ$  en  $45^\circ$  ligt, en relatief kleine fouten als de hoekgrootte kleiner is dan  $15^\circ$  of tussen de  $60^\circ$  en  $75^\circ$  ligt (hypothese 1). Net als bij directe observatie zijn ook hier de waargenomen verschillen klein.

De verschillen tussen de schattingen van de afzonderlijke lichaamsdelen geven een zelfde beeld als bij directe observatie. De fouten bij schatting van de elleboog-, schouder- en hoofdhoek zijn relatief groot, en die van de voethoek klein (zie figuur 3.7). Daarnaast is ook de fout van schatting van de hoek van de bovenarm relatief groot.

### 3.3.3 Fotografie

In figuur 3.6 kan men zien dat de gemiddelde fout bij fotografie, als de draaiing minder dan  $5^\circ$  is, zeer klein is ( $1.1^\circ$ ), zoals werd verwacht (hypothese 1). Deze fout neemt exponentieel toe met de draaiingshoek, tot  $19.5^\circ$  bij een draaiingshoek van meer dan  $75^\circ$ . Bij vergelijking met de berekende meetfouten bij fotografie bij verschillende draaiingshoeken en hoekgrootten, blijkt dat de metingen goed overeenkomen met de berekeningen.

Verder blijkt dat de grootste gemiddelde fouten worden gevonden als de hoekgrootte tussen de  $45^\circ$  en  $60^\circ$  ligt, dat deze fouten iets kleiner zijn bij een hoekgrootte van  $30^\circ$ - $45^\circ$  en  $60^\circ$ - $90^\circ$ , en het kleinst bij een hoekgrootte die buiten de genoemde intervallen valt (zie hypothese 3).

Hierbij valt op dat de invloed van de hoekgrootte pas duidelijk wordt als de draaiingshoek groter is dan  $45^\circ$ .

Uit figuur 3.7 wordt duidelijk dat de meetfouten bij onderbeen, voet en hoofd kleiner zijn dan de meetfouten bij bovenbeen, bovenarm, en onderarm.

### 3.3.4 Vergelijking tussen de drie eenvoudige methoden

Het effect van de draaiingshoek op de fouten is groter bij fotografie dan bij directe en indirecte observatie. Dit lijkt ook voor de invloed van de hoekgrootte het geval te zijn.

Als de draaiingshoek van het lichaam ten opzichte van het cameravlak minder dan  $45^\circ$  is, is de gemiddelde fout bij fotografie kleiner dan die bij directe en indirecte observatie. Wordt de draaiingshoek groter, dan leiden beide observatiemethoden tot kleinere fouten dan fotografie.

Er is een klein verschil (gemiddeld  $1.9^\circ$ ) tussen de fouten van directe observatie en indirecte observatie, in het voordeel van de eerstgenoemde methode. Als men kijkt naar figuur 3.7, dan blijkt dit verschil vooral veroorzaakt te worden door de schattingen van schouder- en ellebooghoek.

### 3.4 Discussie van het pilotonderzoek

#### 3.4.1 Observatie

Bij de interpretatie van de in de vorige paragraaf gepresenteerde resultaten moet rekening worden gehouden met het feit dat de categorieën van hoekgrootte en draaiingshoek die zijn gebruikt willekeurig zijn gekozen, en dat niet alle categorieën evenveel data bevatten. Zo bevat de categorie met een hoekgrootte van 45°-60° en draaiing van 60°-75° slechts één waarneming, en wel een uitschieter. In bijlage 2 wordt het aantal waarnemingen gegeven per cel van de figuren 3.4 t/m 3.6.

De gevonden fouten bij directe en indirecte observatie komen redelijk goed met elkaar overeen, zij het dat indirecte observatie gemiddeld een (1.9°) grotere fout geeft dan directe observatie. Voor dit verschil tussen beide vormen van observatie zijn vooral de schattingen van de schouder- en ellebooghoeken verantwoordelijk. De oorzaak hiervan zou kunnen liggen in het feit dat de observator bij de indirecte observaties de schattingen meer heeft afgerond, met name bij de armen, omdat ze dacht bij de directe observaties een niet haalbare nauwkeurigheid te hebben nagestreefd. (Zonder de fouten van schattingen van schouder- en ellebooghoek is het verschil tussen de fouten bij beide observatiemethoden nog maar 0.6°.)

De fouten bij schatting van lichaamshoeken door observatie worden beïnvloed door de mate van draaiing van het lichaam ten opzichte van het observatievlak, maar in veel mindere mate dan bij fotografie. Als de draaiingshoek groter is dan 45° zijn de schattingen beter bij directe en indirecte observatie dan bij fotografie. Dit zou verklaard kunnen worden door de visuele informatie die de observator kan gebruiken om het beeld in gedachten "recht te draaien".

Ook de hoekgrootte en het lichaamsdeel waarvan de hoek wordt gemeten lijken enige invloed te hebben op de fouten bij observatie. Bij kleine hoekgroottes zijn de schattingen beter, en bij lichaamshoeken tussen de 15° en 45° slechter dan gemiddeld. De schattingen van de hoek van de voet zijn beter, en die van de onder- en bovenarm (alleen bij indirecte observatie) en het hoofd zijn slechter dan die van de andere lichaamsdelen.

Mogelijke verklaringen voor invloeden van hoekgrootte en lichaamsdeel op de fouten bij beide vormen van observatie zijn:

- Het werd door de observator als moeilijker ervaren om hoeken te schatten als de hoek van het lichaamsdeel met een referentielijn (de horizontaal of verticaal) groot is, dan als deze klein is;
- De observator vond het moeilijker om hoeken van lichaamsdelen ten opzichte van elkaar te schatten dan hoeken ten opzichte van een referentielijn. Deze verklaring veronderstelt echter ook een grotere fout bij schattingen van de schouderhoek, hetgeen wel bij indirecte, maar niet bij directe observatie wordt gevonden;
- De goede schattingen van de voethoek zijn eenvoudig te verklaren uit het feit dat deze horizontaal stond bij 5 van de 6 houdingen;
- Perspectivische vertekeningen kunnen invloed hebben gehad op de schattingen van lichaamshoeken door observatie, waardoor bij grote draaiingshoeken de schattingen van lichaamshoeken minder goed zijn dan bij kleine draaiingshoeken.

## 3.4.2

Fotografie

De resultaten bij fotografie komen goed overeen met de verwachtingen volgens de theoretisch berekende fouten bij draaiingshoeken kleiner dan  $60^\circ$ . De fouten zijn klein bij kleine draaiingshoek van het lichaam ten opzichte van het cameravlak, en nemen toe als deze draaiingshoek toeneemt. Verschillen tussen gemeten en berekende fouten kunnen verklaard worden door meetfouten bij het meten van de hoeken vanaf de foto's.

De *ware* draaiingshoeken (zoals gemeten met VICON) verschilden soms aanzienlijk van de *opgelegde* draaiingshoeken (respectievelijk  $0^\circ$ ,  $18^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $54^\circ$  en  $72^\circ$ ), vermoedelijk door de plaatsing van de markers, en de positie van de handen. In de praktijk zal men op een eenvoudige manier, bijvoorbeeld door observatie, willen nagaan of aan de voorwaarde voor gebruik van een fotocamera (in termen van de mate van draaiing van het lichaam ten opzichte van het cameravlak) voldaan wordt. Bij het stellen van de voorwaarden zal rekening gehouden moeten worden met de beperkte nauwkeurigheid waarmee deze controle kan worden uitgevoerd, hetgeen het gebruik van een fotocamera nog verder beperkt. In statische werksituaties zou eventueel een tweede fotocamera boven de proefpersoon kunnen worden bevestigd om de draaiingshoek vast te leggen. Omdat daarbij projecties van hoeken op het cameravlak moeten worden bepaald, en niet de ware hoeken, is de verwachting dat dit met fotografie vrij nauwkeurig kan worden gedaan.

