

NR 2001:9

Arbetslivsinstitutets expertgrupp för ergonomisk
dokumentation – dokument 3

Handintensivt arbete

En belastningsergonomisk kunskapsöversikt gällande människans
kapacitet och interaktion med verktyg och arbetsuppgifter

Göran M Hägg

ARBETE OCH HÄLSA | VETENSKAPLIG SKRIFTSERIE

ISBN 91-7045-606-2 ISSN 0346-7821 <http://www.niwl.se/ah/>



Arbetslivsinstitutet är ett nationellt kunskapscentrum för arbetslivsfrågor. På uppdrag av Näringsdepartementet bedriver institutet forskning, utbildning och utveckling kring hela arbetslivet.

Arbetslivsinstitutets mål är att bidra till:

- Förnyelse och utveckling av arbetslivet
- Långsiktig kunskaps- och kompetensuppbyggnad
- Minskade risker för ohälsa och olycksfall

Forskning och utveckling sker inom tre huvudområden; arbetsmarknad, arbetsorganisation och arbetsmiljö. Forskningen är mångvetenskaplig och utgår från problem och utvecklingstendenser i arbetslivet. Verksamheten bedrivs i ett tjugotal program. En viktig del i verksamheten är kommunikation och kunskapsspridning.

Det är i mötet mellan teori och praktik, mellan forskare och praktiker, som det skapas nya tankar som leder till utveckling. En viktig uppgift för Arbetslivsinstitutet är att skapa förutsättningar för dessa möten. Institutet samarbetar med arbetsmarknadens parter, näringsliv, universitet och högskolor, internationella intressenter och andra aktörer.

Olika regioner i Sverige har sina unika förutsättningar för utveckling av arbetslivet. Arbetslivsinstitutet finns i Bergslagen, Göteborg, Malmö, Norrköping, Solna, Stockholm, Söderhamn, Umeå och Östersund.

För mer information eller kontakt, besök vår webbplats www.niwl.se

ARBETE OCH HÄLSA

Redaktör: Staffan Marklund
Redaktion: Mikael Bergenheim, Anders Kjellberg, Birgitta Meding, Gunnar Rosén och Ewa Wigaeus Tornqvist

© Arbetslivsinstitutet & författare 2001
Arbetslivsinstitutet,
112 79 Stockholm

ISBN 91-7045-606-2
ISSN 0346-7821
<http://www.niwl.se/ah/>
Tryckt hos CM Gruppen, Bromma

Förord

Expertgruppen för ergonomisk dokumentation vid Arbetslivsinstitutet bildades våren 1999 på initiativ av professor Åsa Kilbom med densamma som ordförande. En liknande grupp har tidigare varit verksam vid Arbetslivsinstitutet. Gruppen har som uppgift att göra sammanställningar av vetenskaplig kunskap inom olika områden som gruppen finner angelägna för spridning till olika målgrupper i samhället såsom Arbetsmiljöverket, företagshälsovård och arbetsmarknadens parter.

Docent Göran M Hägg fick våren 1999 uppdraget att göra en bred kunskaps-sammanställning inom området handintensivt arbete. Som speciella granskare inom expertgruppen utsågs professor Jörgen Eklund och med. dr. Gunnar Palmerud. Gruppen har vid sitt möte 2001-02-09 ställt sig bakom dokumentet och dess slutsatser. Detta är det första dokument som publiceras från den nuvarande gruppen. Tidigare har två dokument publicerats enligt nedan.

Gruppens sammansättning har under skrivperioden varierat något men nuvarande sammansättning är:

Docent Göran M Hägg, ordf.
Tekn. Dr. Ulf Bergqvist, vet. sekr.
Prof. Gunnar Aronsson
Dr. Margareta Barnekow-Bergkvist
Prof. Jörgen Eklund
Prof. Jan Forslin
Dr. Toni Ivergård

Prof. Håkan Johansson
Prof. Anders Kjellberg
Dr. Gunnar Palmerud
Docent Ewa Wigaeus-Tornqvist
Prof. Jørgen Winkel
Dr. Kristina Kemmlert (observatör
Arbetsmiljöverket)

Solna i maj 2001

Göran M Hägg
Docent, ordförande

Tidigare expertdokument inom ergonomiområdet från Arbetslivsinstitutet:

Punnett L & Bergqvist U (1997) *Visual display unit work and upper extremity musculoskeletal disorders. A review of epidemiological findings*. Arbete och Hälsa 1997:16, Arbetslivsinstitutet, Solna

Lagerström M, Hansson T & Hagberg M (1997) *Ländryggsbesvär i sjukvårdsarbete*. Arbete och Hälsa 1997:22, Arbetslivsinstitutet, Solna

Författarens förord

Följande kunskapssammanställning har skrivits på uppdrag av Expertgruppen för ergonomisk dokumentation vid Arbetslivsinstitutet. Det har inneburit en stor personlig tillfredsställelse att skriva detta dokument och därmed förhoppningsvis bidra till att sprida en avsevärd mängd kunskap om ett angeläget ämne i samlad form till en vidare krets av läsare. Författaren vill framföra sitt speciella tack till gruppens utsedda speciella granskare professor Jörgen Eklund och med. dr. Gunnar Palmerud för värdefulla synpunkter angående uppläggning och innehåll under arbetets gång. Manuskriptet har även granskats av professor Roland Kadefors vars synpunkter tacksamt mottagits. Vidare ett stort tack till tekn. dr. Gunnar Björing för god hjälp med insamling av litteraturunderlag, till herr Tomas Bergqvist för hjälp med uppläggning av referensbibliotek samt sist men inte minst till Arbetslivsinstitutets bibliotek för utmärkt service.

Solna i maj, 2001

Göran M Hägg
Docent

Innehållsförteckning

1. Inledning	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Målgrupp och avgränsningar för detta dokument	1
1.3 Litteraturbas	2
1.4 Definitioner	2
2. Basal anatomi och funktion hos de övre extremiteterna	4
2.1 Hand/arm	4
2.1.1 Fingermekanik	4
2.1.2 Nervsystemet i hand/arm	6
2.1.3 Grepp typer	8
2.1.4 Handledsmekanik	9
2.1.5 Armbåge/överarm	11
2.2 Axel/skuldra	11
2.2.1 Axelleden	11
2.2.2 Skulderbladet/kappmuskeln	12
2.3 Motorisk kontroll och inläring	12
2.3.1 Några grundläggande begrepp	13
2.3.2 Motorisk kontroll	13
2.3.3 Motorisk inläring	14
2.3.4 Gripfunktionen	14
2.3.5 Hänthet	15
2.4 Maximal kapacitet och antropometriska data	16
2.4.1 Krafter och moment	16
2.4.2 Antropometri	18
3. Exponering	19
3.1 Krafter och moment	19
3.1.1 Exponeringsbegrepp	19
3.1.2 Variabilitet och repetitivitet	20
3.1.3 Samverkande faktorer	20
3.2 Yttryck	21
3.3 Vibrationer och stötar	21
3.3.1 Frekvens och amplitud	21
3.3.2 Överföring till hand/arm	22
3.4 Värme, kyla	23
3.5 Vatten, olja och andra främmande substanser	23
3.6 Psykosocial exponering	23
4. Effekter på människan	24
4.1 Allmänt om påverkan på olika organ och funktioner	24

4.1.1 Hud	24
4.1.2 Muskler	25
4.1.3 Senor	26
4.1.4 Leder	26
4.1.5 Nerver	26
4.1.6 Cirkulation	27
4.2 Specifik påverkan på olika delar av de övre extremiteterna	27
4.2.1 Hand och fingrar	27
4.2.2 Handled	29
4.2.3 Underarm	29
4.2.4 Armbåge	30
4.2.5 Överarm	30
4.2.6 Axel/Skuldra	30
5. Riskfaktorer, gränsvärden och standarder	32
5.1 Riskfaktorer	32
5.1.1 Psykosociala faktorer	34
5.2 Gränsvärden	34
5.3 Standarder	35
6. Handhållna verktyg och maskiner	37
6.1 Allmänt om verktygsutformning	37
6.1.1 Storlek, form	38
6.1.2 Vikt	39
6.1.3 Kraftöverföring och friktion	39
6.1.4 Arbetsställning	40
6.1.5 Vibrationsöverföring	41
6.1.6 Yttryck	41
6.2 Muskeldrivna handverktyg	41
6.2.1 Skänkelverktyg	41
6.2.2 Slående verktyg	43
6.2.3 Skärande verktyg	44
6.2.4 Spadar, skyfflar och räfsor	45
6.2.5 Skruvmejslar	45
6.3 Handhållna maskiner	46
6.3.1 Handtag	46
6.3.2 Avtryckare	47
6.3.3 Roterande maskiner	48
6.3.4 Slående maskiner	50
6.3.5 Sprutpistoler	50
6.3.6 Kontrollspakar och knappar	51
6.4 Datorstyrdon	51
6.4.1 Tangentbord	51
6.4.2 Pekstyrdon	53

6.5 Handskar	54
6.6 Handtag för lyft	55
7. Problemyrken och dito arbetsuppgifter	56
7.1 Verkstadsindustri	56
7.2 Livsmedelsindustri	57
7.3 Snickeriarbete	58
7.4 Skogsarbete	58
7.5 Några andra exempel	59
8. Metoder för studier av handintensivt arbete och handverktyg	61
8.1 Specifika metoder	61
8.1.1 Tryck och kraft	61
8.1.2 Vinkelmätningar	61
8.1.3 Elektromyografi	62
8.1.4 Vibrationsmätningar	63
8.1.5 Klassificering av rörelser	63
8.2 Helhetsbedömning av exponering	63
8.2.1 Repetitivitet	63
8.2.2 Observationsmetoder	64
8.2.3 Egenbedömning	64
8.3 Bedömning av handverktyg	65
9. Avslutande reflexioner och slutsatser	67
10. Sammanfattning	69
11. Summary in English	70
12. Referenser	71

1. Inledning

1.1 Bakgrund

Handens funktion är central i all mänsklig verksamhet och har spelat en avgörande roll i människosläktets utveckling. Förutom att vara ett oerhört flexibelt gripverktyg har handen viktiga funktioner i kroppsspråket och som förmedlare av känslor vid beröring. Trots att en allt snabbare teknisk utveckling och mekanisering inneburit att kraven på människans fysiska färdigheter minskat i allt snabbare takt, är en god handfunktion fortfarande en förutsättning för att klara såväl det dagliga privat- som stora delar av yrkeslivet. I en undersökning av bilmontering visas t. ex. att handen är engagerad i någon typ av grepp i medeltal under 88 procent av arbetstiden (Fransson-Hall et al., 1996). Trots att röststyrning av datorer redan finns kommersiellt tillgänglig har denna teknik ännu inte slagit igenom och genombrottet lär dröja. Manuell datorstyrning via mus, tangentbord etc. lär förbli dominerande ännu under åtskilliga år. Många arbetsuppgifter inom t.ex. livsmedelsindustri, hantverk, handel och servicenäringar kommer sannolikt också att förbli manuella under överskådlig tid.

Redan i början av 1700-talet uppmärksammade Ramazzini problemet med ensidigt upprepat manuellt arbete hos ”skrivare och notarier” men även ”de som arbetar vid en träsvarv” (Ramazzini, 1713, svensk översättning 1991). I vår tid står belastningsskador i de övre extremiteterna sammantaget för en majoritet av totala antalet skador och utgör den största kategorin av totala antalet arbetsskador enligt officiell statistik från 1997 (ASS, 1999). Den allra största delen av belastningen på de övre extremiteterna är relaterad till aktiviteter där handen är involverad. Av totalt 7591 anmälda fall år 1997 av muskuloskeletal arbetssjukdom hade 2106 en diagnos i hand/arm. Till detta kommer 1670 fall från axel/skuldra där en stor del sannolikt är relaterade till handintensivt arbete. Yrkeskategorier med en stor andel handintensivt arbete såsom montörer, livsmedelsarbetare, handpakterare och godshanterare ligger bland de högsta enligt samma källa när det gäller belastningsskador. En annan kategori inom området handintensivt arbete som ökat på senare år är belastningsskador utlösta av datorarbete.

Handintensivt arbete innebär ofta att ett verktyg hålls i handen. Brister i utformningen av dessa verktyg är en källa till att besvär och skador uppkommer (Armstrong, 1983; Aghazadeh & Mital, 1987). En god verktygsutformning är också en förutsättning för en hög produktivitet och kan även påverka kvalitetsutfallet.

1.2 Målgrupp och avgränsningar för detta dokument

Målgruppen för detta dokument är primärt företagshälsovårdens personal samt tekniker och designers som är involverade i utvecklingen av nya verktyg, maskiner och arbetsmiljöer. Målet är att ge dessa kategorier en bred översikt av

kunskapsläget inom området handintensivt arbete inom yrkeslivet. När det gäller effekter på människan begränsas framställningen till arbetsskador och sjukdomar på/i de övre extremiteterna och skuldra/nacke. Det finns sannolikt även påverkan på andra delar kroppen, t. ex. ryggen, men dessa samband är oftast inte lika välbelagda och lämnas därhän. Olycksfallsaspekterna har också lämnats utanför detta dokument.

När det gäller verktyg har såväl muskeldrivna verktyg och handhållna maskiner behandlats.

Läsningen förutsätter i vissa avsnitt basala kunskaper i teknik, anatomi och fysiologi. I kapitel 2 ges en bakgrund i de två senare ämnesområdena för att t. ex. en tekniker skall kunna tillgodogöra sig följande avsnitt.

1.3 Litteraturbas

Kärnan i litteraturbasen utgörs av resultat från sökningar i NIOSHTIC (NIOSH:s databas) och Ergonomics Abstracts på sökorden "hand" och "tool" respektive "hand" och "verktyg" i ARBLINE (Arbetslivsbibliotekets databas). Ett flertal kompletterande mindre sökningar har gjorts i Arblin, Ergonomics Abstracts och MEDLINE på olika mera specifika sökbegrepp. Granskning av litteraturlistor ifrån dessa arbeten har genererat ytterligare intressant material. För något mer perifera ämnesområden såsom inlärning etc. har framställning baserats på välrenommerade läroböcker och litteraturöversikter. Avsnittet om riskfaktorer baseras huvudsakligen på tre nyligen gjorda stora vetenskapliga litteraturöversikter.

Grundprincipen vid värderingen av refererad litteratur har varit att den skall vara "peer reviewed". När det gäller enklare sakuppgifter har även uppgifter från andra källor accepterats. I undantagsfall har material från företagsbroschyrer etc. refererats. Svenska källor och litteraturöversikter har prioriterats där det har funnits ett val.

1.4 Definitioner

Nedan ges definitioner och förklaringar av några vanligt förekommande begrepp och förkortningar.

abduction	rörelse ut från kroppen
adduktion	rörelse in mot kroppen
afferent	information som förmedlas från periferin till centrala nervsystemet (CNS)
antropometri	läran om människors storlek och form
artros	ledförslitning
axon	nervtråd

biomekanik	läran om mekaniken hos biologiska vävnader och vätskor
carpus	handleden
CNS	centrala nervsystemet
CTD	cumulative trauma disorders
CTS	karpaltunnelsyndrom
deviation	handledsböjning åt lillfinger eller tumsidan
digitus	finger
distal	belägen långt från kroppens centrum
dorsal	belägen i riktning mot ryggen
efferent	information från CNS till neuromuskulära systemet
elektromyografi (EMG)	elektrisk aktivitet i musklerna vid kontraktion
epidemiologi	läran om sjukdomars utbredning och samband med yttre faktorer
epikondylit	inflammation i armbågens benknölar
exponering	samlingsbegrepp för olika typer av yttre påkänningar som människan utsätts för
extension	sträckning av en led
flexion	böjning av en led
friktionskraft	tangentiell kraft i kontaktytan mellan två föremål som motverkar inbördes rörelse
fysiologi	normal funktion hos biologiska organ och vävnader
glenohumeralleden	axelleden
goniometer	vinkelmätare
humerus	överarmsbenet
hypotenarområdet	handflatans yttre gräns på lillfingersidan
karpaltunnel	tunnel i handleden för nerver och senor
lateral	belägen långt från kroppens mittlinje
maskin	anordning med artificiell energikälla
medial	belägen nära kroppens mittlinje
MMH	manual materials handling
MSD	musculoskeletal disorders
muskeldriven	människan producerar själv behövlig energi
myalgi	muskelvärk
newton	standardenhet för kraft (1N = 9.81 kP)
patologisk	sjuklig
pronation	inåtrotation av handen
proprioception	kroppens positionssinne
prosupination	hand/underarmsrotation runt längsaxeln
proximal	belägen långt från kroppens centrum
radius	strålbenet i underarmen
repetitivitet	beskrivning av hur en belastning upprepas
RSI	repetitive strain injuries
scapula	skulderbladet
supination	utåtrotation av handen
tendinit	seninflammation
thenarmuskulaturen	tummens muskulatur vid tumbasen
ulna	armbågsbenet

2. Basal anatomi och funktion hos de övre extremiteterna

I detta kapitel ges endast en kort översikt av några utmärkande drag i anatomi och funktion som kan vara av vikt för den senare framställningen. För en mera komplett beskrivning av anatomi och biomekanik hänvisas t. ex. till Jonsson et al. (1977); Wirhed (1984).