Wat betreft een aantal factoren waren de omstandigheden tijdens het pilotonderzoek relatief gunstig ten opzichte van de meetomstandigheden in de praktijk:

- Voor de VICON-opnames was het in dit onderzoek noodzakelijk om markers op het lichaam aan te brengen. Deze werden ook bij fotografie en observatie gebruikt. In de praktijk worden echter niet vaak markers gebruikt, zeker niet bij observatie. Het effect van gebruik van markers op de nauwkeurigheid van de hoekschattingen bij observatie en fotografie is onbekend.
- Bij de gebruikte wijze van registratie (namelijk het inspreken van de schattingen op een bandje) werd de observator zo weinig mogelijk afgeleid door bijvoorbeeld het noteren van de schattingen of het zoeken van de juiste toetsen op een toetsenbord, zoals dat in de praktijk gebeurt.
- In het onderzoek werd de houding zo lang aangenomen door de proefpersoon, als de observator nodig had om alle gevraagde hoeken te schatten. In de praktijk zal de observator echter niet altijd voldoende tijd hebben om een goede schatting van hoeken te doen, door te snelle verandering van de houding.

De invloed van bovengenoemde factoren op de nauwkeurigheid van de registratie van houdingen is onbekend.

#### Het meten van houdingsverschillen

Voor het bepalen van de minimale houdingsverschillen die kunnen worden aangetoond met fotografie kunnen de theoretisch berekende verschillen, zoals weergegeven in figuur 3.1 worden gebruikt. Als het verwachte effect van een ergonomische verandering bijvoorbeeld een verandering in romphouding van  $10^\circ$  is, en de hoekgrootte ten opzichte van de zwaartelijns kleiner dan  $60^\circ$ , dan kan fotografie worden gebruikt mits de draaiing van de romp ten opzichte van het cameravlak kleiner is dan ongeveer  $45^\circ$ . Hierbij is rekening gehouden met kleine inleesfouten (in de orde van grootte van  $1^\circ$ ). Bij herhaling van de metingen kunnen fouten nauwelijks worden verkleind, omdat de bij fotografie gevonden fouten systematisch zijn.

In dit onderzoek zijn alle houdingen slechts één maal geobserveerd. De minimale houdingsverschillen die kunnen worden aangetoond met eenmalige observatie liggen in de orde van grootte van  $10^\circ$  bij kleine draaiing en  $20^\circ$  bij grotere draaiing van het lichaam ten opzichte van het observatievlak.

*Bij herhaling van de metingen kunnen naar verwachting ook kleinere houdingsverschillen worden aangetoond, doordat de spreiding van observaties, die ongeveer in dezelfde orde van grootte liggen als de gevonden fouten, dan zal afnemen.*

### 3.5

#### Conclusies van het pilotonderzoek

Directe observatie en indirecte observatie zijn alleen toepasbaar als de vereiste nauwkeurigheid van de hoekschattingen niet zo groot is. Bij een kleine draaiing van het lichaam ten opzichte van het "observatievlak" zijn de houdingsverschillen die minimaal kunnen worden aangetoond ongeveer  $10^\circ$ , en als de draaiing groter wordt ongeveer  $20^\circ$ , ervan uitgaande dat de observaties niet worden herhaald. Zowel bij directe als bij indirecte observatie lijkt zowel de grootte van de lichaamshoek, als het lichaamsdeel waarvan de hoek wordt geschat, een kleine invloed te hebben op de schattingsfouten. De nauwkeurigheid van de schattingen lijkt iets groter te zijn als de hoeken klein zijn (oftewel de lichaamsdelen ongeveer parallel lopen aan een denkbeeldige referentielijn). De schattingen van de voethoek in dit onderzoek waren beter, en die van de onderarm en het hoofd slechter dan gemiddeld.

Bij kleine draaiing van het lichaam ten opzichte van cameravlak (kleiner dan  $5^\circ$ ) kunnen, met metingen vanaf foto's, kleine houdingsverschillen (tot  $5^\circ$ ) worden aangetoond. Wordt deze draaiing groter, dan neemt het effect van perspectivische vertekeningen toe volgens de berekeningen die in figuur 3.1 staan afgebeeld.

De in het onderzoek gevonden fouten blijken (zoals verwacht), behalve van de draaiingshoek van het lichaam ten opzichte van het cameravlak, ook samen te hangen van de grootte van de te meten lichaamshoek. Dit effect wordt echter pas duidelijk als de draaiingshoek groter is dan  $45^\circ$ , zoals ook in figuur 3.1 te zien is.

Voor het bepalen van de minimale houdingsverschillen die kunnen worden aangetoond met fotografie, kunnen de theoretisch berekende fouten (figuur 3.1) worden gebruikt, waarbij rekening moet worden gehouden met een geringe extra fout bij het meetproces vanaf de foto.

## 4. ALGEMENE CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 4.1 Conclusies van het literatuuronderzoek

In het literatuuronderzoek werd gekeken naar de beschikbaarheid van methoden ter registratie van houding en beweging, en de bruikbaarheid van deze methoden voor deskundigen in arbeidssituaties, om een schatting te kunnen maken van de fysieke belasting van werknemers ten behoeve van de evaluatie van mogelijke verbeteringen. Daartoe werd een inventarisatie gemaakt van verschillende methoden die in de ergonomie, sport en/of medische wereld worden toegepast om houdingen en/of bewegingen te registreren.

De methoden zijn ingedeeld in:

- 1 observatie door een deskundige (direct op de werkplek of indirect vanaf foto-, film- of videobeelden). Van deze groep methoden worden de volgende besproken: Methode: Zuidema, OWAS, Corlett ("Posture Targetting"), Chaffin, dansnotatiesystemen, Rota, van Rooijen (BG-Bouw), Ergoloc, ARBAN, VIRA en Keyserling & Budnick;
- 2 handmatig opmeten vanaf foto-, film- of videobeelden. Fotografie, film, video-opnamen en cyclografie werden besproken;
- 3 handmatig of elektronisch meten, waarbij de apparatuur in direct contact staat met het lichaam, zoals handmatig bediende en elektronische lengtemeters, goniometers en inclinometers, vormmeting (met de flexicurve).

Een beoordeling van de verschillende methoden vond plaats aan de hand van een vooraf opgestelde lijst met criteria betreffende de wijze van registreren en verwerken van de gegevens, en de betrouwbaarheid en validiteit van de methoden. De bruikbaarheid van een methode voor genoemde toepassing hangt af van verschillende factoren, waaronder:

- I betrouwbaarheid en validiteit;
- II de aard van de werkzaamheden en het soort belasting (bijvoorbeeld statisch/dynamisch);
- III het doel van het onderzoek (de vorm van de resultaten);
- IV de praktische mogelijkheden wat betreft toepassing in de werksituatie (zoals eenvoud van en benodigde tijd voor het uitvoeren van de metingen en verwerking van de gegevens).

Nagegaan werd onder welke condities de verschillende methoden bruikbaar kunnen zijn.

Directe observatiemethoden voldoen aan veel praktische criteria. Door de beperkte snelheid, waarmee geregistreerd kan worden, zijn observatiemethoden beter toepasbaar in statische dan in dynamische werksituaties. Enkele veelbelovende directe observatiemethoden lijken de methode Ergoloc en de ROTA-methode, die beide gebruik maken van een toetsenbord. Bij de Ergoloc-methode wordt een maat voor de belasting bepaald. Deze methode is echter nog in ontwikkeling. De (handmatige) OWAS-methode biedt het voordeel dat het een goedkope methode is, waar al veel ervaring mee is, en dat een beoordeling van de houdingen plaatsvindt, al is de wetenschappelijke waarde van deze beoordeling nog onduidelijk.

Met behulp van indirecte observatiemethoden (observatie via foto-, film- of videobeelden) zijn de observaties niet aan tijd gebonden, en kunnen eventueel herbeoordelingen plaats vinden. Het verzamelen van de data op deze wijze is echter een tijdrovend proces.

Bij zowel de directe als de indirecte observatiemethoden wordt de bewegingsrange van een gewricht meestal in relatief brede intervallen verdeeld, waarmee de hoekschattingen onnauwkeurig zijn. De inter- en intrabeoordelaarbetrouwbaarheid, voorzover deze zijn bestudeerd, lijken goed bij deze grove beschrijving. Observatiemethoden lijken met name geschikt voor het verzamelen van gegevens over de duur en frequentie van goed onderscheidbare houdingen. Voor alle observatiemethoden geldt echter dat de constructvaliditeit (i.e. of met de betreffende methode gemeten wordt wat men wil meten, dus in dit geval houdingen of standen van lichaamsdelen ten opzichte van een referentielijn) voorzover bekend nog nooit is bepaald, waardoor de wetenschappelijke waarde van deze houdingsregistratiemethoden nog moet worden aangetoond. (In hoofdstuk 3 is een onderzoek beschreven, waarin de constructvaliditeit van observatie van lichaamshoeken wordt bestudeerd.)

Methoden, waarmee houdingen nauwkeuriger kunnen worden geregistreerd dan door observatie, zijn de foto-, film- en video-opnametechnieken, waarbij hoeken worden opgemeten vanaf de beelden. Fotografie is met name geschikt voor het bestuderen van houdingen, terwijl met film- en video-apparatuur ook bewegingen kunnen worden vastgelegd. Als de metingen geheel handmatig geschieden is het hele proces erg arbeidsintensief. Het gebruik van digitizers komt de snelheid van de gegevensverzameling ten goede, maar verhoogt de aanschafkosten, en de complexiteit, vanwege het gebruik van extra apparatuur. In het onderzoek, dat wordt besproken in hoofdstuk 3, wordt naast de validiteit van (directe en indirecte) observatie ook de validiteit van fotografie voor het meten van lichaamshoeken bestudeerd.

Apparatuur, waarmee direct op delen van het lichaam wordt gemeten is ongeveer even nauwkeurig als de bovengenoemde beeldopname-apparatuur. Handmatige metingen op het lichaam zijn goedkoop, maar alleen toepasbaar in statische situaties. Ze hebben dan als voordeel boven fotografie dat de resultaten direct beschikbaar zijn. Betrouwbaarheid en validiteit van deze methoden zijn, voorzover bekend, redelijk (handmetingen) tot goed (elektrogoniometers). Het nadeel van deze methoden is dat per meetinstrument de stand van slechts één lichaamsdeel of gewricht wordt gemeten, en dat verschuiving van de huid en/of kleding van invloed kunnen zijn op de nauwkeurigheid. Bovendien zal het plaatsen van apparatuur op het lichaam in sommige gevallen een bezwaar zijn.

Uit het overzicht komt niet één (of meerdere) meetmethode naar voren, die algemeen toepasbaar is (zijn) voor de registratie van houding en beweging in de arbeidssituatie door Arbo-deskundigen. Per toepassing moet daarom door de deskundige worden bekeken welke methode het meest geschikt is. Hierbij kunnen tabellen 2.2 t/m 2.5 in dit rapport worden gebruikt.

Voor het aantonen van grote verschillen in (frequentie van) houdingen van het gehele lichaam als gevolg van een ergonomische interventie heeft een observatiemethode praktische voordelen en is betrouwbaar. Voor meer nauwkeurige informatie over mogelijke houdingsverschillen kan (mits de perspectivische vertekeningen klein zijn) beter vanaf foto's worden gemeten. Voor beide methoden geldt dat onvoldoende bekend is over de (construct)validiteit voor het meten van lichaamshoeken. Omdat veel onderzoek in arbeidssituaties zich richt op de bestudering van houdingen, en minder op (snelheid en versnelling van) beweging, zullen methoden als (indirecte) observatie en meten vanaf foto's vaak voldoen.

Voor het bestuderen van beweging kunnen metingen vanaf video- of filmbeelden worden gedaan, met als nadeel de hogere kosten, arbeidsintensieve metingen en het

gevaar van perspectivische vertekeningen. Met elektronische metingen direct op het lichaam kan ook informatie verkregen worden over bewegingen, maar deze methoden hebben behalve de hoge aanschafkosten het nadeel dat de vereiste deskundigheid voor het bedienen van de apparatuur en verwerking van de gegevens groot is, en dat het dragen van apparatuur op het lichaam soms een bezwaar is.

Veel methoden die op praktische gronden geschikt lijken voor gebruik door Arbo-deskundigen, zijn nooit gevalideerd. Ook ontbreekt het nogal eens aan gegevens over de betrouwbaarheid van registratiemethoden.

Uit de in de eerste fase van dit onderzoek uitgevoerde literatuurstudie, waarin methoden voor het registreren van houding en beweging door Arbo-deskundigen werden geïnventariseerd, zijn twee methoden gekozen voor nadere bestudering. Deze methoden zijn observatie (direct op de werkplek en indirect vanaf foto's) en meten vanaf foto's. In een pilotonderzoek werd de validiteit van deze van deze methoden voor het bepalen van hoeken van lichaamsdelen ten opzichte van elkaar of een referentielijn onderzocht, zodat meer duidelijkheid ontstaat over de toepassingsmogelijkheden van de methoden om houdingsverschillen aan te tonen.

## 4.2

### Conclusies van het pilotonderzoek

In het pilotonderzoek werden de resultaten van houdingsanalyse met één observator resp. één fotocamera vergeleken met die van (3-dimensionale) VICON-metingen, die als referentiewaarden dienden. Omdat in de praktijk het lichaam van de werknemer nooit precies in het camera- of observatievlak ligt werd de invloed van de draaiingshoek op de meetfouten onderzocht. Ook werd gekeken naar de invloed op de meetfouten van de grootte van de lichaamshoek en van het lichaamsdeel, waarvan de houding werd bepaald. Bij 6 verschillende houdingen (met variërende hoekgrootte) en 5 verschillende draaiingen (0°, 18°, 36°, 54° en 72°) van de proefpersoon uit het cameravlak respectievelijk het observatievlak werden de hoeken van 7 lichaamsdelen ten opzichte van de zwaartelijn bepaald, namelijk romp, bovenbeen, onderbeen, voet, hoofd, bovenarm en onderarm.

#### Directe observatie

Het absolute verschil tussen de observaties en de VICON-resultaten bij houdingsanalyse door één getrainde observator is gemiddeld iets groter dan 3° bij een draaiing van minder dan 5°, en neemt toe met de draaiingshoek, tot ongeveer 10° bij een draaiing van meer dan 75°. Zowel de hoekgrootte als het lichaamsdeel waarvan de hoek werd gemeten leek enige invloed te hebben op de gevonden verschillen. Houdingen waarbij de lichaamsdelen een kleine hoek met de verticaal maakten, leverden iets kleinere fouten op dan grotere hoeken. Schattingen van de hoofdhoek en ellebooghoek waren iets slechter, en die van de voethoek iets beter dan gemiddeld.