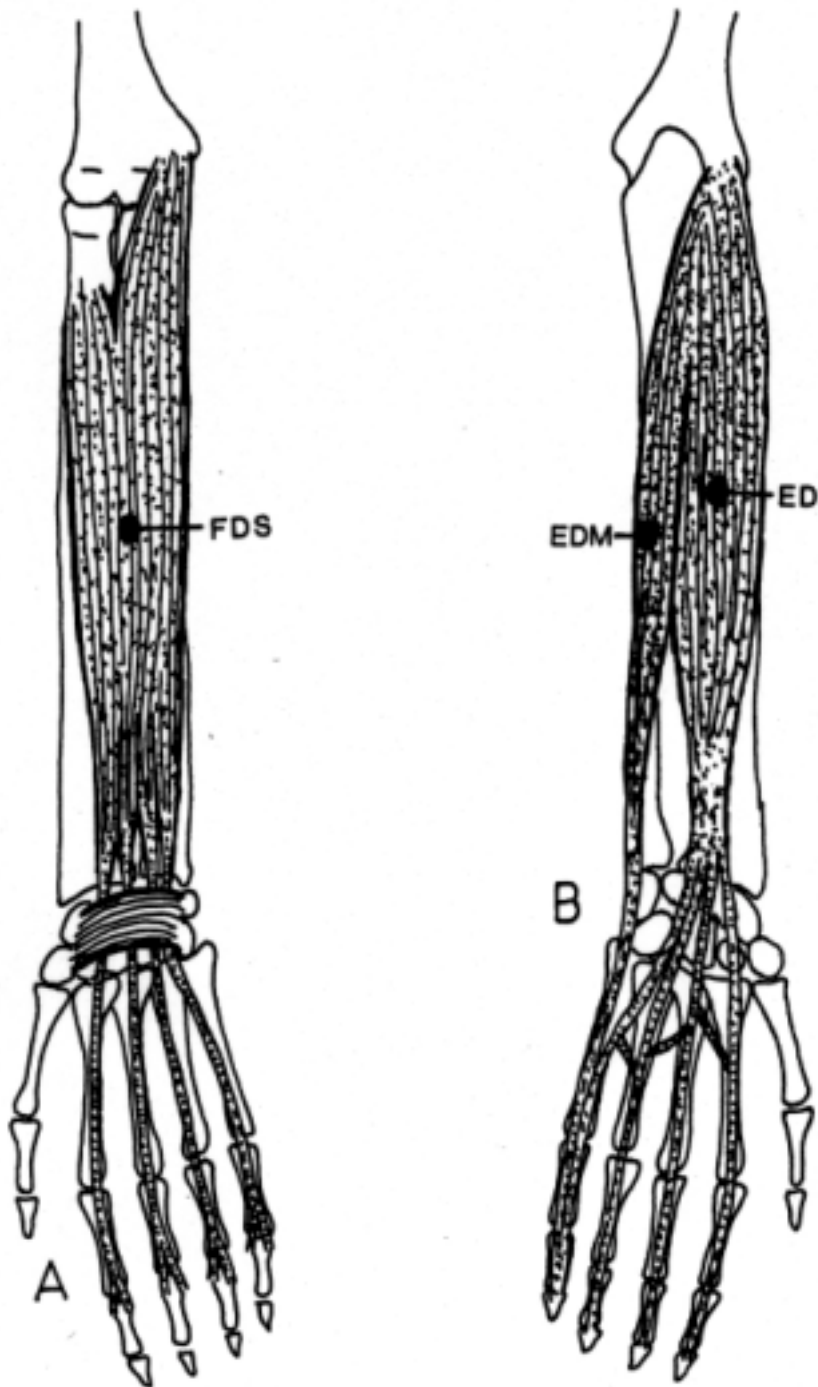
2.1 Hand/arm

Handen utgör ett mycket komplext och flexibelt gripverktyg med ett stort antal funktionella modaliteter allt ifrån utvecklade stora gripkrafter och/eller överföra stora krafter till omgivningen, till att utföra uppgifter med extremt stora krav på precision i tid, rum och kraft. Till detta kommer att handen är en av våra viktigaste förmedlare av känslor genom smekningar etc. och dessutom spelar en viktig roll i kroppsspråket för att tydliggöra vad vi vill förmedla i en muntlig framställning.

Handens funktionella komplexitet illustreras också av att den yta som handen projicerar på i den motoriska hjärnbarken är mycket större än vad dess storlek skulle motivera i relation till storleken på andra kroppsorgan (s. k. homunculus (Kandel, 1985)). Inte minst viktigt är att notera att samma förhållande gäller för den sensoriska hjärnbarken. Den rika information som handens känselorgan förmedlar till centrala nervsystemet (CNS) är i själva verket en förutsättning för den komplexa funktionen som uppnås i samspelet mellan motorik och sensorik. Utan möjlighet att identifiera form, ytstruktur, och läge på ett föremål som vi griper med handen är den motoriska förmågan av mycket begränsat värde.

2.1.1 Fingermekanik

Handens fingrar rörs med hjälp av två huvudgrupper av muskler, de externa och de interna. Den interna muskulaturen är lokaliserad till olika delar av handen och svarar för den finmotoriska positioneringen av fingrar och tumme. De externa musklerna är belägna i underarmen. För större kraftutveckling i ett grepp genereras fingrarnas böjarkraft i två olika muskelsystem på underarmens insida, ett ytligt (flexor digitorum superficialis, se figur 1) och ett djupt liggande (flexor digitorum profundus). Båda musklerna har fyra bukar var med var sin sena. Dessa senor löper genom den s. k. karpaltunneln centralt i handleden och fortsätter två och två till respektive finger. Senorna från den ytliga muskeln fäster på fingrarnas mellanfalang medan den djupa muskulaturens senor går ända ut till ytterfalangen.



Figur 1. Ytliga fingerböjare (A) och fingersträckare (B). FDS = Flexor digitorum superficialis, ED = Extensor digitorum, EDM = Extensor digitorum minimi. Från Jonsson et al. (1977)

Fingrarna sträcks genom en gemensam sträckarmuskel (extensor digitorum, se figur 1) på underarmens utsida vars sena strax före handledspassagen grenar sig för att passera handleden under ett bindvävsband. Senorna fortsätter sedan ut över handryggen till fingrarnas yttersta falanger. Det är värt att notera att alla fingrarna sträcks lika mycket av denna muskel. Förutom denna har pekfingret och lillfingret var sin separat sträckarmuskel i underarmen (extensor indicis och extensor digiti minimi).

Tummen har i underarmen fyra separata muskler för sina rörelser (flexor pollicis longus, extensor pollicis longus och brevis samt abductor pollicis longus). En av dessa (FPL) löper genom karpaltunneln.

Senorna löper till stora delar genom senskidor vilka är rörformade med en glatt inre yta och som är fixerade i omgivande strukturer. Senskidorna håller senorna på plats och genererar en vätska, synovialvätskan, som smörjer senan för minsta möjliga friktion vid senans fram och återgående rörelser.

2.1.2 Nervsystemet i hand/arm

Tre nerver, ulnaris, medianus och radialis innerverar hand/underarm. De utgår alla från ett nervcentrum under nyckelbenet (plexus brachialis). De förmedlar alla såväl efferent (aktivering av muskler) som afferent (sensoriskt inflöde) information. I den känsliga handledsregionen löper ulnaris och radialis i anslutning till respektive ben och speciellt ulnaris löper ytligt och kan påverkas av slag. Det samma gäller för ulnaris i armbågsregionen ("änkestöten"). Medianusnerven löper genom karpaltunneln och delar här plats med fingrarnas sensorer.

En efferent nervtråd (axon) som utgår från ryggmärgen bildar tillsammans med en grupp armmuskelfibrer (storleksordningen hundra till antalet) en motorisk enhet som är den minsta funktionella enheten för kraftgenerering. Denna har en kvantifierad mekanisk output i form av ett tidsbegränsat ryck (storleksordningen 100 ms) som triggas av en impuls från ryggmärgen via axonen. Vid kontinuerlig kraftutveckling aktiveras den motoriska enheten genom upprepade impulser från centrala nervsystemet (storleksordningen 20 Hz). En muskel består av flera hundra motoriska enheter. Kraftutvecklingen i muskeln bestäms av antalet aktiverade motoriska enheter (rekrytering) och genom de frekvenser med vilken de aktiveras. Aktiverade motoriska enheter arbetar normalt asynkront. Det är mycket ovanligt att samtliga motoriska enheter aktiveras samtidigt.

Den afferenta information indelas i olika klasser beroende på såväl från vilken typ av receptor som från vilken typ av vävnad den kommer. De ytliga receptorerna i huden har ett begränsat upptagningsområde och är direkt kopplade till (projicerar på) en detaljerad "kartbild" i hjärnbarken. De djupare liggande receptorerna som förmedlar djup smärta projicerar inte på någon lika detaljerad karta utan ger sensationer som är mera diffusa i sin lokalisering. Receptorer som ger lägesinformation (huvudsakligen muskelpolar, se nedan) hjälper oss att få en relativt noggrann inre bild av var i rummet handen/armen befinner sig även utan synens hjälp (proprioceptiva systemet).

Handen beräknas ha ca 17 000 taktila känselreceptorer (Johansson & Vallbo, 1983). Dessa indelas i fyra olika kategorier SA (Slow Adapting) I och II samt FA (Fast Adapting) I och II (Vallbo & Johansson, 1984). Fast adapting innebär att dessa receptorer snabbt anpassar sig och slutar att ge respons om stimulus kvarstår medan slow adapting fortsätter att ge respons under längre tid. SA I och FA I receptorerna har en begränsad upptagningsyta (ca 12 mm²) med distinkta gränser vilket gör att de ger detaljerad spatial beröringsinformation. SA I är speciellt känsliga för kantkonturerna på föremål som tränger in i skinnet. FA II och SA II receptorerna har större och mindre väl avgränsade upptagningsområden. SA II utmärker sig genom att vara känsliga för hudens töjning och är dessutom riktning-känsliga så att de är speciellt känsliga för töjning i en specifik riktning. FA II är den receptor som reagerar på vibrationer.

Smärta förmedlas av smärtreceptorer, s. k. nociceptorer, som finns huvudsakligen i huden men även i bindvävstrukturer men ej i själva muskeln. De består i princip av fria nervändar. Mekaniska nociceptorer reagerar när de skadas av skarpa föremål. Värmereceptorer förmedlar känsla av värme inom ett temperaturintervall 32-45° C. Köldreceptorer förmedlar köldkänsla vid temperaturer under 32° C. Värmesmärtreceptorer reagerar när temperaturen överstiger 45° C.

Receptorer för värme och kyla är belägna i avgränsade cirkulära områden med ca 1 mm diameter. En köldreceptor som värms upp över 45° C reagerar också och ger då en falsk upplevelse av kyla (paradoxical cold).

Muskelspolarna som återfinnes i muskulaturen reagerar på sträckning. Från dessa förs information av två olika typer. Dels signalerar de fortlöpande vid statisk sträckning, dels finns också en dynamisk del som endast aktiveras under själva längdförändringen. Muskelspolarnas känslighet kan också regleras från CNS genom att i varierande utsträckning aktivera de speciella muskelfibrer som finns inne i spolen (intrafusala fibrer).

I musklernas sensor finns speciella receptorer, s. k. Golgiorgan som förmedlar information om kraftutveckling i senan.

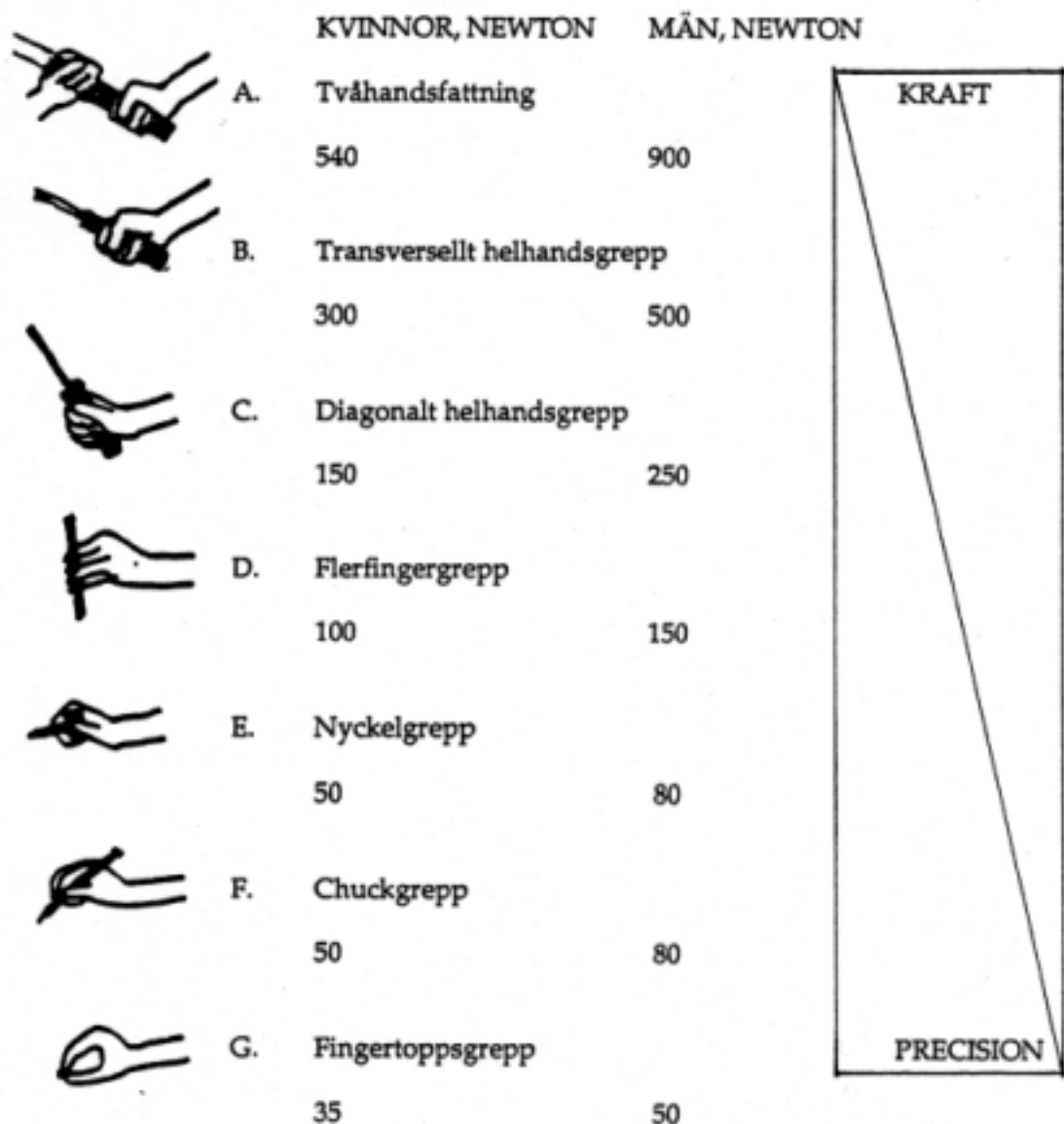
Det afferenta inflödet till CNS bildar tillsammans med det efferenta utflödet så kallade återkopplingsloopar för kontroll av motoriken. Den återförda informationen behandlas i olika omfattning på olika nivåer i CNS för att sedan påverka den utgående efferenta information till musklerna. Olika typer av reflexer bildar de enklaste looparna där looperna endast innefattar det motsvarande ryggmärgssegmentet. Tidsfördröjningen i en loop ger en fingervisning om hur högt upp i CNS informationen har behandlats. Denna fördröjning påverkas dock också av ledningshastigheten i de impulsförmedlande nervbanorna som varierar i olika sensoriska system. En av de viktigaste reflexerna i detta sammanhang är den så kallade toniska vibrationsreflexen som innebär att muskelkontraktionen i hand/arm ökar när handen exponeras för vibrationer.

Den motoriska informationsbehandlingen på högre nivå behandlas närmare i avsnitt 2.3.

2.1.3 Grepp typer

En frisk hand är kapabel att utföra ett mycket stort antal grepp typer. För att kunna göra systematiska studier av greppet krävs någon form av klassificeringssystem. Ett sådant kan skapas utifrån olika utgångspunkter, t. ex. anatomiska, rekonstruktionskirurgiska, ADL (Activities of Daily Living) avseende rehabilitering eller utifrån yrkesmässiga krav. För en översikt se Sollerman (1980); MacKenzie och Iberall, (1994).

I slutrapporteringen av det stora svenska handverktygsprojekt som bedrevs under senare delen av 1980-talet används följande indelning ordnat efter kraftutveckling: fingertoppsgrepp, chuckgrepp, nyckelgrepp, flerfingergrepp,



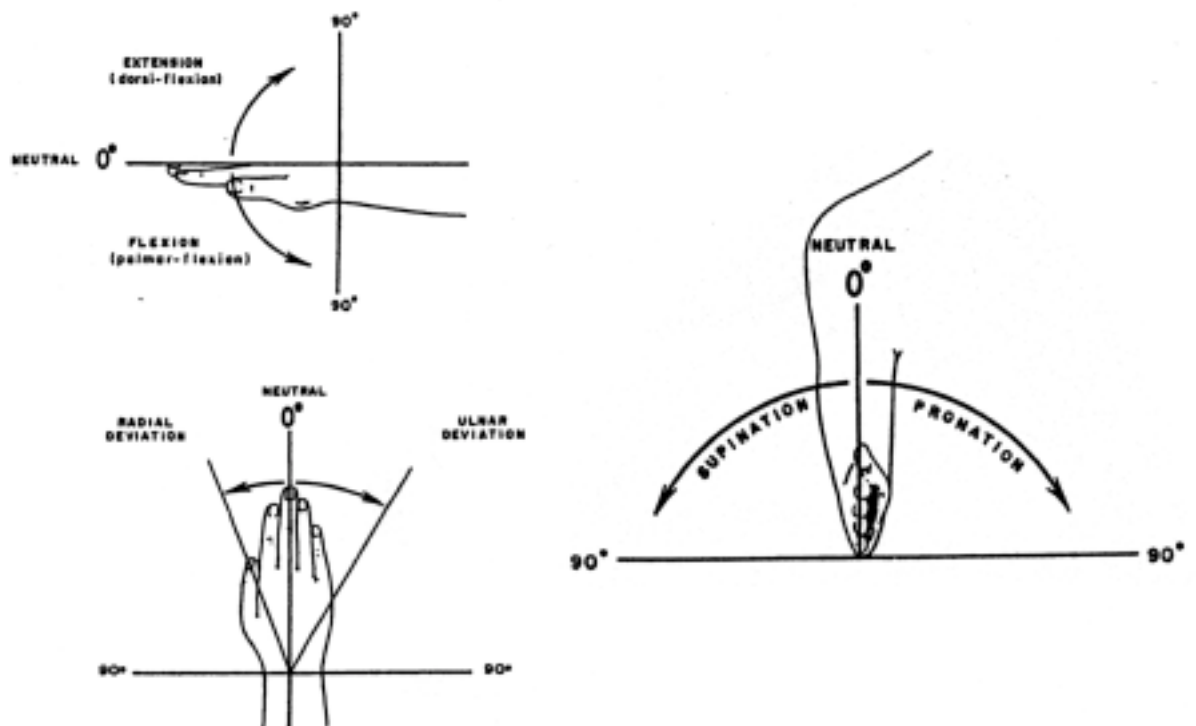
Figur 2. Grepp typer med typvärden för gripkrafter för kvinnor och män samt relativ fördelning av kraft och precision. Från Wikström et al. (1991).

diagonalt helhandsgrepp, transversellt helhandsgrepp och tvåhandsfattning (Wikström et al., 1991). Se figur 2. Det påpekas också att möjligheterna till precision i greppet minskar med ökande kraftutveckling.

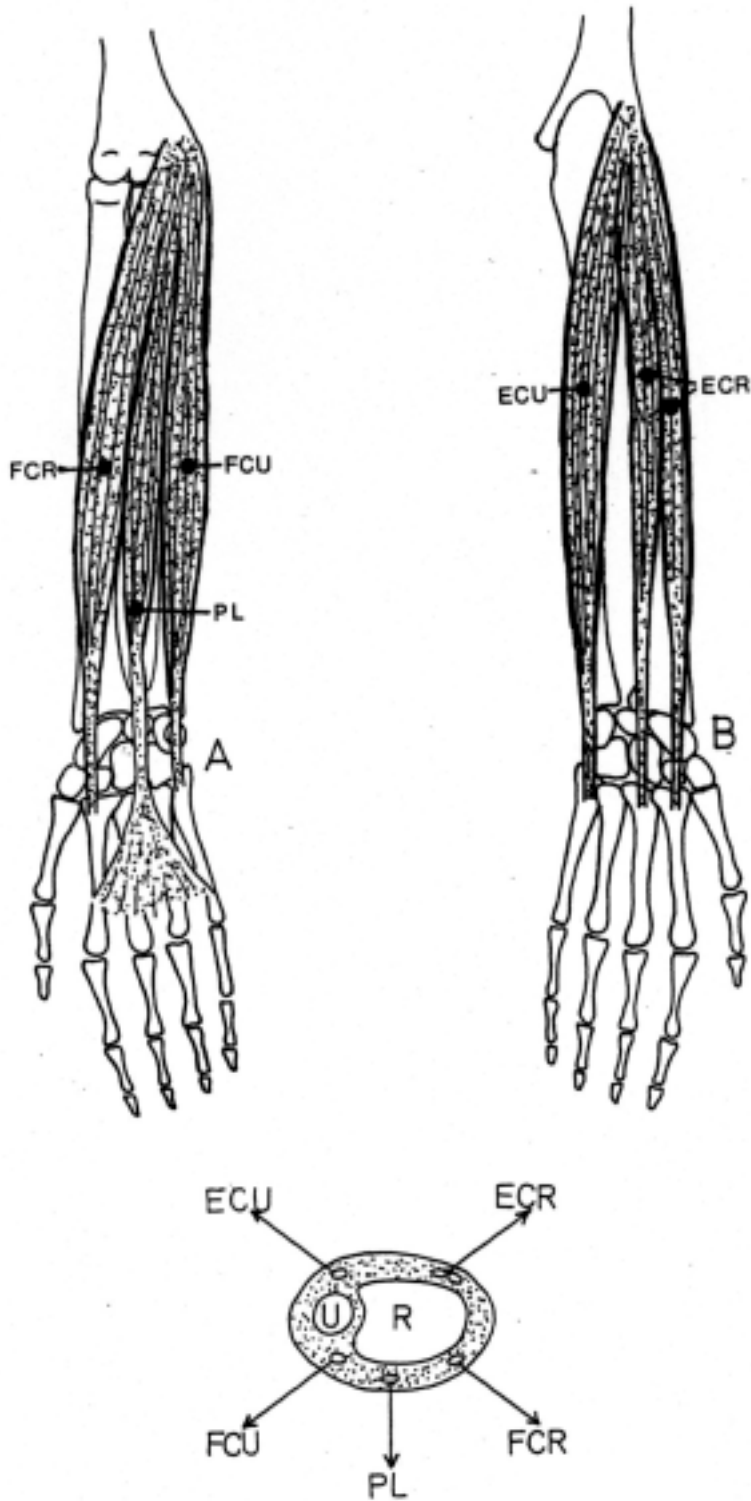
2.1.4 Handledsmekanik

Handleden är uppbyggd av ett komplext system av åtta små ben som tillåter en stor böjlighet i handleden. Dessutom passerar många senor igenom leden tillsammans med tre nervstammar. Senorna överför stora krafter. Bøjarsenorna passerar tillsammans med mediannerven genom den trånga karpaltunneln.

Handleden har tre rörelsefrihetsgrader varav två definierar olika böjningar medan det tredje beskriver handledsrotation. Flexion/extension innebär böjning åt handflatesidan respektive handryggssidan. Vinkelrätt mot detta rörelseplan ligger deviationsplanet där ulnardeviation (efter underarmsbenet, ulna) avser böjning åt lillfingersidan medan radialdeviation (efter strålbenet, radius) avser böjning åt tumsidan. Se figur 3. Slutligen benämnes rotationsriktningarna så att en vridning av handflatan uppåt kallas supination medan den motsatta rörelsen kallas pronation. Samlingsbeteckningen på denna rotationsrörelse är prosupination.



Figur 3. Benämning och definition av terminologin för handledsrörelser. Från Rowe et al. (1965)



Figur 4. Handledsbjäre (A = handflatan) och sträckare (B = handryggen) samt nederst respektive muskels böjfunktion. Se text för namn på förkortningar. Från Jonsson et al. (1977).

Handledsböjning och stabilisering åstadkommes i huvudsak av fyra muskler i underarmen som fäster i var sitt hörn av handledens rektangulära tvärsnitt. De namnges efter sin huvudfunktion (extension eller flexion, E eller F) samt efter vilken sida de fäster vid handleden i ulnar/radialled (U eller R). De har enligt detta system fått akronymerna ECR, ECU, FCU och FCR där C står för Carpi. ECR är dessutom dubblerad i två närliggande huvuden (brevis och longus) vilket ger ECRB och ECRL. Handledsflexionen kompletteras av en böjarmuskel mitt-emellan FCR och FCU, palmarus longus (PL). Sålunda utförs en handledsflexion med FCU, FCR och PL, en extension av ECRB, ECRL och ECU, en ulnardeviation av ECU och FCU och en radialdeviation av ECRB, ECRL och FCR.

Extensormuskulaturens proximala senor går ihop och fäster i den yttre benknölen (laterala epicondylen) på överarmsbenet i armbågen. På samma fäster flexorsenorna på den inre (mediala) epicondylen.

Vid aktivering av fingerböjarna för att utföra ett grepp uppkommer också ett böjande moment i handleden som om det inte motverkades skulle leda till en samtidig handledsflexion. Detta moment motverkas dock av en samtidig aktivering av ECRB, ECRL och ECU. Detta innebär att vid ett griparbete med ostödd handled aktiveras handledsextensorerna parallellt med fingerflexorerna för att vidmakthålla en rak handled. Mera om detta i 4.2.4.

Slutligen skall handen/handleden också kunna roteras vilket åstadkommes genom att strålbenet (radius) vrider sig och roterar mot armbågsbenet (ulna) i armbågen medan det senare behåller sin position. Kraften för pronation genereras av pronator teres och pronator kvadratus musklerna i underarmen. Supinationen åstadkommes med hjälp av supinatormuskeln i underarmen men bicepsmuskeln på överarmen bidrager också genom att dess sena i pronerat läge är ”upprullad” på strålbenet (radius).

2.1.5 Armbåge/överarm

Armbågsleden är till skillnad från många övriga leder en förhållandevis enkel ”gångjärnsled” som i första hand böjs och sträcks med hjälp av muskler i överarmen med fästen på underarmen nära leden. Armbågsböjning (flexion) åstadkommes med två muskler på överarmens framsida, biceps brachii och brachialis, men även av en muskel på underarmens ovansida, brachioradialis. Det bör dock noteras att bicepsmuskeln på grund av sitt engagemang även i supinationen (se föregående avsnitt) inte engageras i armbågsflexion i pronerat läge. Armbågssträckning åstadkommes genom tricepsmuskeln på överarmens baksida.

2.2 Axel/skuldra

2.2.1 Axelleden

Axelleden präglas av sin stora rörlighet där överarmen kan positioneras inom ett tvådimensionellt vinkelrum som är större än en halvsfär. Till detta kommer att

överarmen (och därmed också underarmen) skall kunna roteras i mer än 180 grader. Axelleden är därför en kulle men på grund av de stora kraven på rörlighet är den fördjupning i skulderbladet som överarmens ledkula vilar i mycket grund. Detta medför i sin tur att denna benstruktur ger förhållandevis små bidrag till ledstabiliteten som i stället måste kompenseras med ligament och aktiv muskelstabilisering. (Jämför höftleden som har en förhållandevis djup ledgrop.)

Ett stort antal muskler verkar över axelleden. Bland dessa märks bröstmuskeln (pectoralis) som inåtroterar överarmen, infraspinatusmuskeln vid skulderbaldets underkant som utåtroterar överarmen, supraspinatusmuskeln under övre delen av kappmuskeln som lyfter överarmen utåt (abduktion) tillsammans med deltamuskeln (deltoideus, över axelleden) mittled. Främre och bakre delarna av deltamuskeln för överarmen framåt (flexion) respektive bakåt. Det bör noteras att bicepsmuskeln verkar även över skulderleden och bidrager vid både överarmsabduktion och flexion.

Den så kallade rotatorkuffen består av fyra djupt liggande muskler runt ledkulan. Två av dessa är infraspinatus och supraspinatusmusklerna. Dessa har alla, var för sig, en specifik funktion när det gäller att röra armen, men sammantaget har dessa muskler också en viktig funktion att stabilisera leden vid alla typer av armaktivitet.

2.2.2 Skulderbladet/kappmuskeln

Skulderbladet som utgör själva fundamentet för hand/armssystemet är en komplex benstruktur som också är rörligt, främst uppåt-nedåt men även framåt-bakåt. Det har en fast benkoppling till övriga bålerna på bålens framsida via nyckelbenet som ledar mot skulderbladet och bröstbenet. På ryggen hålls skulderbladet på plats av bland annat den stora kappmuskeln (trapezius) som egentligen är triangelformad men som tillsammans med samma muskel på motstående sida bildar en trapetsform. Olika delar av kappmuskeln har olika och till och med delvis motsatt funktion. Den övre delen som löper upp mot halsen stabiliserar och höjer skulderbladet, mittled stabiliserar det i sidled medan den nedre delen drar det nedåt. Skulderbladet stabiliseras också av flera andra muskler.

2.3 Motorisk kontroll och inläring

För att styra det mycket komplexa system som handen/armen utgör krävs likaledes komplexa funktioner i centrala nervsystemet. Detta vida fält skall här endast beröras kortfattat. För mera ingående översikter hänvisas till Holding, (1989); Hoffmann och Halliday, (1997) varifrån huvuddelen av nedanstående stoff har hämtats. Dock ges en mera ingående beskrivning av gripfunktionen.

2.3.1 Några grundläggande begrepp

Allt mänskligt handlande bygger på den varseblivna information (perception) som vi ständigt får från omgivningen genom de sensoriska systemen. Speciellt viktiga för motoriken är information från syn, berörings- balans- och kroppspositionsreceptorer. Informationen om kroppsposition och rörelse benämnes med ett samlingsbegrepp proprioception (Lönn, 2001). En annan benämning på denna funktion är kinestesi.

Denna information är naturligtvis avgörande för vårt viljemässiga handlande men spelar även en mycket viktig roll för olika undermedvetna motoriska kontrollprocesser. Många motoriska färdigheter, men inte alla, förutsätter även att den inkommande informationen i större eller mindre omfattning måste tolkas och bearbetas vilket benämnes en kognitiv process.