Minimale houdingsverschillen die door directe observatie zouden kunnen worden aangetoond zijn gemiddeld bij een draaiing van minder dan 5° ongeveer 10°, bij een draaiing van meer dan 75° ongeveer 20°, en hangen samen met de hoekgrootte en het lichaamsdeel waarvan de hoek wordt geschat. Bij schatting van de ellebooghoek zijn de fouten in dit onderzoek gemiddeld ongeveer 2° groter en bij schatting van de voethoek ongeveer 4° kleiner dan gemiddeld. Kleine hoekgroottes leveren iets kleinere fouten dan grotere hoekgroottes. Deze conclusies zijn gebaseerd op eenmalige observatie bij in dit onderzoek opgelegde hoekgroottes en gemeten lichaamsdelen. Bij herhaling van de observaties kunnen wellicht nauwkeuriger schattingen worden gedaan, omdat dan de spreiding van de schattingen afneemt.

### **Indirecte observatie**

Gemiddeld werden via indirecte observatie iets minder goede schattingen gedaan dan bij directe observatie (het verschil is ongeveer 2°). Bij minder dan 5° draaiing van het lichaam ten opzichte van het observatievlak bedroeg de absolute fout gemiddeld ongeveer 5°, toenemend tot 10° bij meer dan 60° draaiing. Het verschil tussen beide vormen van observatie is vooral terug te vinden in de schattingen van de schouder- en ellebooghoek. De invloed van draaiingshoek, hoekgrootte (houding) en lichaamsdeel is vergelijkbaar met die bij directe observatie, zij het dat bij deze laatste methode de verschillen tussen de resultaten bij verschillende lichaamsdelen iets groter zijn. De minimaal aantoonbare houdingsverschillen met indirecte observatie zijn ongeveer even groot als bij directe observatie, behalve bij de schouder- en ellebooghoek, waar deze gemiddeld ongeveer 10°-12° groter zijn.

### **Fotografie**

Bij een draaiingshoek van minder dan 5° (het sagittale vlak van de proefpersoon is vrijwel evenwijdig met het "cameravlak") werd een (absoluut) verschil tussen fotografie- en VICON-resultaten gevonden van gemiddeld ongeveer 1°. Bij toenemende draaiing neemt dit verschil exponentieel toe tot ongeveer 20° bij een draaiing van meer dan 75°.

De gevonden fouten bij verschillende draaiingshoeken, hoekgroottes en lichaamsdelen kwamen goed overeen met de verwachtingen, die waren gebaseerd op de theoretisch berekende fouten door perspectivische vertekeningen. Omdat de spreiding van de fouten bij herhaling van metingen vanaf foto's klein is (ongeveer 1°), kunnen de berekende fouten (zoals weergegeven in figuur 3.1 in § 3.1) een indicatie geven van de minimale houdingsverschillen die men met deze methode, bij bepaalde draaiing en hoekgrootte, kan aantonen. Bijvoorbeeld, als de draaiing minder dan 40°, en de hoek tussen de romp en de zwaartelijns minder dan 20° is, dan kunnen houdingsverschillen van 5° nog worden aangetoond.

## **4.3**

### **Aanbevelingen voor gebruik van de methoden door Arbo-deskundigen**

Voor het bestuderen van houdingen op de werkplek zijn (directe en indirecte) observatie en het meten vanaf foto's vanuit praktisch oogpunt de meest geschikte methoden. Voor het aantonen van kleine houdingsverschillen (tot 5°) is directe of indirecte observatie niet geschikt. Via metingen vanaf foto's kunnen dergelijke kleine houdingsverschillen wel worden aangetoond, mits de draaiing van het lichaam ten opzichte van het cameravlak kleiner is dan ongeveer 30°. Bij een kleine hoek ten opzichte van de zwaartelijns (bijvoorbeeld de rompbuiging bij zittend werk), kunnen bij grotere draaiingshoek toch nog kleine houdingsverschillen worden aangetoond (zie figuur 3.1).

In werksituaties, waarbij de beweging van de te bestuderen lichaamsdelen niet te snel en goed te voorspellen is, kan met een al dan niet vaste camerapositie vaak wel aan eisen van beperkte draaiing van het lichaam vaak wel worden voldaan. Als hierover onzekerheden bestaan of in meer onvoorspelbare, dynamische situaties, bijvoorbeeld bij het bestuderen van armstanden bij manueel werk kan beter gebruik worden gemaakt van meerdere camera's of andere meetmethoden, bijvoorbeeld een elektro-inclinometer.

**Aanbevelingen voor vervolgonderzoek**

Ten aanzien van de observatiemethode zijn er nog vragen met betrekking tot de betrouwbaarheid en validiteit van de methode. In dit onderzoek hebben we ons beperkt tot de nauwkeurigheidsvraag, en deze onderzocht met één observator, en zonder herhalingen, vanwege de hoeveelheid beschikbare tijd. Nu er een globale indruk is van de fouten die men bij directe en indirecte observatie kan verwachten, is het aan te bevelen de betrouwbaarheid van observaties nader te bestuderen. Om verdere aanbevelingen te kunnen doen over de wijze van observeren, wat betreft de gebruikte registratiemethode en het al dan niet gebruik maken van markeerpunten op het lichaam, zou verder onderzoek zich tevens moeten richten op het effect hiervan op de nauwkeurigheid van observaties.

Met betrekking tot fotografie is de kennis omtrent betrouwbaarheid en validiteit van de methode voldoende om een globaal inzicht te geven in de mogelijkheden en beperkingen voor gebruik door Arbo-deskundigen om het effect van ergonomische veranderingen te evalueren. Om aanbevelingen omtrent de toepassing van fotografie te concretiseren, zou een beter inzicht moeten worden verkregen in de mate waarin in de praktijk kan worden voldaan aan de eis van een beperkte draaiing van het lichaam ten opzichte van het cameravlak (bij een al dan niet vaste cameraopstelling), en de mogelijkheid om via observatie te beoordelen of aan deze eis wordt voldaan.

## LITERATUUR

**Adrian, M. (1973)**

Cinematographic, electromyographic and electrogoniometric technique for analysing human movements, In: Wilmore, J.H. (ed.) *Exercise and Sport Sciences Reviews* 1, Academic Press, New York, 339-363.

**An, K.M., Askew, L.J. & Chao, E.Y. (1986)**

Biomechanics and functional assessment of upper extremities, In: Karwowski, W. (ed.), *Ergonomics/Human factors III*, North-Holland, Amsterdam, 573-580.

**Anderson, J.A.D. & Sweetman, B.J. (1975)**

A combined flexi-rule/hydrogoniometer for measurement of lumbar spine and its sagittal movement, *Rheumatology and Rehabilitation* 14, 173-179.

**Aoki, M., Mita, K. & Yabe, K. (1979)**

Simple measurement of three-dimensional movements from motion picture film taken from one direction, *Jap.J.of Ergonomics* 15 (2) 73-78.

**Armstrong, T.J., Foulke J.A., Joseph B.S. et al (1982)**

Investigation of cumulative trauma disorders in a poultry processing plant, *Am.Ind.Hyg.Assoc.* 43 (2) 103-116.

**Armstrong, T.J., Chaffin, D.B. & Foulke, J.A. (1979)**

A Methodology for documenting hand positions and forces during manual work, *J.Biomechanics* 12, 131-133.

**Arnolds, C., Boerenkamp, H. Derikx, C. et al (1988)**

Een ergonomische analyse van de badkamers in het Rijtven te Deurne, *Onderzoeksverslag TU*, Eindhoven.

**Atha, J. (1984)**

Current techniques for measuring motion, *Appl. Ergonomics* 15 (4) 245-257.

**Baleshta, M.M. & Fraser, T.M. (1986)**

An arm movement notation system in investigation of cumulative trauma disorder, In: Karwowski, W. (ed.), *Trends in Ergonomics/Human Factors III*, North-Holland, Amsterdam, 613-621.