2.3.2 Motorisk kontroll

Det finns idag tämligen god kunskap på enskild neuronnivå om hur en rörelse initieras i hjärnan och hur sedan impulser via olika nervbanesystem överförs till olika muskler (Kandel, 1985). Däremot saknas detaljerad kunskap om hur motoriken styrs och organiseras på systemnivå. Dock föreligger ett antal modeller för hur dessa funktioner kan tänkas vara organiserade som mer eller mindre väl förklarar olika mänskliga egenskaper och beteenden.

Återföring av information från olika sensoriska organ spelar som tidigare berörts en central roll för motorisk kontroll. Denna information kan indelas i två huvudgrupper. Den första gruppen innefattar den information som tas in före det att en rörelse utförs (huvudsakligen syn) på vilken planläggningen av en avsedd rörelse baseras. Vidare har vi den information som tas in under rörelsens utförande vilken kan modifiera den ursprungligen planerade rörelsen genom återkoppling i mera teknisk mening. Dock finns det vissa grundläggande rörelser och funktioner ("i ryggmärgen") som kan utföras utan informationsåterföring. Dessa är oftast enkla väl inövade rörelser och uppgifter. Man anser också att det i de flesta motoriska uppgifter ingår element såväl med som utan återföring.

Ett viktigt begrepp inom detta område är ballistisk kontroll. Det innebär att en rörelse sätts igång med en väl avvägd initial muskelkontraktion. En förutsättning för denna typ av kontroll är att kroppsdelarna kan röra sig fritt utan eller med väl kända yttre bromsande krafter. När rörelsen väl startat slappnar den muskel som gav den inledande accelerationen av och först när rörelsen skall avslutas aktiveras lämpliga antagonister som bromsar upp rörelsen. Detta är ett mycket energisnålt sätt för människan att utföra en motorisk uppgift men kräver oftast avsevärd träning för att kunna praktiseras. Motsatsen till ballistisk kontroll innebär att såväl agonister som antagonister är aktiverade i ett samspel under hela rörelsesekvensen.

Det finns idag belägg för att i stort sett all motorik byggs upp av olika tidigt inövade motoriska program organiserade i ett hierarkiskt modulsystem på olika

komplexitetsnivåer. Visst belegg finns också för att vissa av dessa program, t. ex. för gång, ärvs i rudimentär form.

En annan grundläggande observation att motoriken kan störas av parallella kognitiva processer. Man har visat i laboratoriestudier att en motorisk uppgift tar längre tid att utföra om man samtidigt tvingas att utföra beslutsuppgifter (Hoffmann & Lim, 1997).

2.3.3 Motorisk inläring

Motorisk inläring indelas normalt i tre faser. I den inledande kognitiva fasen analyserar nybörjaren uppgiften som skall utföras och försöker förstå den "teoretiskt".

Därefter inleds den andra fasen som kallas den associativa fasen. Man försöker i stor uträkning associera till tidigare existerande motoriska program av varierande komplexitetsgrad vilka kombineras i nya mönster för att lösa den nya uppgiften. Det har hävdats att man efter småbarnsåldern sällan lär sig något genuint nytt och nya färdigheter senare i livet utgörs oftast endast av nya kombinationer av tidigt i livet inlärd basala funktioner. Under denna fas är den mentala ansträngningen och koncentrationen hög.

I den tredje och avslutande fasen som anses vara den längsta strävar man efter att genom upprepning automatisera den kombination av motoriska subprogram som löser uppgiften. När denna fas är slut har man skapat ett nytt motoriskt program. Under denna sista fas minskar successivt den mentala ansträngningen. Den ökande automatiseringen medför dock samtidigt att möjligheten att modifiera programmet minskar med minskad flexibilitet som följd. Man kan också se att muskelaktiveringen allt mera närmar sig ballistisk kontroll där så är möjligt för att minimera energiåtgången.

2.3.4 Gripfunktionen

Den i detta sammanhang intressantaste motoriska funktionen är greppet. Den neuromotoriska styrningen av gripfunktionen har studerats närmare i två svenska avhandlingar (Westling, 1986; Häger-Ross, 1995). Genomgående betonas den sensoriska funktionens betydelse för styrningen av greppfunktionen.

Westling (1986) studerade huvudsakligen hur gripkraften reglerades för att uppnå tillräcklig friktionskraft för att lyfta eller flytta ett föremål men samtidigt begränsa gripkraften för att undvika onödig muskeltrötthet och undvika att skada föremålet (Westling, 1986). Här spelar vibrationskänsligheten en viktig roll. Små glidningar ger upphov till vibrationer som automatiskt utlöser en ökning av gripkraften för att stabilisera kontrollen över det gripna föremålet. Samtidigt avkännes deformationer i föremålets form som kan indikera att det håller på att skadas vilket reducerar gripkraften.

Häger-Ross (1995) vidareutvecklade dessa kunskaper genom att studera de dynamiska egenskaperna i dessa kontrollsystem vid oväntade förändringar av belastningen. Hon kunde visa att snabbheten i svaret var beroende av riktningen

av den oväntade störningen. Sålunda reagerade man snabbast när störningen var riktad lodrätt nedåt eller bort från handen. Baserat på dessa fynd drog man slutsatsen att det finns förbestämda motoriska program för dessa mest kritiska riktningar medan störningar i andra riktningar kräver en längre tid för att generera en optimal motorisk motåtgärd. Man kunde också genom nervblockader av den lokala sensoriken visa att angränsade sinnen i t. ex. handled och underarm delvis kunde ta över och förmedla önskvärd information om ett föremål i handen.

För ytterligare detaljer om detta vida kunskapsområde hänvisas till MacKenzie och Iberall (1994).

Hur finmotoriken påverkas av kyla har studerats i en avhandling av Enander (1986). Försämringen i finmotorisk förmåga uppstår dels på grund av mekaniskt stelare vävnader på grund av avkylningen men framför allt på grund av försämrade sensorik. Man kunde dock visa på vissa tränings- och tillvänjningseffekter när det gäller att klara manuella uppgifter i kyla.

2.3.5 Hänthet

Det faktum att människor utvecklar större motorisk färdighet i den ena handen och att en minoritet (ca 10 procent av befolkningen vänsterhänta (Coren, 1992)) har en avvikande preferens leder till en del praktiska problem, inte minst för verktygsutformning.

Fenomenet har studerats vad det gäller motorisk funktion och inläring. Studier har genomförts där man jämför den motoriska förmågan att utföra samma motoriska uppgifter med dominant och icke dominant hand. Man finner att tiden att utföra uppgifterna med den icke dominant hand blir längre och varierar från 110 procent (borra med elektrisk bormaskin) till 191 procent (klippa förutbestämd figur med sax) med den dominant handens prestation som referens (Lowden, 1977; Konz & Warraich, 1985; Hoffmann, 1996). Kvaliteten i resultaten av det utförda arbetet var i flera fall också avsevärt sämre. Så till exempel var felfrekvensen vid klippning med sax 0.25 (antal fel per person och utförd uppgift) för den dominant hand medan för den icke dominant hand hela 2.27 (Konz & Warraich, 1985).

I fråga om greppstyrka är den icke-dominant hand något svagare än den dominant. Rapporterade värden i litteraturen ligger mellan 90 och 97 procent av den dominant handens värden (Mital & Kumar, 1998b). Förmågan att generera vridande moment i en skruvmejsel har undersökts med avseende på hänthet (Wang & Strasser, 1993). Man fann för medursrotation (skruva i skruv) att den icke-dominant hand ligger ca 10 procent under den dominant (gäller endast högerhänta). För motursrotation (skruva ur skruv) däremot är skillnaderna betydligt större. Detta sammanhänger med att supinationskapaciteten generellt är storleksordningen 20 procent lägre än pronationskapaciteten (Wang & Strasser, 1993). Vänsterhanden/armen är generellt upp till 50 procent svagare än högerhanden hos högerhänta.

När det gäller skillnader i manuell motorisk kapacitet i den dominant hand har man inte kunnat påvisa några skillnader mellan höger och vänsterhänta vare

sig när det gäller allmän kapacitet eller inlärningsförmåga (Chapanis & Gropper, 1968; Coren, 1992; Hoffmann, 1996; Hoffmann & Halliday, 1997). Däremot har man funnit att vänsterhänta i vissa funktioner presterar bättre med den icke dominanta handen (höger) än högerhänta med sin vänsterhand (Hoffmann, 1996). Vidare har man funnit att vänsterhänta i allmänhet är mera mångsidiga när det gäller monteringsarbete än högerhänta (Schmauder et al., 1993).

För en mera ingående översikt av detta problemområde hänvisas till (Coren, 1992).

2.4 Maximal kapacitet och antropometriska data

Vid design och utvärdering av handintensivt arbete och handverktyg är data rörande människans kapacitet och antropometri betydelsefulla. Ett stort antal vetenskapliga publikationer finns publicerade rörande dessa frågor och dessa skall inte refereras här i detalj. Endast några referenser till goda litteraturöversikter samt några principiella synpunkter på dess användande ges.

2.4.1 Krafter och moment

I en nyligen publicerad review ger Mital och Kumar en ingående översikt över området. Denna är uppdelad i två delar; den första med data och metoder för praktikern (Mital & Kumar, 1998a), den andra med det vetenskapliga underlaget för dessa (Mital & Kumar, 1998b). Ytterligare data angående kraft och momentkapacitet vid användandet av vanliga handverktyg ges av Mital och Sanghavi och av Cochran och Riley som funktion av handtagsform och storlek samt av O'Driscoll et al. vid olika handledspositioner och gripstorlekar (Cochran & Riley, 1986a; Mital & Sanghavi, 1986; O'Driscoll et al., 1992). Hur den maximala kapaciteten vid användandet av skruvnycklar och skruvmejslar varierar med olika kroppsställningar visas i två andra undersökningar (Mital, 1986; Mital & Sanghavi, 1986). Mital och Shaghavi visar också att kvinnor i medeltal presterar 2/3 av resultaten för män vilket väl överensstämmer med skillnader i basal muskelstyrka (Åstrand, 1990).

Data angående bidrag från olika fingrar i ett nypgrepp har rapporterats av Radwin et al. där man finner att pek- och långfinger bidrar med ca en tredjedel av maxkraften vardera medan de andra två fingrarna bidrager med ca 15 procent vardera (Radwin et al., 1992). I en studie av fingerkrafter vid lyft av mindre förmål fann man ungefär samma bidrag från lill- och ringfinger medan pekfingeret bidrog förhållandevis mera (42 procent) och långfingeret förhållandevis mindre (27 procent) (Kinoshita et al., 1995). Motsvarande data för skänkelverktyg presenteras i 6.2.1. Kapaciteten i nypgreppet är starkt beroende av handvinkel. Således fann Imrhan att maximal handledsflexion hade störst effekt med en kraftreduktion av 43 procent (Imrhan, 1991). Optimal nypgreppsvidd för kraftoptimering ligger på ca 5 cm (Dempsey & Ayoub, 1996).

Mera detaljerade data avseende handens kapacitet ges av Mathiowetz och medarbetare där även åldersfaktorn beaktats genom att gruppera materialet i femårs åldersklasser (Mathiowetz et al., 1985). Man finner att gripkraften reduceras med ca 25 procent från maximum vid 20-25 år till 60-65 år medan nykraften med fingertopparna förvånande nog endast minskar några få procent över samma åldersintervall. Rent generellt reduceras människans maximala styrka med ca 25 procent över samma åldersperiod (Åstrand & Rodahl, 1977).

Muskelstyrka kan mätas på många olika sätt. Statisk isometrisk styrka är den vanligast uppmätta. I praktiska situationer är dock ofta den dynamiska kapaciteten av större intresse. Därvid tillkommer dock ett antal parametrar att definiera såsom rörelsehastighet, rörelseomfång m. m. vilket gör att generaliserbarheten för publicerade data begränsas avsevärt. Trots en ganska rikhaltig litteratur kommer en praktiker alltför ofta att finna att data för en specifik arbetsställning eller belastningssituation inte finns tillgängliga i litteraturen. Man finner också att en majoritet av presenterade dynamiska data beskriver lyftsituationer där ryggstyrka är den begränsande faktorn.

Ett alternativ till denna litteratur kan vara en datormodell som beräknar krafter och moment i relevanta leder vid en specificerad belastningssituation (dock ej för handen). Ett sådant finns kommersiellt tillgängligt från University of Michigan (Chaffin, 1992). Detta beräknar också hur stor andel av en normalbefolkning som överhuvudtaget har kapacitet att klara en given belastning. Ett liknande program (ALBA) har tagits fram av Avdelningen för Arbetsvetenskap, Linköpings Universitet. Detta inkluderar också den amerikanska NIOSH-guiden för lyft (Waters et al., 1993).

Det bör också påpekas att publicerade data ofta baserar sig på små material, alltför ofta rekryterade från för det praktiska arbetslivet mindre representativa grupper som t. ex. studenter. Ålderssammansättningen måste dessutom beaktas. (Se ovan!) Könsaspekten är naturligtvis också viktig. Kvinnor har i medeltal 2/3 av mäns muskelstyrka i de övre extremiteterna (Åstrand, 1990).

Data gällande dynamisk kapacitet (maximala hastigheter och accelerationer) saknas till stor del men när det gäller handleden har detta undersökts ingående (Schoenmarklin & Marras, 1993).

Psykofysiska mätningar, också huvudsakligen inriktade på lyft och manuell hantering, utgör ytterligare en klass av mätningar av maximal kapacitet (Snook & Ciriello, 1991). Här får försökspersoner skatta sin långtidskapacitet med instruktioner av typen: Vilken vikt på bördan skulle du välja om du skulle utföra detta lyftarbete i ditt dagliga yrke? Verkligt relevanta blir denna typ av data när de tillfrågade har professionell erfarenhet av arbetsuppgiften och väger in sin erfarenhet i bedömningen. Yrkesverksamma skattar därför oftast lägre vikter trots ibland högre muskelstyrka jämfört med en oerfaren referensgrupp (Gamberale et al., 1987). Ett försök att med psykofysiska metoder identifiera maximala parametrar för intermitterant griparbete har utförts av Abu-Ali och medarbetare (Abu-Ali et al., 1996). Man finner som väntat att självvald paus ökar med grepptid och relativ belastning (%MVC) men att relativ andel griptid av total tid (= ”duty cykle”) ökar

med längre griptider. Tyvärr har inte erfarna operatörer använts i studien vilket begränsar resultatens tillämpbarhet i yrkesmässigt arbete.

Detta leder vidare in på frågan om hur man överhuvudtaget tillämpar denna typ av data. Vid enstaka belastningar kan krafter upp till i närheten av maximal kapacitet tolereras, dock med beaktande av spridningen inom aktuell population. Det vanliga är dock att belastningen upprepas mer eller mindre frekvent under en arbetsdag. För att i sådana fall undvika skadliga belastningssituationer måste kraftkraven begränsas till bråkdelar av maximal kapacitet. Mer om detta under 8.3.

2.4.2 Antropometri

Det klassiska standardverket när det gäller antropometri är Pheasants "Body-space" (Pheasant, 1996). I grundtabeller redovisas hela 36 kroppsmått för 32 olika grupper av olika åldrar och etnicitet. En del av dessa baserar sig dock inte på originaldata i alla delar utan har framräknats utifrån längddata och generellt verifierade procentsatser därav. Vidare finns ett stort antal specialtabeller över räckvidder, rörelseomfång, hand- och huvudstorlekar, vikter m. m.

När det gäller storlek på händer finns ett allmänt tillämpat klassificeringssystem publicerat av Deutsches Institut für Normung (DIN, 1978) vilket också innehåller data för kvinnor och män. De vanligast använda storleksmått på handen är handlängd (långfinger till handledsveck) och handbredd vid knogarna. Detaljerade data angående handstorlek för svenska kvinnor finns publicerade av Sperling och Avén (1985).

3. Exponering

Vid handintensivt arbete exponeras människan för olika fysiska faktorer i första hand i handen men även indirekt i hela hand/armsystemet och kroppen i sin helhet. Dessa faktorer är av flera olika slag: krafter och moment, vibrationer, värme/kyla och olika substanser. Något kommer också att sägas om psykosociala faktorer. För att få veta något om dess effekter på människan och kunna förebygga skadlig inverkan måste man förutom att känna till storleken/koncentrationen även veta något om tidsförhållandena eftersom den ackumulerade exponeringen oftast är avgörande. Begreppet dos, som kan definieras som medelxponeringen gånger exponeringstiden, ger när det gäller vibrationer och kemiska substanser ett någorlunda relevant exponeringsmått. När det gäller krafter och moment är förhållandena mera komplicerade som framgår av följande avsnitt.

3.1 Krafter och moment

3.1.1 Exponeringsbegrepp

Krafter och moment till/från verktyg och föremål överförs i de flesta fall via handen som utgör den biologiska slutpunkten i det länksystem som hand/arm utgör. Detta ger lokalt i handen upphov till ett tryck på huden som är beroende av kraftens storlek och den yta över vilken kraften fördelas (se vidare 3.2).

Eftersom krafter och moment har effekter på människan inte bara lokalt i handen utan även i hela hand/armsystemet har man inom belastningsskade-epidemiologin skapat en begreppsapparat där man utgår från de yttre förhållandena som utgår från begreppet *extern exponering* (Westgaard & Winkel, 1997). Detta hänför sig till de yttre krafter och moment som påverkar individen och är definitionsmässigt oberoende av individens förutsättningar och beror endast av arbetsuppgiftens krav på krafter och moment för lösa densamma. Extern exponering kan normalt mätas på ett relativt enkelt sätt. Man kan anmärka att en viss del av de yttre krafterna är beroende av individens arbetsteknik men dessa ingår alltså inte i detta begrepp.

En *intern exponering* uppkommer när krafter och moment sedan fördelas på olika strukturer i kroppen. Denna exponering är starkt individberoende och beror bland annat på kroppsstorlek, fysisk kapacitet och arbetsteknik. Att kvantifiera den interna exponeringen är i de flesta fall betydligt svårare (se 8.1.3).

Ovanstående nomenklatur och definitioner är hämtad från Westgaard och Winkel (1997). Tyvärr råder ännu ej konsensus i dessa frågor. Detta gäller inte minst dosbegreppet. Se Hägg och Bergqvist (2001) för en kortfattad översikt.

Slutligen bör påpekas en speciell aspekt av fysisk exponering nämligen att total frånvaro av belastning i de flesta fall också har skadliga effekter på lång sikt. En fysiskt totalt inaktiv arbetssituation ger efter en tid effekter som till exempel sänkt muskelstyrka och en allmän försämring av rörelseapparatens funktion.

3.1.2 Variabilitet och repetitivitet

En mycket viktig aspekt på den mekaniska exponeringen är fördelningen över tid. Man har på senare år funnit belägg för att inte bara medelexponeringen över tid utan också graden av variabilitet och repetitivitet oftast är avgörande för eventuella skadliga effekter (Kilbom, 1994b; Winkel & Mathiassen, 1994). Således är mått på medelexponering i de flesta fall otillräckliga.

En entydig definition av begreppet repetitivitet är dock långt ifrån självklar och många faktorer bör beaktas såsom amplitud, antalet repetitioner, cykeltiden och graden av likhet i upprepningen (Moore & Wells, 1992). En grundläggande information om ett arbetes repetitivitet kan fås från en allmän arbetsbeskrivning där cykeltid och eventuella delcykeltider beskrivs (Silverstein et al., 1987). Ett flertal olika sätt att göra detta på finns dock beskrivna i litteraturen vilket gör att jämförelser blir svåra att göra (Kilbom, 1994b). Se också 8.2.1.

Betydelsen av exponeringens tidsfördelning innebär att inte bara den fysiska utformningen av verktyg och arbetsstationer påverkar exponeringen utan att också arbetsorganisatoriska förhållanden spelar en avgörande roll (Westgaard & Winkel, 1997). Här ingår t. ex. hur arbetet fördelas mellan människa och maskin (rationaliseringar) och hur arbetet fördelas mellan människor men också löneformer där olika typer av ackord driver upp arbetstakten.

3.1.3 Samverkande faktorer

En viktig faktor när det gäller den interna exponeringens storlek, speciellt i skulderregionen, är kopplingen till olika handaktiviteter. Det är visat att såväl dynamiska som statiska handkontraktioner ökar muskelaktiviteten främst i supraspinatusmuskeln (Sporrong et al., 1995; Sporrong et al., 1996). Krav på precision i det manuella arbetet ger en förhöjd generell muskelaktivitet i skuldermuskulaturen (Milerad & Ericson, 1994; Sporrong et al., 1998). Denna förhöjning av aktiviteten beror sannolikt till en del på ökade biomekaniska krav på stabilitet som en följd av precisionskraven. En co-akrivering av trapeziusmuskeln har också observerats vid "finger tapping" (Schnoz et al., 2000).

Förhöjning av muskelaktiviteten vid ökade precisionskrav hänger troligen också samman med ökad stress som en följd av precisionskraven (Sporrong et al., 1998). Psykisk stress är ännu en faktor som generellt påverkar muskelspänningen i skulderregionen (Lundberg et al., 1999). Denna typ av psykogent påslag tycks vara störst i skulderregionen samt viss muskulatur i käkarna och mimisk muskulatur i ansiktet. För en översikt av detta problemområde se (Waersted, 2000).

Ytterligare en faktor som ökar den interna exponeringen är den kraftökning som den toniska vibrationsreflexen utlöser vid vibrationsexponering (Radwin & Armstrong, 1987; Gurrum et al., 1993).

3.2 Yttryck

Handflatorna är de kroppsytor som i särklass mest är i kontakt med verktyg och andra föremål. Därför är det intressant att studera hur överförda krafter fördelas över kontaktytorna, vilka yttryck som uppstår och de biologiska effekterna därav (se 4.1.1 och 4.2.1). En allmän princip är att trycket skall fördelas jämt över en så stor yta som möjligt för att undvika lokala överbelastningar. Försök att mäta fördelning och amplitud har gjorts med små mätgivare placerade mellan hand och föremål/verktyg (Fellows & Freivalds, 1991; Gurram et al., 1995; Hall, 1997; Björing et al., 2000). Mera om denna mätteknik i 8.1.1. Vid grepp av cylindrar fann man i samtliga refererade undersökningar att trycket var störst på fingerfalangerna vilket vid ökande cylinderdiameter koncentrerades till de yttersta falangerna. Vid verktygsanvändning låg trycknivåerna i allmänhet under 250 kPa men vid användning av plåtsax uppnåddes över 1000 kPa på mellanfalangerna på lång- och pekfingret (Hall, 1997). Principen att fördela trycket jämt över stora ytor kommer stundtals i konflikt med funktionella krav (Björing et al., 2000). Mera detaljer om yttryck ges i 4.1.1.1, 4.2.1 och 6.1.6.

3.3 Vibrationer och stötar

En mycket viktig exponeringsfaktor vid handintensivt arbete utgör vibrationer, i första hand från roterande, oscillerande och slående handhållna maskiner. Ett viktigt specialfall utgörs av de ryck som uppkommer med mutter- och skruvdragare när skruven/muttern fastnar i slutmomentet av operationen. Kunskapsläget inom detta område har nyligen sammanfattats i två litteraturöversikter, en avseende tekniska aspekter (Burström et al., 2000) och en avseende medicinska aspekter (Gemne & Lundström, 2000). Dessa utgör en uppdatering av en tidigare sammanställning (Gemne et al., 1992).

I detta avsnitt ges en kortfattad översikt av de tekniska aspekterna medan de medicinska effekterna behandlas i 4.1.5 och 4.2.1.

3.3.1 Frekvens och amplitud

Vibrationer kan i princip indelas tre typer: periodiska, av bruskaraktär eller av stötakaraktär. I praktiken förekommande vibrationer utgör oftast en blandning av dessa tre. Periodiska vibrationer består av en eller flera sammansatta sinustoner som vanligen är multipler av varvtalet i en roterande maskin. Brusvibrationer är av slumpkaraktär men går ändå oftast att karaktärisera med statistiska mått och med en viss frekvensfördelning av sinuskomponenter i ett kontinuerligt spektrum. Fördelningen över frekvenser är viktig för riskbedömningen och anges oftast per tersband där ett tersband karaktäriseras av att förhållandet mellan bandets övre och nedre gränzfrequensen är 5/4. En tidsbegränsad stöt kan rent teoretiskt också delas upp i frekvenskomponenter men den intuitiva förståelsen av en sådan

uppdelning är inte lika närliggande och relevansen för riskbedömning är också under debatt.

Amplitudmättet för vibration är acceleration/retardation, med enheten m/s^2 . Anledningen till detta är att det är först vid acceleration/retardation som några krafter uppkommer som inverkar på människan. Normalt anges medelvärden i form av RMS-(Root Mean Square, roten ur summan av kvadraterna, effektivvärde på svenska) värden. En annan aspekt på vibrationsmått är att de har vektorkaraktär i rymden och dess riktning i förhållande till hand/arm är också av vikt för dess effekter. Därför mätes vibrationer på ett verktyg normalt i tre vinkelräta riktningar (x, y, z) och ibland sammanvägs de tre komponenterna till en summavektor genom kvadratisk summering enligt ovan. Mera om mätning i avsnitt 8.1.4.

I ISO 5349 finns också en frekvensvägningskurva som är baserad på den relativa sensoriska känsligheten för olika frekvenser. Tanken med denna är att ge ett amplitudmått som är mera anpassat människans känslighet. Detta är dock mycket omdebatterat eftersom det inte är direkt baserat på risken t. ex. för vita fingrar (Gemne et al., 1992; Burström et al., 2000). Emellertid är det vanligt förekommande med frekvensvägda amplitudvärden inte minst från så kallade direktvisande mätinstrument.

ISO 5349 innehåller också en faktor för exponeringstidsnormering till fyra timmar per dag som sammanhänger med riskbedömning. Är den dagliga exponeringen t. ex. mindre än fyra timmar skall ett uppmätt värde reduceras enligt en speciell formel för att kunna jämföras med fyratimmarsnormen.

En praktiker ställs ofta inför valet mellan maskiner från olika tillverkare. Härvid kan man ha god hjälp av den databank som byggts upp vid Arbetslivsinstitutet, Umeå över vibrationsdata för en rad på marknaden förekommande verktyg. Denna databank är tillgänglig över Internet (url: <http://umetech.niwl.se>) och uppdateras fortlöpande.

3.3.2 Överföring till hand/arm

Vibrationer överförs till hand/arm via kontaktytan mellan handen och verktyget. Denna överföring påverkas av en lång rad faktorer varav de viktigaste är gripkraften kring verktygets handtag, matningskraften (den kraft med vilken operatören trycker verktyget mot arbetsstycket) samt materialet i och konstruktionen av verktygets handtag (Gemne et al., 1992; Burström et al., 2000). Vibrationsdämpning kan erhållas genom att byta handtag till ett speciellt vibrationsdämpat dito (Andersson, 1990).

Vibrationer har effekter lokalt i handen men fortplantar sig även upp i armen dock med successiv dämpning på grund av energiupptagning i vävnaderna (Burström & Lundström, 1994; Burström, 1996). Generellt kan sägas att dämpningen ökar med frekvensen så att t. ex. vid 500 Hz endast en bråkdel av energin når bortom knognivå.

3.4 Värme, kyla

Hand/arm utsätts för termisk exponering beroende på omgivande klimat på samma sätt som övriga kroppen. För en översikt över grundläggande begrepp gällande klimatexponering se Elnäs et al. (1985) (se också 4.1.1.3.). Specifika förhållanden för handen är att isolerande handskar i vissa fall inte kan användas på grund av dessa skulle begränsa handens motoriska funktion allt för mycket. Andra speciella förhållanden att beakta är att motorn i vissa handhållna maskiner kan generera besvärande värme. När det gäller pneumatiska verktyg kan även motsatta problemet uppkomma genom att expanderande tryckluft ger en kylning av verktyget.

3.5 Vatten, olja och andra främmande substanser

Exponering för vätskor och andra främmande substanser är viktiga att beakta vid handintensivt arbete. Dels kan dessa ha skadlig inverkan direkt på huden men även genom att via huden ta sig in i cirkulationssystemet (se 4.1.1.2). Vidare påverkas hand/verktygsfunktionen genom att olika ämnen ger förändringar i friktionen och kraftöverföringen (se 6.1.3).

3.6 Psykosociala faktorer

Att beakta psykosociala faktorer i detta sammanhang kan tyckas svårförståeligt. Det finns emellertid idag tämligen starka belägg för att den psykosociala arbetsmiljön spelar en stor roll för hälsotillståndet i allmänhet och inte minst upplevda belastningsbesvär där psykosociala och fysiska faktorer samverkar i ett komplext samspel (se t. ex. Jeding et al. (1999)). En etablerad modell för analys den psykosociala miljön är krav, kontroll och stöd-modellen (Karasek & Theorell, 1990). Kraven utgörs av omgivningens, arbetsgivarens och inte minst kundens krav, på den anställde. Med kontroll menas i detta sammanhang den anställdes förmåga att påverka sin situation på arbetet i stort och smått som t. ex. fördelningen av arbetet över dagen och möjligheter att påverka förändringar på arbetsplatsen. Med stöd avses det stöd den anställde får i arbetet från sina arbetskamrater och från arbetsledningen. En person med ett arbete som karaktäriseras av låg kontroll, lågt stöd men höga krav löper generellt större risker att få en dålig hälsa, inte minst när det gäller muskuloskeletala besvär (Wiholm & Arnetz, 1997; Hagen et al., 1998) (se också 5.1.1.).

En alternativ modell är den så kallade effort-reward modellen. Om en hög ansträngning i arbetet inte resulterar i en adekvat belöning (i vid bemärkelse) kan detta få konsekvenser för hälsan (Siegrist, 1996).

Det finns indikationer på att de psykosociala faktorerna, i analogi med vad som sades ovan om muskelspänning och stress, spelar en viktigare roll för besvär i bålen än för mera perifera lokalisationer i de övre extremiteterna (Toomingas et al., 1997).

4. Effekter på människan

4.1 Allmänt om påverkan på olika organ och funktioner

4.1.1 Hud

Hudpåverkan av handintensivt arbete sker nästan uteslutande på handflatan och fingrarnas insidor som ett resultat av kontakten med verktyg och grepp av andra föremål. Påverkan kan indelas i mekanisk, termisk och kemisk påverkan.

4.1.1.1 Mekanisk påverkan

Den mekaniska påverkan är beroende av riktningen av den yttre kraften. Vid en vinkelrät kraft pressas huden med dess blodkärl ihop vilket leder till att blodcirkulationen stryps. Total strypning av cirkulationen i huden i hand och fingrar uppnås vid en trycknivå av ca 50 kPa (Johansson & Hägg, opubl. data). Detta kan om trycket appliceras under långa tider ge vävnadsdöd. Så långa tider är dock inte aktuella vid manuellt arbete. Däremot ger trycket upphov till smärta när trycket överskrider smärtröskeln. Detta behandlas nedan under 4.2.1.

De krafter som ger mera påtagliga effekter i huden är tangentiella och uppstår på grund av friktionskrafter när ett föremål trycks mot huden och samtidigt rör sig längs huden (Sulzberger et al., 1966). I praktiken handlar det oftast om en repetitivt fram och återgående rörelse. Den omedelbara effekten av en sådan exponering är en hudrodnad. Om exponeringen fortsätter och är tillräckligt stor separerar hornlagret från överhuden och den uppkomna håligheten fylls med vävnadsvätska. En blåsa uppstår. Tiden för detta kan variera från någon minut upp till en halvtimme beroende på tryckets storlek, rörelsens hastighet och inte minst friktionsförhållandena (Sulzberger et al., 1966). Friktionen är minst vid helt torr hud medan den ökar med fukt (t. ex. svett) för att sedan minska igen om huden blir mycket blöt. Se också avsnittet om friktion i 6.1.3.