**Baty, D., Buckle, P.W. & Stubbs, D.A. (1986)**

Posture recording by direct observation, questionnaire assessment and instrumentation: a comparison based on a recent field study. In: Corlett, N., Wilson, J. & Manenica, I. (eds.), *The ergonomics of working postures*, Taylor & Francis, London, 283-292.

**Bejjani, F.J., Chang, W., Bejjani, M. et al (1986)**

Ergonomic video and questionnaire analysis of visual artist, In: Karwowski, W. (ed.), *Trends in ergonomics/Human factors III*, North-Holland, Amsterdam, 659-666.

**Bell R.D. & Hoshizaki, T.B. (1981)**

Relationships of age and sex with range of motion of seventeen joint actions in humans, *Canadian J.of Applied Sport Science* 6 (4) 202-206.

**Bendix, A., Jensen, C.V. & Bendix, T. (1987)**

Balans (= knee-support) chair and tiltable chair-posture, acceptibility and energy consumption, *Clinical Biomechanics*, geaccepteerd.

**Bendix, T & Hagberg, M. (1984)**

Trunk posture and load on the trapezius muscle whilst sitting at sloping desks, *Ergonomics* 27 (8) 873-882.

- Bendix, T., Krohn, L., Jessen, F. & Aaras, A. (1985)**  
Trunk posture and trapezius muscle load while working in standing, supported standing and sitting positions, *Spine* 10 (5) 433-439.
- Boone, D.C. & Azen S.P. (1979)**  
Normal range of motion of joints in male subjects, *J. Bone Joint Surg.* 61, 756-759.
- Boone, D.C., Azen S.P., Lin C.M. et al (1978)**  
Reliability of goniometric measurements, *J.Phys.Ther.* 58 (11) 1355-1360.
- Brinker, B. ten (1988)**  
Collegedictaat Inleiding Bewegingsanalyse, Faculteit der Bewegingswetenschappen, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Buchmann, R. & Kuhnhardt, J. (1981)**  
Goniometry of joints with a limited change of position of the arms of rotation, In: Morecki, A. et al (eds.), *Biomechanics VII-B*, University Park Press, Baltimore, 618-623.
- Bulthuis, B.M., Meijer, M.J.T. & Binkhorst, R.A. (1988)**  
Methoden ter bepaling van de energetische belasting, literatuuronderzoek in opdracht van de stichting Arbow, Amsterdam.
- Burdett, R.G., Brown, K.E. & Fall, M.P. (1986)**  
Reliability and validity of four instruments for measuring lumbar spine and pelvic positions, *Physical Therapy* 66 (5) 677-684.
- Burton, A.K. (1986)**  
Measurement of regional lumbar sagittal mobility and posture by means of a flexible curve. In: Corlett, N., Wilson, J. & Manenica, I. (eds.), *The ergonomics of working postures*, London, Taylor & Francis, 92-99.
- Chaffin, D.B., Herrin G.D., Keyserling W.M. & Garg A. (1977)**  
A method for evaluating the biomechanical stresses resulting from manual materials handling jobs, *Am.Ind.Hyg.Assoc.J.* 38, 662-675.
- Chang, W.S., Bejjani, F.J., Chyan, D. & Bellegarde, M. (1987)**  
Occupational musculoskeletal disorders of visual artists. A questionnaire and video analysis, *Ergonomics* 30 (1) 33-46.
- Chao, E.Y., An, K.W., Askew L.J. et al (1980)**  
Electrogoniometer for the measurement of human elbow joint rotation, *J. Biomechanical Engineering* 102, 301-310.
- Chao, E.Y. (1980)**  
Justification of triaxial goniometer for the measurement of joint rotation, *J. Biomechanics* 13, 989-1006.
- Clark, A.G., Browne, K., Madeley, R. & Ridd, J.E. (1987)**  
Portable microcomputer based technique for posture or activity recording in the field, In: Buckle, P. (ed.), *Musculoskeletal disorders at work*, London, Taylor & Francis, 43-49.
- Colombini, D., Occhipinti, E., Molteni, G. et al (1985)**  
Posture analysis, *Ergonomics* 28 (1) 275-284.
- Corlett, E.M., Madeley, S.J. & Manenica, I. (1979)**  
Posture targeting; a technique for recording working postures, *Ergonomics* 22, 357-366.
- Corlett, E.M. & Manenica I. (1980)**  
The effects and measurement of working postures, *Appl. Ergonomics* 11 (1) 7-16.

**Czabanski, B. & Antoniak, K. (1981)**

Photogrammetry applied to the spatial characteristics of an arm movement in swimming, In: Morecki, A., Fidelus, K., Kedzior, K. & Wit, A. (eds.) *Biomechanics VII-B*, University Park Press, Baltimore, 436-441.

**Delleman, M.J. & Dul, J. (1988)**

Verbetering werkhouding naaisters in de meubelindustrie. Onderzoek uitgevoerd in opdracht van het D.G. Arbeid, Min. SoZaWe, door het NIPG-TNO, Leiden.

**Dieën, J. van (1988)**

Ergoloc: Een methode ter beoordeling van de belasting van het bewegingsapparaat in arbeidssituaties, vertrouwelijke notitie van het IMAG.

**Dijkstra, A., van der Grinten, M.P., Schlatmann, M.J.Th. & de Winter, C.R. (1982)**

Functioneren in de arbeidssituatie; uitgangspunten, ontwerp en handleiding voor onderzoek onder werknemers naar gezondheid, werk en werkomstandigheden, NIPG-TNO, Leiden.

**Docter, M.J., Zuidema, W. & Noutman, I.L.D. (1985)**

Inleiding in de ergonomie, Kollegediktaat 1985/1986 bij de cursus ergonomie, Werkgroep Inspanningsfysiologie en Gezondheidskunde, UVA/VU, Amsterdam.

**Droet, M.R. & Delleman, M.J. (1989)**

Preventie van beroepsgebonden rugproblematiek. Analyse van biomechanisch onderzoek van de rug ten behoeve van preventie van rugklachten. D.G. Arbeid, Min. SoZaWe, rapport S35-3.

**Dul, J., van der Grinten, M.P., Hildebrandt, V.W. (1987)**

Preventie van problematiek van het houdings- en bewegingsapparaat in arbeidssituaties, voorstel voor twee deelonderzoeken, NIPG-TNO, Leiden.

**Dul, J. & Hildebrandt, V.W. (1987)**

Preventie van beroepsgebonden rugproblematiek. Een inventarisatie van ergonomische richtlijnen. Voorburg, D.G. Arbeid, Min. SoZaWe, rapport 35.

**Dul, J., van der Grinten, M.P. & V.W. Hildebrandt (1988)**

Een ergonomisch onderzoek naar de werkhouding van naaisters in de meubelindustrie. T. Soc. Gezondheidsz. 66, 277-280.

**Eastman, M.C. & Kamon E. (1976)**

Posture and subjective evaluation at flat and slanted desks, *Human Factors* 18 (1) 15-26.

**Ekstrand, J., Wiktorsson M., Öberg B. & Gillquist J. (1982)**

Lower extremity goniometric measurements; a study to determine their reliability, *Arch.Phys.Med.-Rehabil.* 63, 171-175.

**Fine, L., Silverstein, B., Armstrong, T. et al (1986)**

A pilot study of postural characteristics of jobs associated with an elevated risk of rotor cuff tendinitis, In: Corlett, M., Wilson, J. & Manenica, I. (eds.), *The ergonomics of working postures*, Taylor & Francis, Londen, 39-43.

**Fitzgerald, G.K., Wijnveen K.J., Rheault W. & Rothschildt B. (1983)**

Objective assessment with establishment of normal values for lumbar spinal range of motion, *Phys.Ther.* 63, 1776.