Denna typ av blåsor uppkommer nästan enbart i handflatan, på fingrarnas inner-sidor samt på fotsulorna. Anledningen till detta anses vara att hornlagret på andra ställen på kroppen inte är tjockt nog utan slits snabbt ner och det för blåsbildningen nödvändiga ”taket” försvinner (Sulzberger et al., 1966). I stället uppstår skador av typen skrubb- och skavsår.

Vid långvarig låg exponering reagerar huden med ökad nygenerering av celler och hornlagret blir tjockare och valkar uppstår (Akers, 1985).

4.1.1.2 Kemisk påverkan

Vid manuellt arbete kan huden exponeras för ämnen som kan skada huden eller ge upphov till allergiska reaktioner. Det skulle föra för långt att i detta sammanhang ge en ingående beskrivning av detta problemområde. För en sådan hänvisas läsaren t. ex. till Fregert et al. (1990); Menné och Maibach (1991). Ett av de vanligaste problemen skall dock beröras kortfattat. Nickel är en metall som förekommer i vissa stållegeringar. Ämnet ger hos vissa människor upphov till allergier och eksem. Kontaktallergier i samband med användandet av nickel-

haltiga verktyg är därför ett stort problem (Lidén & Rändell, 1997). Vid en undersökning av ett stort antal verktyg på den svenska marknaden befanns att 27 procent av verktygen i undersökningen innehöll och avgav nickel i en sådan omfattning att de medförde en risk för kontaktallergi vid normal hantering (Lidén & Rändell, 1997). Det finns numera ett enkelt test, så kallat DMG-test, som kan köpas på apotek med vilket man lätt kan testa föremål och verktyg i omgivningen för eventuellt nickelnehåll.

Ytterligare en aspekt är att vissa ämnen, t. ex. lösningsmedel, inte är direkt skadliga för huden men tas upp i kroppen via huden och när de sedan cirkuleras i kroppen ger upphov till olika toxiska effekter (Grandjean, 1990; Zatz, 1993).

4.1.1.3 Termisk påverkan

Temperaturtrösklarna för värmesmärta och brännskada vid långtidsexponering sammanfaller vid ca 43° C (Siekman, 1989). Tröskeln för upplevelse av köldsmärta ligger på 15° C, känselbortfall 7° C samt förfrysning 0° C (Geng et al., 2000). Det skall dock betonas att detta gäller temperaturer i huden under lång tid. Vid beröring av ett varmt eller kallt föremål ändras inte temperaturen i huden momentant utan stiger respektive sjunker exponentiellt med en tidskonstant som är starkt beroende främst föremålets material och ytstruktur. Högre respektive lägre temperaturer kan därför accepteras under korta tider. Metaller som har hög värmeledningsförmåga ger snabbare skadlig påverkan än t. ex. trä med låg värmeledningsförmåga. För referensvärden för olika material och kontakttider se Siekman (1990); Holmér och Geng (2000).

4.1.2 Muskler

Muskeltrötthet är en generell företeelse som kan förekomma vid alla typer muskulärt arbete. Det skulle i detta sammanhang föra för långt att penetrera detta stora ämne. För en djupare beskrivning hänvisas till Åstrand och Rodahl (1977); Åstrand (1990). Här skall bara tas upp några aspekter relaterade till statisk muskelbelastning som är vanligt förekommande vid handintensivt arbete. Statisk belastning uppkommer vid ett långvarigt handgrepp eller vid arbete med lyftade armar. Tiden till total utmattning på olika belastningsnivåer är tämligen väl känd genom t. ex. Rohmerts arbeten (Rohmert, 1968). Denne undersökte dock bara uthålligheter upp till 10 minuter. Dessa mätningar kompletterades senare av Björkstén och Jonsson som utsträckte studierna till en timma och dessutom studerade olika intermittenta belastningssituationer (Björkstén & Jonsson, 1977). Baserat på denna typ av undersökningar uppställdes förslag till gränsvärden för statisk belastning (2-5 % MVC (Maximal Voluntary Contraction)) för att förebygga muskulära besvär (Jonsson, 1982). Ett sådant gränsvärdestänkande för statisk belastning får idag anses föråldrat (se 4.2.6). Denna typ av modeller är dock fortfarande relevanta för prediktion av uthållighet vid en enstaka statisk eller intermittent belastning. Gränsvärden för upprepade belastningar i yrkeslivet måste dock väljas betydligt lägre (se 5.2, 6.1 och 6.2).

Lätta akuta muskelbesvär relaterade till manuellt arbete är tämligen vanliga, speciellt när man utför ett ovant arbete första gången och går under benämningen träningsvärk. Dessa är tämligen harmlösa och varar högst några dagar. Mera ihållande besvär är nästan uteslutande lokaliserade till skulderpartiet och har många olika benämningar (myalgi, myofasciellt syndrom, tension neck) vilket speglar den osäkerhet som fortfarande råder när det gäller dess patogenes. Detta område utvecklas mera nedan under 4.2.6.

Muskelfiberförändringar har kunnat påvisas hos personer med tennisarmbåge (se nedan) men det är oklart huruvida dessa ger några symptom (Ljung et al., 1999). Samma förhållande gäller även för vibrationsexponering (Dahlin & Lundborg, 1994).

I detta sammanhang bör också påpekas att det muskuloskeletala systemet även påverkas positivt i form av ökad muskelstyrka (större muskelmassa = grövre muskelfibrer), bättre lokal cirkulation etc. genom de träningseffekter som uppkommer även vid rimligt avvägt fysiskt yrkesarbete (Åstrand & Rodahl, 1977).

4.1.3 Senor

När det gäller besvär i de övre extremiteterna relaterade till manuellt arbete är sannolikt senorna de vanligaste enskilda vävnadslokaliseringarna. Besvärerna utlöses av inflammation i själva senan (tendinit), senskidan (tenosynovit) eller senfästet (vanligast vid armbågen, epicondylit) (Kurppa et al., 1979a; 1979b). En sannolik orsak till dessa inflammationer är sannolikt repetitiv mekanisk överbelastning i kombination med otillräcklig vaskularisering (Hagberg et al., 1995).

Ligament är passiva strukturer av samma typ som senor och håller samman leder och andra organ. Även dessa strukturer kan överbelastas och generera besvär men litteraturen som beskriver detta i relation till yrkesarbete för de övre extremiteterna är i det närmaste obefintlig.

4.1.4 Leder

Det finns få belägg för att ledbesvär i de övre extremiteterna skulle vara relaterade till manuellt yrkesarbete. Dock finns det visst belägg för att mycket långvarig ensidig yrkesbelastning av handen ger deformationer i fingerlederna (Hadler et al., 1978). I nyligen publicerad studie antyds också samband mellan hög gripkraft och ledförändringar (osteoartrit) i de basala fingerlederna (Chaisson et al., 1999). Man har också kunnat påvisa att tungt manuellt arbete är en signifikant riskfaktor för osteoarthros is leden mellan nyckelbenet och skuldran (Stenlund et al., 1992).

4.1.5 Nerver

Olika typer av nervpåverkan i de övre extremiteterna är vanliga åkommor utlösta av handintensivt arbete. Detta gäller såväl motoriska nervbanor som aktiverar muskulatur (efferenter) som sensoriska nervbanor som återför olika typer av

sensorisk information till centrala nervsystemet (afferenter). Påverkan kan ske genom inklämning i flera trånga passager (se nedan), vibrationspåverkan (se 4.2.1) eller genom externt tryck från olämpligt utformade redskap och verktyg. För en översikt av olika yrkesrelaterade nervskador se Feldman et al. (1983).

Vid vibrationsexponering uppkommer störningar i nervfunktionen som ger sig till känna genom känselbortfall, domningar, reducerad muskelkraft och fumlighet (Dahlin & Lundborg, 1994).

Ett annan neurologiskt yrkesrelaterat tillstånd är kramp i hand/underarm. Uppkomstmekanismerna är inte klarlagda men extrem upprepning av mycket kortcykliga rörelser anses bidra till uppkomsten (Hochberg et al., 1990).

4.1.6 Cirkulation

De trötthetseffekter som kortfattat diskuterades i 4.1.2 är till avsevärd del ett resultat av att muskelcirkulationen stryps genom den intramuskulära tryckökning som uppkommer vid statisk belastning. Effekterna börjar bli märkbara vid ca 15 %MVC (Järvholm et al., 1988) och vid ca 40 %MVC har cirkulationen totalt upphört (Stephens & Taylor, 1972). En annan viktig cirkulatorisk effekt av statiskt muskelarbete är den kontinuerliga blodtrycksökning som sker vilken blir allt snabbare med ökande belastningsnivå (Kilbom, 1976).

Lokal skadlig cirkulationspåverkan förekommer i fingrarna som resultat av vibrationsexponering (vita fingrar) samt i handen när den används som används som hammare (hypothenar hammer syndrome). Dessa tillstånd behandlas närmare nedan i 4.2.1.

4.2 Specifik påverkan på olika delar av de övre extremiteterna

Nedan följer en genomgång av de vanligaste skadorna på övre extremiteterna relaterade till handintensivt arbete. För en mera ingående medicinsk beskrivning med diagnoskriterier etc. hänvisas till Sluiter et al. (1999). Detta gäller även den kategori av ospecifika smärttillstånd i övre extremiteterna som kan vara relaterade till handintensivt arbete.

Rent allmänt kan man konstatera att skadlig påverkan i huvudsak är lokaliserad till kontaktytor med omgivningen (verktyg och föremål) samt regionerna i och kring lederna där muskelsenor fäster och krafter (i senor) och information (i nerver) skall transmittas över en flexibel led (hand och axelled) med stort rörelseomfång. Ett undantag från denna regel är skuldran där utbredda muskelproblem även är vanliga.

4.2.1 Hand och fingrar

Händer och fingrar intar en särställning genom att de i de flesta fall utgör kontaktytan med verktyg eller hanterade föremål. Därför är hudproblem tämligen unika för händer och fingrar vilket redan har behandlats ovan i 4.1.1.

Det dominerande problemet i fingrarna får ”vita fingrar syndromet” (Raynauds fenomen) anses vara. Vita fingrar uppkommer som ett resultat av vibrationsexponering, vanligen från något motordrivet handhållet verktyg. De akuta problemen uppkommer dock inte direkt i exponeringssituationen utan oftast vid andra tidpunkter som ett resultat av lätt lokal nedkylning vid t. ex. friluftaktiviteter. Cirkulationen i huden upphör tillfälligt i drabbade fingrar och känseln försvinner. För en mera ingående kunskapsöversikter se Ekenvall et al. (1991); Gemne et al. (1992); Gemne et al. (1995).

Muskulär påverkan av handintensivt arbete (huvudsakligen skrivmaskinsarbete) har kunnat påvisas i muskelprover (biopsier) från små handmuskler (första dorsala interosusmuskeln) (Dennett & Fry, 1988). Det är dock osäkert om dessa fynd är relaterade till symptom eller funktion.

Ett fingerskada som uppkommer genom långvarigt tryck mot fingrets insida har fått beteckningen ”trigger-finger” och är en seninflammation av fingrets böjarsena (Quinnell, 1980; Gorsche et al., 1998). ”Trigger-finger” syftar på att senan får ojämnheter som gör att den fastnar i senskidan i vissa lägen för att sedan plötsligt släppa vid tillräcklig aktivering av flexormuskulaturen.

”Hypothenar hammer syndrome” är en cirkulationsinskränkning i artärbågen som går ytligt genom mjukdelarna på handflatans lillfingersida (hypothenar regionen) (Little & Ferguson, 1972). Denna artärgren av arteria ulnaris försörjer främst fingrarna vilka drabbas av försämrad cirkulation. Syndromet är som namnet antyder relaterat till upprepade slag med handen. Detta förekommer frekvent t. ex. inom bilmontering (Fransson-Hall et al., 1994).

Om yttrycket mot fingrarna eller handflatan blir för högt uppkommer smärta. Tröskelvärdet för smärta, PPT=Pressure Pain Threshold (lågt värde = hög känslighet), är tämligen väl dokumenterat. Denna tröskel uppvisar stora inter-individuella variationer men är av storleksordningen 500 kPa för kvinnor och 750 kPa för män (se även 6.1.6 angående gränser för tryck). Känsligast är thenarområdet (tummuskulaturen) följt av handflatan och fingrarna. För detaljer se Fransson-Hall och Kilbom (1993). Dessa subjektiva gränser påverkas också av samtidigt arbete (Paalasmaa et al., 1991). Jämförelse mellan subjektivt upplevt lokalt tryck och obehag och objektivt mätt tryck ger endast måttlig överensstämmelse även om korrelationen i medeltal för hela handen är god (Bishu et al., 1993a; Hall, 1997).

Nyligen har nivån för upplevelse av obehag uppskattats till att ligga vid ca 40 procent av PPT i handflatan och på fingrarna medan obehagsnivån för thenarområdet endast var 22 procent av PPT (Johansson et al., 1999). Johansson och medarbetare har också nyligen undersökt hur blodcirkulationen i huden i hand och fingrar påverkas av lokalt tryck. Härvid har man funnit att cirkulationen avtar i stort sett linjärt med ökande tryck till total ocklusion (stängda kapillärer) vid ca 50 kPa (ännu opublicerade data).

Dessa tryckvärden skall relateras till den exponering som uppstår i yrkeslivet som normalt ligger under 250 kPa men som i extremfall kan uppgå till 1000 kPa (se 3.2).

4.2.2 Handled

Karpaltunnelsyndrom (CTS) torde vara den mest uppmärksammade yrkesrelaterade diagnosen när det gäller handleden och är därför ett av de mest undersökta besvärsområdena. Syndromet som i första hand yttrar sig i domningar och kraftlöshet i händerna uppstår på grund av en tryckhöjning i karpaltunneln som stör funktionen i medianusnerven som löper genom tunneln (Gelberman et al., 1981). Mekanismerna bakom tryckhöjningen är inte helt fastställda men en möjlig faktor är yttre tryck mot handflatan (Cobb et al., 1995). Andra är tryckhöjning på grund av extrema handvinklar (Werner et al., 1997) och höga krafter i fingerböjar-senorerna (Rempel et al., 1997a). Vibrationsexponering kan förorsaka ökad kraftutveckling i senorna genom tonisk vibrationsreflex och även ha en direkt nedbrytande effekt på nerven i karpaltunneln. I en nyligen publicerad översikt gör Viikari-Juntura och Silverstein en ingående genomgång av kunskapsläget inom detta område (Viikari-Juntura & Silverstein, 1999).

I en laboratoriestudie av motorisk kapacitet vid ett enkelt fingergreppstest kunde man påvisa att friska personer presterade 25-82 procent bättre vad det gäller hastighet och precision jämfört med personer med diagnosen CTS (Jeng et al., 1994). I en liknande studie av förmågan att känna av små ojämnheter på en yta kunde man visa att friska personer hade en tröskel på 0.08 mm medan motsvarande tröskelvärde för CTS patienter var 0.20 mm (Radwin et al., 1991). I en nyligen genomförd studie visas också att personer med CTS har sämre kontroll av gripkraften och därför anbringar onödigt stora krafter vilket ytterligare kan förvärra besvären (Lowe & Freivalds, 1999).

Tendinit i de senor som löper genom handleden är vanliga yrkesrelaterade åkommor och då speciellt två specifika senor som aktiverar tummen (abductor pollicis longus och extensor pollicis brevis) som har fått en egen beteckning, deQuervains tendinit (Hagberg et al., 1995). En handåkomma som också möjligen är arbetsrelaterad är Dupuytrens kontraktur vilket innebär en nedbrytning av palmarismuskelns sena i handflatan (Hagberg et al., 1995). Sambanden är dock osäkra. Besvär från handleden av ospecifik art har också rapporterats vid handintensivt arbete (Byström et al., 1995; Zetterberg & Öfverholm, 1999).

4.2.3 Underarm

Trots att större delen av den kraftgenerering som krävs för såväl handgrepp som handledsböjning/stabilisering sker i underarmen är denna tämligen fri från skadlig påverkan. Muskelförändringar har kunnat påvisas hos patienter med tennisarmbåge men det är osäkert om dessa förändringar ger några symptom (Ljung et al., 1999). Kliniska tecken på muskelpåverkan i underarmen i form av ömhet har också rapporterats (Ranney, 1993).

Nervinklämningar kan dock förekomma i gränsområdet mot armbågen. Se efterföljande avsnitt.

4.2.4 Armbåge

Många arbetsrelaterade besvär är lokaliserade till armbågsregionen men beror oftast inte på överbelastning av armbågsleden. Den vanligaste orsaken till dessa är en inflammation i underarmsmuskulaturens senfästen på benknölarne i armbågen (epicondylerna). Dessa inflammationer är vanligast förekommande på utsidan (lateral epicondylit, ”tennisarmbåge”) (Coonrad & Hooper, 1973). De senor som engageras på utsidan är huvudsakligen handledssträckarna (extensor carpi ulnaris, och extensor carpi radialis) och fingersträckarna (extensor digitorum). De yttre belastningsförhållanden som förorsakar tennisarmbåge är alltså relaterade till handledens och fingrarnas rörelse och stabilisering. Den traditionella förklaringsmodellen betonar dynamiska handledsextensioner som den utlösande faktorn (Goldie, 1964; Coonrad & Hooper, 1973). Senare års forskning har även fört fram handledens stabilisering vid griparbete som en möjlig utlösande faktor (Snijders et al., 1987; Hägg & Milerad, 1997; Hägg, 1997). Den överrask som finns dokumenterad för tennisarmbåge inom racketsporter (Priest et al., 1980; Kitai et al., 1986) skulle i så fall kanske lika mycket bero på kraftgreppet om rackethandtaget som de dynamiska handledsextensionerna.

Medianusnerven kan i gränsområdet mellan armbåge och underarm drabbas av inklämning som påverkar denna nervs funktion, s. k. pronatorsyndrom på grund av att pronator teres muskeln oftast är aktiverad (Mysiew & Colasis, 1991).

4.2.5 Överarm

I likhet med underarmen uppvisar överarmen jämförelsevis få besvär som primärt utlöses från denna region. Träningsvärk kan förekomma men är snabbt övergående. Dessutom är det vanligt att besvär utlösta från skuldra/axel ger utstrålade värk i armen (Feinstein et al., 1954; Haegerstam, 1981; Madeleine et al., 1998).

4.2.6 Axel/Skuldra

I axelleden orsakas de flesta besvären av tendiniter. Mest drabbad är supraspinatussenan som medverkar till att lyfta armen utåt (abduktion) men flera av senorna ingående i den s. k. rotatorkuffen som håller överarmen i läge kan drabbas (Hagberg et al., 1995).

Till skillnad från armen så är muskelvärk, och då även kronisk sådan, vanligt förekommande i skulderpartiet, främst i den stora kappmuskeln (m. trapezius) övre del. Denna del av muskeln har den huvudsakliga uppgiften att stabilisera skulderbladet och därmed fundamentet för axelleden och i förlängningen hela armen om denna inte avlastas mot/vid någon yttre fast punkt mera distalt. Som redan nämnts i 4.1.2 har dessa besvär ett flertal olika benämningar (myalgi, myofasciellt syndrom, tension neck). Flera hypoteser har framkastats för att förklara vilka strukturer i muskeln som genererar dessa problem. Vissa hävdar att smärtan härrör från muskelns bindvävsyta (fascia) där vissa punkter (”trigger points”) är ömmare än andra (Travell & Simons, 1983). En annan hypotes utgår

från att vissa specifika muskelfibrer visar tecken på överbelastning ("askungehypotesen" (Hägg, 1991; 2000). Dessa fibrer är enligt hypotesen alltid aktiverade så länge någon aktivitet finns i muskeln. En observation som stöder denna hypotes är att tidsförhållandena, speciellt förekomst av pauser och mikropaus, är viktigare än belastningens storlek för besvärens uppkomst (Veiersted et al., 1993). Klart är att förutom de fysiska belastningsförhållandena, psykiska faktorer spelar en viktig roll för besvärens uppkomst, dels såtillvida att en psykisk anspänning ger en ökad lokal muskelaktivering utöver vad de biomekaniska förhållandena kräver (Waersted, 2000), men sannolikt även i centrala nervsystemet när det gäller modulering/inhibering av perifera smärtimpulser (Sheater-Reid & Cohen, 1998; Lidbeck, 1999). För en mera ingående inblick i detta stora ämne hänvisas till Mense (1993).

Ytterligare ett förhållande som diskuterats i samband med muskulära besvär i skuldran är den tryckökning som generellt uppstår i muskeln vid en kontraktion (se 4.1.6). Denna effekt är speciellt påtaglig i supraspinatusmuskeln och övriga muskler i rotatorkuffen på grund av dessa muskler har ett så inklämt läge (Järvholm et al., 1991). Baserat på cirkulationsbegränsningar har vinkelgränser för skulderabduktion och flexion utarbetats (Palmerud et al., 2000).

5. Riskfaktorer, gränsvärden och standarder

I detta kapitel kommer endast risker för muskuloskeletal besvär och skador att behandlas. För övriga typer av påverkan hänvisas till litteraturreferenser i respektive avsnitt i kapitel 3 och 4.

5.1 Riskfaktorer

Ett mycket stort antal studier av olika karaktär har genomförts i avsikt att identifiera riskfaktorer för muskuloskeletal besvär i arbetslivet. Detta avsnitt baseras huvudsakligen på tre nyligen publicerade vetenskapliga översikter (Bernard, 1997; Buckle & Devereux, 1999; Sluiter et al., 1999).

En kritisk genomgång av tillgänglig epidemiologisk litteratur vad det gäller riskfaktorer i arbetet har genomförts av NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health) i USA (Bernard, 1997). Man har härvid fokuserat på huvudfaktorerna repetitiva rörelser, kraft, kroppsställning, och i förekommande fall vibrationer. Huvudresultaten sammanfattas i tabell 1.

På uppdrag av European Agency for Safety and Health at Work utförde Buckle och Devereux en genomgång som vad det gäller epidemiologiskt underlag baserade sig på NIOSH-undersökningen. I slutrapporten kompletterades underlaget med bedömningar av en internationell expertpanel (Buckle & Devereux, 1999). Ytterligare en stor genomgång genomfördes av en holländsk forskargrupp på uppdrag av det svenska SALTSA-projektet (Arbetslivsinstitutet, LO, TCO och SACO i samverkan). I denna tog man också utgångspunkt i NIOSH-dokumentet och kompletterade med nypublicerat material (Sluiter et al., 1999). Man finner i alla undersökningarna att det finns stöd för de riskfaktorer som sammanfattas i tabell 1 med smärre variationer och kommentarer. Dock baserar de sig på delvis samma undersökningar.

Risikfaktorn skuldra/kroppsställning avser överarmsabduktion eller flexion $>60^\circ$ under längre tid. Armbågsbesvär bedöms i detta sammanhang som liktydigt med epicondylit. Det bör dock påpekas denna åkomma till största delen är relaterad till belastningar på handledens muskulatur (se 2.1.4 och 4.2.4). Riskfaktorerna relaterar därför till handledens belastning. Under hand/handled avser kroppsställning handledsdeviation och flexion/extension.

Många av dessa faktorer blir i översikter av detta slag ospecifika med allmänna definitioner eftersom exponeringen i de underliggande undersökningarna är av mycket varierande karaktär och uppmätta/klassificerade med olika metodik och indelningsgrunder. Ett exempel är kraftexponering på hand/arm. I vissa undersökningar uppskattas kraftutvecklingen utifrån vikten på hanterade föremål. Kraftutvecklingen i ett handgrepp är dock måttligt korrelerat med det hanterade föremålets vikt. Funktionella krav är här helt avgörande för kraftens storlek.

Tabell 1. Sammanställning av kunskapsläget gällande muskuloskeletala besvär och riskfaktorer i arbetslivet (Bernard, 1997)

Kroppsdel <i>Typ av riskfaktor</i>	Starka samband	Samband	Otillräckliga samband	Frånvaro av samband
Nacke och nacke/skuldra				
<i>Repetitiva rörelser</i>		x		
<i>Kraft</i>		x		
<i>Kroppsställning*)</i>	x			
<i>Vibration</i>			x	
Skuldra				
<i>Repetitiva rörelser</i>		x		
<i>Kraft</i>			x	
<i>Kroppsställning*)</i>		x		
<i>Vibration</i>			x	
Armbåge (epicondylit)				
<i>Repetitiva rörelse*)</i>			x	
<i>Kraft*)</i>		x		
<i>Kroppsställning*)</i>			x	
<i>Kombination</i>	x			
Hand/handled				
Karpaltunnelsyndrom				
<i>Repetitiva rörelser</i>		x		
<i>Kraft</i>		x		
<i>Kroppsställning*)</i>			x	
<i>Vibration</i>		x		
<i>Kombination</i>	x			
Tendinit				
<i>Repetitiva rörelser</i>		x		
<i>Kraft</i>		x		
<i>Kroppsställning*)</i>		x		
<i>Kombination</i>	x			
HAVS (Hand/arm Vibration Syndrome)				
<i>Vibration</i>	x			

*) Se kommentarer i texten

Detta exempel visar på bristfälligheten i tillgängliga epidemiologiska undersökningar. De största bristerna ligger sannolikt just på mätning av exponering där många undersökningar grundar sig på mycket grovt beskrivna exponeringsnivåer. Det faktum att vissa faktorer i tabell 1 uppvisar ”otillräckliga samband” behöver därför inte alls innebära att denna faktor inte med en mera precis exponeringsbeskrivning skulle kunna uppvisa starkare samband. En viktig uppgift för experimentell och mekanistisk forskning är att generera uppslag till mera specifika exponeringstyper att mäta i epidemiologiska undersökningar.

Ytterligare ett problem när man skall sammanställa resultat från flera epidemiologiska undersökningar är att definitionen av besvär skiljer sig åt i olika studier. Ett försök att standardisera detta har gjorts i SALTSA-rapporten refererad ovan (Sluiter et al., 1999).

Vid en bedömning av en specifik arbetsituation kan man vanligen karaktärisera och kanske också mäta exponeringen mera precist. Med hjälp av mera allmänt formulerade riskfaktorer som i tabell 1 i kombination med detaljerad kunskap om arbetsförhållandena och andra typer av kunskaper redovisade i detta arbete kan man ofta göra rimligt trovärdiga riskbedömningar och även vidtaga adekvata preventiva åtgärder. Exempel på detta ges i kapitel 6 och 7.

5.1.1 Psykosociala faktorer

Det finns i ovan nämnda kunskapsöversikter konsensus om att psykosociala faktorer (se 3.6) har betydelse för belastningsbesvär i övre extremiteterna. Man konstaterar också att påvisade effekter är mer väldokumenterade i skuldra/nacke jämfört med mera perifera lokaliseringar. Som förklaring till att så skulle vara fallet föreslås att skuldra/nackeproblematiken är mest studerad i skandinaviska undersökningar där man också mest uppmärksammat denna typ av exponering (Bernard, 1997). Denna förklaring kan dock ifrågasättas eftersom det finns undersökningar av både skuldra/nacke och hand/arm med samma metodikansatser som pekar på skillnader i effekt (Toomingas et al., 1997). Det finns dessutom tecken på att psykogent utlösta muskelspänningar blir relativt större i bålen än i extremiteterna (Wærsted & Westgaard, 1996).

5.2 Gränsvärden

Som framgår av föregående avsnitt och annan dokumentation i detta arbete finns det idag tämligen god kvalitativ kunskap om riskfaktorer och motsvarande någorlunda trovärdiga skademekanismer. När det sedan gäller att sätta upp säkra kvantitativa gränser för dessa riskfaktorer blir det mycket svårare att identifiera vetenskapligt välgrundade gränsvärden. Här skall redovisas några försök att på rent vetenskapliga grunder sätta upp gränsvärden för olika aspekter på handintensivt arbete.

Mital och Kilbom publicerade rekommendationer för handverktygsutformning (Mital & Kilbom, 1992b). De kvantitativa rekommendationerna för mått, vikt och

kraftutveckling finns redovisade under avsnitten 6.1 och 6.2 nedan. Det svenska handverktygsprojektet kom fram till närliggande data (Wikström et al., 1991). För måttrekommendationer är det vetenskapliga underlaget gott medan det är sämre för kraft och viktgränser. Den senare rapporten gav också rekommendationer för ytryck som sannolikt bör modifieras något enligt 6.1.6 nedan.

Winkel och Westgaard gav rekommendationer för belastning på skuldra/nacke (Winkel & Westgaard, 1992). Den enda kvantitativa gräns som gavs gällde monoton belastning på låg nivå som bör begränsas till mindre än fyra timmar.

En genomgång av litteraturen gällande repetitivt arbete ledde fram till föreslagna gränsvärden enligt följande: skuldra 2.5/min., arm och hand 10/min. samt fingrar 200/min (Kilbom, 1994a). Det vetenskapliga underlaget för dessa värden befanns dock vara osäkert (Kilbom, 1994b). Ett flertal andra faktorer såsom kraftnivå, kroppsställning, rörelsehastighet och duration påverkade riskbedömningen.

Det sedan länge etablerade vibrationsgränsvärdet ansluter till ISO 5349 (se 3.3.1). Gränsvärdets relevans för prevention är dock omdiskuterad (Burström et al., 2000).

Välgrundade gränsvärden för temperaturen på hanterade föremål finns framtagna enligt närmare redogörelse i 4.1.1.3 (Siekman, 1990; Holmér & Geng, 2000).

Ett flertal standarder, direktiv och föreskrifter med relevans för fysiskt belastning på övre extremiteterna och med varierande juridisk status finns utfärdade från olika länder. Dessa har nyligen utvärderats vetenskapligt av en nordisk expertgrupp (Fallentin et al., 2000). Man finner generellt att det vetenskapliga underlaget för kvantitativa gränsvärden är dåligt och rekommenderar i dagsläget kvalitativa processinriktade regelverk som till exempel den svenska belastningsergonomiföreskriften (ASS, 1998). Man anser också att större företag har mycket att vinna på att utveckla egna skräddarsydda regelsystem. Se Wikström & Hägg (1999) för exempel.

5.3 Standarder

Ett omfattande standardiseringsarbete pågår inom detta område på flera nivåer; internationellt (ISO-standarder), på EU nivå (CEN-standarder) och på svensk nivå (SIS-standarder). Anslutningen till ISO-standarderna är frivillig medan CEN-standarderna är obligatoriska inom EU. Svenska standarder anpassas fortlöpande till CEN-standarder allt eftersom detta arbete framskrider. Arbetet med ISO och CEN standarder är i många fall koordinerat så att dubbelarbete undviks. Dagsaktuell information om läget inom svensk standardiseringsverksamhet fås från Swedish Standards Institute (www.sis.se).

I dagsläget finns det inte så många fastställda standarder med relevans för detta område (med undantag för vibrationsområdet, se nedan) men ett flertal kan komma att antas under de närmaste åren. Dessa kommer sannolikt att få konsekvenser bland annat för maskin och verktygsutformning. Hittills har maskinstandarderna mestadels fokuserat på säkerhetsfrågor medan belastningsergonomiska

aspekter beaktats i liten utsträckning. När det gäller vibrationer finns det dock ett stort antal standarder fastställda. Läsaren hänvisas till Burström et al. (2000) för en detaljerad översikt av dessa.

Nedan följer ett urval av antagna standarder med anknytning till handintensivt arbete:

- SS-EN 1050:1996 Maskinsäkerhet – Principer för riskbedömning.
- EN 614-1:1995 Safety of machinery – Ergonomic design principles – Part 1: Terminology and general principles.
- EN 614-2:2000 Safety of machinery – Ergonomic design principles – Part 2: Interactions between the design of machinery and work tasks.
- EN 60447:1996 Man- machine interface (MMI) – Actuating principles.
- EN 563:1994 Safety of machinery – Temperature of touchable surfaces – Ergonomics data to establish temperature limit values for hot surfaces.