**Frost, M., S.Stuckey, L.A. Smalley & Dorman E.G. (1982)**

Reliability of measuring trunk motions in centimeters, *Phys.Ther.* 62 (101) 1431-1437.

**Gagnon, M., Akre, F., Chehade, A. et al (1987)**

Mechanical work and energy transfers while turning patients in bed, *Ergonomics* 30 (11) 1515-1530.

Garg, A., Sharma, D. & Chaffin, D.B. (1983)

Biomechanical stresses as related to motion trajectory of lifting, *Human Factors* 25 (5) 527-39.

Gheluwe, B. Van (1974)

A new three-dimensional filming technique involving simplified alignment and measurement procedures, In: Nelson, R.C. & Morehouse, C.A. (eds.) *Biomechanics IV*, the Macmillan Press, Londen, 476-481.

Gill, K., Krag, M.M., Johnson, G.B. et al (1988)

Repeatability of four clinical methods for assessment of lumbar spine motion, *Spine* 13 (1) 50-53.

Greuell, A., Schinkelshoek, D. & Wajon, M. (1984)

Arbeidsbelastingonderzoek op de centrale sterilisatie afdeling van de AZVU, Praktijkstage-verslag, IFLO, VU, Amsterdam.

Grew, N.D. & Harris, J.D. (1979)

Method of measuring human body shape and movement, the 'vector stereograph', *Eng.Med.* 115-118.

Grieve, D.W., Miller, D., Mitchelson, D. et al (1975)

Techniques for the analysis of human movement, *Lepus Books*, Surrey, Londen, 3-75.

Grinten, M.P. Van der (1986)

Onderzoek schepkeuze: onderzoek gericht op aanbevelingen voor de keuze van schepgereedschap voor het graven van sleuven en putten bij aanleg en onderhoud van drinkwaterleidingen, onderzoek in opdracht van Drinkwaterleiding Rotterdam, NIPG-TNO, Leiden.

Grinten, M.P. Van der (1990)

Preventie van beroepsgebonden problematiek van het bewegingsapparaat. Inventarisatie en beoordeling van in het veld bruikbare methoden voor het registreren van "elektrische spieractiviteit" (EMG) en van "ervaren belasting". D.G. Arbeid, Min. SoZaWe, Voorburg.

Haan, T. De & Brinker, B.P.L.M. Den (1988)

Direct linear transformation method for 3D movement registration using "subject tracking" cameras, in press.

Halewijn, I. (1988)

Opto-electronische bewegingsanalyse-systemen. Een inventarisatie van bestaande systemen en mogelijke toepassingen in de revalidatiepraktijk. Afstudeerverslag Bewegingswetenschappen, Rijks Universiteit Limburg.

Hart, F.D., Strickland, D. & Cliffe, P. (1974)

Measurement of spinal mobility, *Ann. Rheum. Dis.* 33, 136-139.

Heinsalmi, P. (1986)

Method to measure working posture loads at working sites (OWAS), In: Corlett, M., Wilson, J. & Manenica, I. (eds.), *The ergonomics of working postures*, Taylor & Francis, Londen, 100-104

Hildebrandt, V.W. (1988)

Preventie van beroepsgebonden rugproblematiek, perspectieven voor epidemiologisch onderzoek. D.G. Arbeid, Min. SoZaWe, Voorburg, rapport S35-2.

Holzhausen, K.P. (1980)

Analysis of human movements for workplace design, *Krauss Moraal*, 337-362.

Holzmann, P. (1982)

Arban - a new method for analysis of ergonomic comfort, *Appl. Ergonomics* 13 (2) 82-86.

Huntington, L.J., Kendall, J.P. & Tietjens, B.R. (1979)

A method for measuring from photographic records the movements of the knee joint during walking, *Engineering in Medicine* 8 (3) 143-148.

Johnson, S. & Ogilvie, G. (1972)

Work analysis, Butterworth, London, 66-78.

Jongert, T., Knops, W. & Zuijsen, J. (1985)

Het meten van de lichamelijke belasting tijdens tilarbeid; een praktijkgerichte benadering, Scriptie, IFLO, VU, Amsterdam.

Karhu, O., Kansil P. & Kuorinka I. (1977)

Correcting working postures in industry: a practical method for analysis, *Appl. Ergonomics* 8 (4) 199-201.

Karhu, O., Mäkinen R., Sorvali P. & Vepsäläinen P. (1981)

Observing working postures in industry; examples of OMAS application, *Appl. Ergonomics* 12 (1) 13-17.

Keijsers, W.M.F. (1985)

Methoden van observatie en analyse van werkhoudingen, literatuurstudie in het kader van de 15<sup>e</sup> cursus Arbeids- en Bedrijfsgezondheid aan de K.U. te Nijmegen.

Keijsers, W.M.F., Kach-van der Schaaf G.E. & Muller M.G. (1985)

Klachten van het bewegingsapparaat versus werkhoudingen, een onderzoek in het kader van de XV<sup>e</sup> cursus voor Arbeids- en Bedrijfsgezondheid, Instituut voor Sociale Gezondheid van de Katholieke Universiteit, Nijmegen.

Kemper, P.A. (1976)

The Benesh movement notation used to study sitting behaviour, *Appl. Ergonomics* 7 (3) 133-136.

Keyserling, W.M. & Budnick, W. (1987)

Non-invasive measurement of three dimensional joint angles: development and evaluation of a computer-aided system for measuring working postures, *Int. J. of Ind. Ergonomics* 1, 251-263.

Keyserling, W.M., Fine, L.J. & Punnett, L. (1987)

Computer-aided analysis of trunk and shoulder posture, In: Buckle, P. (ed.), *Musculoskeletal disorders at work*, Taylor & Francis, London, 31-36.

Kilbom, A., Persson, J. & Jonsson, B.G. (1986a)

Disorders of the cervicobrachial region among female workers in the electronics industry, *Int.J.of Ind. Ergonomics* 1, 37-47.

Kilbom, A., Persson, J. & Jonsson, B.G. (1986b)

Risk factors for work-related disorders of the neck and shoulder - with special emphasis on working postures and movements. In: Corlett, N., Wilson, J. & Manenica, I. (eds.), *The ergonomics of working postures*, Taylor & Francis, London, 44-53.

Kiser, D.M. & Rodgers, S.W. (contributing authors) (1986)

Ergonomic design for people at work, New York, 162-173.

Kuorinka, I. (1986)

Long-term monitoring of biomechanical variables, epidemiology, and work measurement, In: Karwowski, W. (ed.), *Trends in ergonomics/Human factors III*, Amsterdam, 701-708.

Lan Ming, T. (1987)

Houdingsbelasting van het vrouwelijke kantinepersoneel telecommunicatie district Rotterdam, Scriptie, NIPG-TMO, Leiden.

Langrana, M.A. (1981)

Spatial kinematic analysis of the upper extremity using a biplanar videotaping, *J. Biomed. Eng.* 103, 11-7.

Lepoutre, F.X., Roger, D. & Loslever, P. (1986)

Experimental analysis of a visuo-postural system in an office workstation, In: Corlett, N., Wilson, J. & Manenica, I. (eds.), *The ergonomics of working postures* 363-369, Taylor & Francis, London.

Loebl, W.Y. (1969)

Measurement of spinal posture and range of spinal movement, *Annals of Physical Medicine* 9 (3) 103-110.

Macrae, I.F. & Wright V. (1969)

Measurement of back movement, *Ann. Rheum.* 28, 584-589.

Maeda, K., Okazaki, F. Suenaga, T. et al (1980)

Low back pain related to bowing posture of greenhouse farmers, *J. Human Ergol.* 9, 117-123.

Magnusson, M. & Ortengren, R. (1987)

Investigation of optimal table height and surface angle in meatcutting, *Appl. Ergonomics*, 18 (2) 146-152.

Majeske, Ch. & Buchanan C. (1984)

Quantitative description of two sitting postures; with and without a lumbar support pillow, *J. Am. Phys. Ther.* 64 (10) 1531-1535.

Martin, P.E. & Nelson, R.C. (1986)

The effect of carried loads on the walking patterns of men and women, *Ergonomics* 29 (10) 1191-1202.

Martin, T.P. & Pongratz, W.B. (1974)

Validation of a mathematical model for correction of photographic perspective error, In: Nelson, R.C. & Morehouse, C.A. (eds.), *Biomechanics IV*, the Macmillan Press Ltd., London, 469-475.

Mayer, T.G., Tencer, A.F., Kristoferson, S. & Mooney, V. (1984)

Use of non-invasive techniques for quantification of spinal range-of-motion in normal subjects and chronic low-back dysfunction patients, *Spine* 9 (6) 588-595.

Mellin, G. (1986)

Measurement of thoracolumbar posture and mobility with a Myrin inclinometer, *Spine*. 11 (7) 758-763.

Mitchell, W.S., Miller J. & Sturrock R.D. (1975)

An evaluation of goniometry as an objective parameter for measuring joint motion, *Scot. Med. J.* 20, 57-59.

Moll, J.M.H., Lijenne, S.P. & Wright, V. (1972)

An objective clinical method to measure lateral spinal flexion, *Rheum. Phys. Med.* 11, 225-239.

Moukoko, P.A. (1974)

The rubber band goniometry, *Biotelemetry* 1, 12-20.

Noble, M.L. & Kelley, D.L. (1969)

Accuracy of tri-axial cinematographic analysis in determining parameters of curvilinear motion, *The Research Quarterly* 40 (3) 643-645.

- Nordin, M., Hultman, G., Philipsson, R. et al (1986)  
Dynamic measurements of trunk movements during work tasks, In: Corlett, N., Wilson, J. & Manenica, I. (eds.), *The ergonomics of working postures*, Taylor & Francis, London, 74-81.
- Odenrick, P., Eklund, J.A.E., Zettergren, S. & Ortengren, R. (1987)  
Evaluation of work postures II. measurement and analysis of work postures in the field, In: Buckle, P. (ed.), *Musculoskeletal disorders at work*, Taylor & Francis, London, 56-61.
- Otun, E.O. & Anderson, J.A. (1988)  
An inclinometric method for continuous measurement of sagittal movement of the lumbar spine, *Ergonomics* 31 (3) 303-315.
- Owen, M.G. & Adrian, M. (1974)  
Versatile uses of a computerized graphic tablet system, In: Nelson, R.C. & Morehouse, C.A. (eds.), *Biomechanics IV*, the Macmillan Press, London, 491-495.
- Palmer, A.K., Werner, F.W., Murphy, D. & Glisson, R. (1985)  
Functional wrist motion: a biomechanical study, *J. Hand Surg.* 10A (1) 39-46.
- Paul, J.P. (1978)  
Kinetic measurement systems and biomechanical data, *J. of Human Movement Studies* 4 (4) 179-190.
- Pavelka, V.K. (1970)  
Rotationsmessung der Wirbelsäule, *Z. Rheumaforschung* 29, 366-370.
- Pearcy, M. (1986)  
Measurement of back and spinal mobility, *Clin. Biomech.* 1, 44-51.
- Pest, M. & Fulford, R. (1976)  
An electrogoniometer for the measurement of single plane movements, *J. Biomech.* 9, 423-424.
- Portek, I., Pearcy, M.J., Reader, G.P. & Mowat, A.G. (1983)  
Correlation between radiographic and clinical measurement of lumbar spine movement, *Br. J. Rheumat.* 22, 197-205.
- Punnett, L. & Keyserling W.M. (1987)  
Exposure to ergonomic stressors in the garment industry: application and critique of job-site work analysis methods, *Ergonomics* 30 (7) 1099-1116.
- Putten, D.J. van, Beeren, J.A.M., Oei, K.H. et al (1987)  
Referentiegegevens over gezondheid en werk, verzameld met behulp van PBGO vragenlijst bij 1485 bouwvakkers in de periode april 1985 - mei 1986, NIPG-TNO, Leiden
- Reynolds, P.M.G. (1975)  
Measurement of spinal mobility: a comparison of three methods, *Rheumatol. and Rehabil.* 14, 180-185.
- Ridd, J.E. (1987)  
The viability of the Epson pX8 portable computer for use in on-site data capture, interne notitie, Robens Institute, University of Guilford, Surrey, England.
- Ridd, J.E. & Clark, A.G. (1987)  
The Robens Occupation and Task Analysis System (Rota), gepresenteerd op de "XI World Congress on the prevention of occupational accidents and diseases, Stockholm.
- Robertshaw, C., Kumar, S. & Guinney H.A. (1986)  
Electromyographic and cinematographic analysis of rising and lowering between sitting and standing, In: Karwowski, W. (ed.), *Trends in ergonomics/Human factors III*, North-Holland, Amsterdam, 739-749.

Rohmert, W. & Meirner, J. (1986)

Influence parameters and assessment methods for evaluating body postures, In: Corlett, E.N., Wilson, J. & Manenica, I. (eds.) *The Ergonomics of Working Postures*, Taylor & Francis, London, 183-217.

Rooijen, R. van (1982)

Houdingen en belastingen in de bouw, een analysemethode voor houdingen en belastingen van bouwberoepsgroepen, *T. Ergonomie* 7 (1) 7-13.

Roth, P.J., Unsworth A. & Maslock, I. (1981)

A discrete step goniometer for the human elbow, *Engineering in Medicine* 10 (2) 70-83.

Sakakibara, M., Miyao, M., Kondo, T. et al (1987)

Relation between overhead work and complaints of pear and apple orchard workers, *Ergonomics* 30 (5) 805-815.

Salisbury, P.M. & Porter, R.W. (1987)

Measurement of lumbar sagittal mobility, a comparison of methods, *Spine* 12 (2) 190-193.

Shaw, A.G. (1960)

The purpose and practice of motion study, Columbine Press Ltd., Buxton, England.

Shiavi, R., Limbird, T., Frazer, M. et al (1987)

Helical motion analysis of the knee. 1. Methodology for studying kinematics during locomotion, *J. Biomechanics* 20 (5) 459-469.

Silverstein, B., Fine, L.J., Armstrong, T.J. et al (1986a)

Cumulative trauma disorders of the hand and wrist in industry, In: Corlett, W., Wilson, J. & Manenica I. (ed.), *The ergonomics of working postures*, Taylor & Francis, London, 31-38.

Silverstein, B., Fine, L.J. & Armstrong, T.J. (1986b)

Hand wrist cumulative trauma disorders industry, *Br. J. Ind. Med.* 43, 779-784.

Smeets, J.W. (1981)

Het fotografisch lokaliseren van op het lichaam aangebrachte markers, rapport TU Delft.

Snijders, C.J. (1986)

Mechanische aspecten en analyse van houding en beweging in arbeidssituaties, Symposiumverslag KIVI Leiden.

Snijders, C.J. & Philippens, M.W.G.M. (1985)

Ontwikkeling van een nieuwe methode voor houdingsregistratie, *T. voor Sociale Gezondheidszorg* 63 (5) 193-197.

Snijders, C.J., van Riel, M.P.J.M. & Nordin, M. (1987)

Continuous measurements of spine movements in normal working situations over periods of 8 hours or more, *Ergonomics* 30 (4) 639-653.

Stalhammer, H.R., Leskinen T.P.J., Kuorinka I.A.A. et al (1986)

Postural, epidemiological and biomechanical analysis of luggage handling in an aircraft luggage compartment, *Appl. Ergonomics* 17 (3) 177-183.

Stokes, I.A.F., Bevins, T.M. & Lunn, R.A. (1987)

Back surface curvature and measurement of lumbar spinal motion, *Spine* 12 (4) 355-361.

Townsend, M.A., Izak, M. & Jackson, R.W. (1977)

Total knee motion goniometry, *J. Biomechanics* 10, 183-193.

**Tracy, M., Haslegrave, C.M. & Corlett, E.M. (1987)**

Automating the measurement and biomechanical analysis of posture, In: Wilson, J.R., Corlett, E.M. & Manenica, I. (ed.), *New methods in applied ergonomics*, Taylor & Francis, London, 267-272.

**Troup, J.G.D., Hood, C.A. & Chapman, A.E. (1968)**

Measurements of the sagittal mobility of the lumbar spine and hips, *Ann. Physical Med.* 9, 308-321.

**Veeger, H.E.J. (1983)**

Belasting van de rug bij laswerk, Onderzoeksverslag, IFLO, VU, Amsterdam.

**Voigt, P. (1978)**

En pilotstudie - Utveckling av en method for rutinmassiga ergonomiska arbetsanalyser (ARBAN), The Research Foundation for Occupational Safety and Health in the Construction Industry, Stockholm.

**Vorro, J.R. & Hobart, D.J. (1974)**

Cinematographic analysis of the intermittent modifications occurring during the acquisition of a novel throwing skill, in: Nelson, R.C. & Morehouse, C.A. (eds.), *Biomechanics IV*, proceedings of the fourth international seminar on biomechanics, University Press, Pennsylvania, 553-558.

**Wangenheim, M., Samuelson, B. & Wos, H. (1986)**

ARBAN, a force ergonomic analysis method. In: Corlett, E.M., Wilson, J. & Manenica, I. (eds.), *The ergonomics of working postures*, North-Holland, Amsterdam, 243-255.

**Weber, J., Star, A. van der & Snijders, C.J. (1986)**

Development and evaluation of a new instrument for the measurements of work postures; in particular the inclination of the head and the spinal column, In: Corlett, E.M., Wilson, J. & Manenica, I. (ed.), *The ergonomics of working postures*, North-Holland, Amsterdam, 82-91.

**Wick, J. (1986)**

A case study of postural change due to changes in a manual assembly work station in shoe manufacturing, In: Karwowski, W. (ed.), *Trends in ergonomics/Human factors III*, Amsterdam, 1117-1123.

**Wick, J. & Drury, C.G. (1986)**

Postural change due to adaptations of a sewing workstation, In: Corlett, E.M., Wilson, J. & Manenica, I. (eds.), *The ergonomics of working postures*, Taylor & Francis, 375-379.

**Woltring, H.J. (1985)**

Data-acquisitie: van middel naar doel, symposiumverslag KIVI, Leiden, 11-25.

**Youn, Y. & Yoon, Y.S. (1979)**

Analytical development in investigation of wrist kinematics, *J. Biomechan.* 12, 613-621.

**Zuidema, M. (1976)**

Rugbelasting door industriële arbeid, *T. Soc. Geneesk.* 54, 571-574, 578.

**Zuidema, M. (1979)**

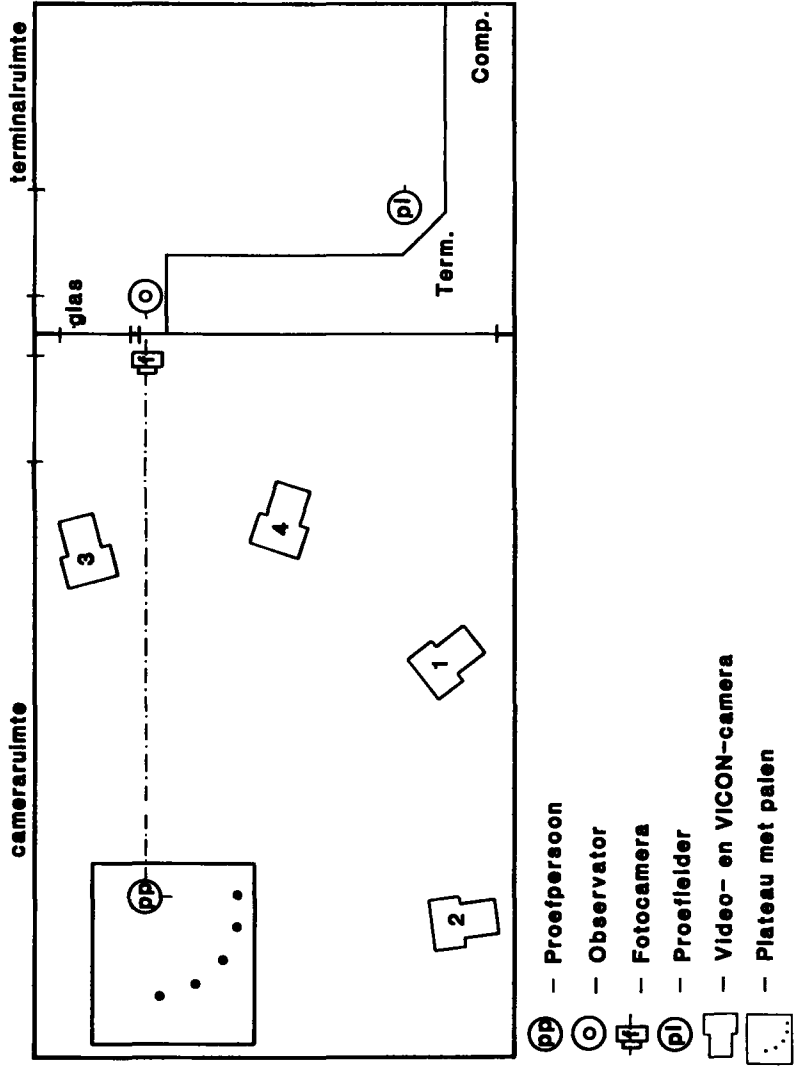
De belasting van de rug door het werk, *T. Soc. Geneesk.* 57, 718-723.

## Bijlage 1

Overzicht van de meetopstelling

Metingen 24/5/89

Opstelling Viconcamera's en videocamera's, fotocamera en observator



**Bijlage 2****Aantal metingen per draaiingshoek en hoekgrootte****Tabel 2.6**      Aantal waarnemingen c.q. metingen per categorie draaiingshoeken en hoekgrootten

| hoekgrootte<br>(graden)           | 0-15      | 15-30     | 30-45     | 45-60     | 60-75     | 75-90     | totaal     |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| <b>draaiingshoek<br/>(graden)</b> |           |           |           |           |           |           |            |
| 0-5                               | 5         | 1         | 2         | -         | 4         | -         | 12         |
| 5-15                              | 7         | 4         | 7         | 3         | 4         | 3         | 28         |
| 15-30                             | 15        | 5         | 6         | 3         | 10        | 5         | 44         |
| 30-45                             | 8         | 4         | 10        | 2         | 6         | 5         | 35         |
| 45-60                             | 6         | 3         | 8         | 1         | 7         | 5         | 30         |
| 60-75                             | 7         | 3         | 10        | 5         | 5         | 4         | 34         |
| 75-90                             | 3         | 1         | 3         | 1         | 2         | 5         | 15         |
| <b>totaal</b>                     | <b>51</b> | <b>21</b> | <b>46</b> | <b>15</b> | <b>38</b> | <b>27</b> | <b>198</b> |