6. Handhållna verktyg och maskiner

Bruket av handverktyg är lika gammalt som människans historia. Vissa forskare har till och med hävdats att det är bruket av verktyg som gör människoarten unik. Även om denna definition inte håller så är det uppenbart att bruket av handverktyg spelat en avgörande roll för människosläktets utveckling. Genom årtusendena har ett mycket stort antal verktyg utvecklats för mer eller mindre specialiserade ändamål. Läsaren hänvisas till exempel till en populärsammanställning av en mångfald av verktyg och manuella tekniker (Diagram-Group, 1984). Möjligen är det så att denna mångfald redan har nått sin kulmen i det moderna västerländska samhället i och med att helt automatiserade maskiner och datorkraft ersätter gamla manuella framställningstekniker. Den nya maskinella tillverkningen är oftast överlägsen ur kostnadssynpunkt men ofta på bekostnad av kvalitet och estetiska värden.

6.1 Allmänt om verktygsutformning

Betecknande för verktygsutvecklingen fram till den industriella revolutionen var att brukarna till stor del själva tillverkade sina verktyg eller stod i nära kontakt med den som gjorde det (bysmed etc.). Utvecklingen skedde alltså med tät återföring av brukarsynpunkter vilket innebär att många traditionella handverktyg fått en god funktionell utformning.

I och med den industriella revolutionen förändrades dessa förhållanden och avståndet mellan brukare och tillverkare ökade i flera hänseenden och den tidigare täta återkopplingen av brukarsynpunkter minskade avsevärt. Detta gäller då inte minst helt nya typer av verktyg som nya material och teknologier kräver/erbjuder. I större företag är det dessutom ofta så att inköp av verktyg görs av inköpare som i alltför stor utsträckning väljer verktyg efter pris och som alltför ofta har dåliga ergonomiska kunskaper och en bristande kontakt med slutanvändarna. Det finns dock exempel på företag som har vidtagit åtgärder för att lösa dessa problem (Forsberg, 1999).

Ett exempel på detta ges i det stora handverktygsprojekt som bedrevs i Sverige under senare delen av 80-talet och första delen av 90-talet. Man gjorde bl. a. ingående fältstudier av hur yrkesverksamma plåtslagare använde plåtsaxar och fann att de i många fall användes på ett sätt som de inte alls var konstruerade för, t. ex. användning med omvänt handgrepp ("bak och fram") (Kilbom et al., 1993). Flera seriösa verktygstillverkare har dock tagit till sig dessa insikter och integrerat en omfattande brukarutvärdering i sina utvecklingsrutiner (Bobjer et al., 1997; Bobjer & Jansson, 1997). Se också avsnitt 8.3.

Den ergonomiska litteraturen har på senare år tillförts ett flertal guidelines och översikter av olika karaktär för val och design av handverktyg (Tichauer & Gage, 1977; Greenberg & Chaffin, 1978; Fraser, 1980; Freivalds, 1987; Wikström et al., 1991; Woodson et al., 1991; Mital & Kilbom, 1992a; 1992b; Sanders &

McCormick, 1993; Radwin & Haney, 1996; Lindqvist, 1997). En del av dessa ser problemet huvudsakligen ur en teknisk/biomekanisk synvinkel och beskriver hur verktyg kan optimeras utgående från människans kapacitet och förutsättningar (Greenberg & Chaffin, 1978; Freivalds, 1987; Woodson et al., 1991). Andra tar i första hand sin utgångspunkt i hur belastningar och arbetsställningar kan optimeras för att undvika belastningsskador och besvär (Fraser, 1980; Mital & Kilbom, 1992a; 1992b; Sanders & McCormick, 1993). En genomgång av problematiken med motordrivna handverktyg, exemplifierade med Atlas Copcos produkter ges i Lindqvist (1997). I några av dessa publikationer försöker man integrera krav på produktivitet och funktion med aspekter på belastningsergonomi och olycksfallsrisker till en helhetsbedömning (Wikström et al., 1991; Radwin & Haney, 1996). En sådan tvärvetenskaplig helhetsbedömning får ses som ett eftersträvarvärt mål för all bedömning av och som utgångspunkt för design av handverktyg. I Wikström et al. (1991) redovisas dessutom en specifik metod (kubmodellen) för bedömning av handverktyg som beskrivs närmare i avsnitt 8.3. Det bör i detta sammanhang påpekas att en optimal ergonomisk utformning av ett verktyg inte innebär någon garanti att detta kan användas utan risk för skador. I en helhetsbedömning måste hela arbetssituationen tas med inkluderande arbetsställningar, arbetstider och arbetsorganisation.

I de arbeten som refereras ovan redovisas en mängd detaljdata och praktiska lösningar. Det skulle föra för långt att redovisa alla dessa här. Nedan följer dock en översikt av några huvudfrågeställningar.

6.1.1 Storlek, form

Frågan vilken storlek och form ett verktyg skall ha sönderfaller i ett antal delfrågeställningar. Förutom de rent funktionsspecifika aspekterna kan man dela in anpassningen till människa i optimal överföring av kraft och moment, komfort, reglering och skaderiskminimering samt möjlighet till afferent återföring av verktygets exakta läge och arbetsförhållanden (t. ex. variationer i varvtal m. m.). I en genomtänkt design signalerar också formen avsett grepp och kraftkrav. För ett verktyg avsett för många olika arbetsuppgifter kan dock en alltför specialicerad utformning i onödan begränsa användningsområdena.

Kraftöverföringen kan antingen bestå i att direkt överföra en matningskraft som huvudsakligen genereras i arm och/eller bål där verktygsutformningen inte påverkar kraftens storlek annat än genom begränsningar på grund av eventuella komfortproblem eller besvär. När det däremot handlar om överföring av gripkraft spelar dimensionerna på ett skänkelverktyg stor roll vilket behandlas närmare nedan under 6.2.1.

Möjligheten att generera vridmoment är beroende av handtagets form och storlek och behandlas närmare under 6.2.4.

När det gäller komfort och besvär gäller huvudprincipen att fördela kraften över så stor yta som möjligt för att få lägsta möjliga yttryck (Hall, 1997). Härvid måste man dock beakta att tryckkänsligheten varierar över handen men även att funktionella krav kan begränsa möjligheterna till fördelning av kraften (se t. ex. 6.3.1).

Individuell anpassning av verktygets storlek och form är naturligtvis önskvärd men svår att realisera vid industriell produktion med rimlig ekonomi. Udda tillämpningar förekommer dock, t. ex. vid tävlingskytte. Utveckling av tekniska system som skulle möjliggöra enkel individuell handtagsanpassning pågår dock (Rosén, Västervik, 2000, personlig kommunikation).

Könsaspekter är viktiga i detta sammanhang. Alltför ofta har verktyg utformats med mannens antropometri som norm vilket gör det svårt för kvinnor att använda verktyget (Sperling, 1990). Skillnader i muskelstyrka ger också andra krav på verktygsutformning (Pheasant & Scriven, 1983). Till exempel påpekas att skruvmejslar för kvinnor borde göras med större diameter på skaftet för att med en större momentarm kompensera för lägre muskelstyrka. Dock begränsas dessa möjligheter av kvinnans mindre handstorlek.

En stor kontaktyta mellan verktyg och hand är speciellt viktig när stora krav ställs på kraft i kombination med precision för att uppnå maximal stabilitet.

Vikten av en stor kontaktyta för afferent återföring av information om verktygets exakta position och arbetets förlopp (typ av vibrationer, varvtal etc.) är ett försummat område inom forskningen. Att handtagets form, t. ex. ovala handtag för hammare, är av vikt för att känna av huvudets orientering har dock påpekats (Woodson et al., 1991).

6.1.2 Vikt

En allmän princip är naturligtvis att ett verktyg skall vara så lätt som möjligt för att tillföra så liten extra belastning som möjligt. Undantag från denna regel är när verktygets massa är av betydelse för funktionen som till exempel hammare och yxa. Mital och Kilbom rekommenderar, baserat på ett antal välgrundade studier, en maximal vikt (buren av operatören) av 1.75 kg för precisionsverktyg och 2.3 kg för övriga verktyg (Mital & Kilbom, 1992a).

Av minst lika stor betydelse som massan är fördelningen av densamma. Tyngdpunkten bör normalt ligga så nära handleden som möjligt för att ge minsta möjliga belastande moment på densamma. Undantag är även här verktyg som av dynamiska funktionskäl bör ha sin tyngdpunkt långt från handen (hammare och yxa).

6.1.3 Kraftöverföring och friktion

När ett roterande moment runt ett handtag skall överföras från eller till handen begränsas dess storlek av att handen glider mot handtaget vilket beror på att friktionen som uppnås mellan huden och ytan på handtaget inte är tillräcklig. Denna friktion är beroende av materialet i handtaget och dess struktur men även av eventuell förekomst av svett, olja, fett, smuts och dylikt.

En första undersökning av dessa förhållanden visade att friktionskrafterna mellan hud och olika material inte följde normala friktionslagar för solida ”döda” material (Comaish & Bottoms, 1971). Torr talk minskade friktionen men ökade den över normalvärden när talken blev fuktig. En undersökning av betydelsen

mikrostrukturen i ytan av materialet visade att låg profil på mikrostrukturen gav högre friktionsvärden och att polerade blanka ytor gav den högsta friktionen (Bullinger et al., 1979). Trä däremot hade endast 15 procent av friktionen hos plexiglas. Fukt har visat sig höja friktionen hos porösa material och sänka den för icke porösa material (Buchholtz et al., 1979).

Bobjer och medarbetare gjorde omfattande studier av betydelsen av olika typer räfflingar som förekommer på verktygsskaft i kombination med svett och vanliga föroreningar i arbetslivet; mineralolja och animaliskt fett (Bobjer et al., 1993). Man fann att den dynamiska friktionskoefficienten minskade med ökande normalkraft. Den översteg ofta 1 vid låga krafter. Friktionskoefficienten ökade med ökande kontaktyta. Svett ökade friktionen något medan olja och fett minskade den. Man undersökte också obehag i relation till friktionskoefficienten men fann inga samband. Arbetet utmynnar i en matris med rekommendationer för handtagsstruktur vid olika typer av användning och förekomst av föroreningar.

En annan aspekt på kraftöverföring och kraftfördelning är hårdheten i materialet. Ett mjukt material fördelar kraften över en större yta och föredras oftast vid en subjektiv värdering (Fellows & Freivalds, 1991; Björing et al., 1999). Fellows och Freivalds fann dock att ett mjukare handtag innebar att man ökade gripkraften för att bibehålla kontrollen över verktygen som i deras utvärdering utgjordes av olika typer av trädgårdsredskap. Björing et al. kunde inte påvisa någon motsvarande klar ökning utan huvudsakligen en minskning av muskelaktiviteten i underarmen vid mjukare material i handtaget på en elektrisk bormaskin.

6.1.4 Arbetsställning

Utformning av ett handverktyg får ofta konsekvenser för den arbetsställning som användaren måste inta för att använda detsamma. I huvudsak bör tre kroppsdelar beaktas; rygg, överarm och handled.

Utformningen bör vara sådan att man i möjligaste mån undviker böjd och vriden rygg genom att anpassa arbetshöjder och längd och form på skaft och dylikt. Vidare bör statiska positioner med lyft överarm, såväl framåt (flexion) som utåt (abduktion) undvikas (Hagberg, 1981; Palmerud et al., 2000). Det bör dock påpekas att muskulaturen i rotatorkuffen måste aktiveras statiskt vid krav på precision i handen även när överarmen befinner sig intill bålen under förutsättning att underarmen/handleden inte har något stöd (Sporrong et al., 1998).

Extrema handledsvinklar, i första hand ulnardeviation, har identifierats som riskfaktorer för olika typer av handledsbesvär (Schoenmarklin et al., 1994; Hägg et al., 1997). Handledsställningen är ofta direkt beroende av verktygets utformning i kombination med arbetsuppgiften och därför har ett stort antal designförslag presenterats, i första hand gällande knivar, hammare, tänger och filar vilka reducerar handledsvinkeln vid användning (Tischauer, 1966; Armstrong et al., 1982; Konz, 1986; Benktzon, 1993; Lewis & Narayan, 1993; Hsu & Chen, 1999). En viss kritik har riktats mot ett okritiskt användande av dessa verktyg då de förutsätter vissa specifika förhållanden som inte alltid är uppfyllda (Dempsey & Leamon, 1995). Dessutom har dessa innovationer inte alltid utvärderats av profes-

sionella användare. Samma författare ifrågasätter också grunddata för besvärreduktion presenterade av Tischauer (Leamon & Dempsey, 1995). Förvånansvärt få av dessa förslag har kommit till användning i praktiken. En ännu oprövad hypotes varför så är fallet, vilken här introduceras av författaren, är att man har bäst precision i positioneringen av ett verktyg när handen är i ulnardevierat läge.

6.1.5 Vibrationsöverföring

Verktygsutformningen har stor betydelse för överföringen av vibrationer till människan (Gemne et al., 1992; Burström et al., 2000). Dels kan den primära vibrationsgenereringen minskas (Lindqvist, 1997) vilket emellertid ligger utanför ramen för detta arbete. Dessutom kan materialval och konstruktion av handtaget utföras så att vibrationsdämpning uppnås. Härvid måste dock en avvägning göras eftersom dessa åtgärder kan leda till att handtaget blir ”sladdrigt” och man förlorar nödvändig kontroll över verktyget (Gemne et al., 1992; Burström et al., 2000). Ett antal lyckade exempel har dock rapporterats (Hansson et al., 1985; Andersson, 1990; Björning et al., 1999).

6.1.6 Yttryck

Från det svenska handverktygsprojektet (Wikström et al., 1991) ges rekommendationer för yttryck baserat på egna undersökningar (Fransson-Hall & Kilbom, 1993) och litteraturstudier. Kontinuerligt (> 4 tim.) applicerat tryck >10 kPa anses ge vävnadsskada. Egna ännu ej publicerade data indikerar att gränsen för vävnadsskada i handflatan baserat på cirkulationsmätningar i huden sannolikt ligger högre än 10 kPa eftersom total ocklusion uppstår först vid ca 50 kPa (Johansson och Hägg, manuskript). Högsta accepterade trycknivån under längre tid för kvinnor respektive män anges till 100 respektive 200 kPa. Högsta acceptabla tryck under kort tid anges till 700 kPa (Wikström et al., 1991).

Praktiska konsekvenser av detta är att skarpa kanter och rillor inte får förekomma.

6.2 Muskeldrivna handverktyg

6.2.1 Skänkelverktyg

En basal frågeställning när det gäller skänkelverktyg är hur stort avståndet mellan skänklarna skall vara för att optimal kraftutveckling och överföring till verktygets käftar skall erhållas. Ett flertal undersökningar har genomförts med parallella skänklar och varierande avstånd (se Fransson & Winkel (1991) för en översikt). De flesta finner ett optimum mellan 45-70 mm skänkelavstånd beroende på handstorlek. Mätningar med vinklade skänklar så som de är orienterade i ett skänkelverktyg är färre. I en klassisk undersökning som refereras i många textböcker mättes kraftutvecklingen mellan ett par skänklar i vinkel som funktion av

medelavståndet (från en punkt mellan ring och långfingret till tenarprominensen (tumvalken)) under dynamisk (29 mm/s) kraftutveckling hos 25 män och 25 kvinnor (Fitzhugh, 1973; Greenberg & Chaffin, 1978). Mätningarna sammanfattades som percentilkurvor för män och kvinnor som funktion av skänkelavståndet. Fransson och Winkel undersökte förhållandena mera i detalj och mätte bidraget från enskilda fingrar i relation till total output från en polygriptång (Fransson & Winkel, 1991). Man undersökte även ett omvänt grepp där tången greppades med lillfingret mot käftarna. Sådana har rapporterats förekomma i praktiken bl. a. vid plåtsaxar (Kilbom et al., 1993). Man fann maximala krafter runt 50-60 mm avstånd beroende på kön och studerade fingrar. Lill och ringfinger hade dock flacka kurvor med odistinkta maxima. Ett omvänt grepp gav en något lägre total kraft.

I det stora svenska handverktögsprojektet gjordes två specialstudier på plåtsaxar (Kilbom et al., 1993; Öster et al., 1994). I den första användes tre saxar i olika utföranden, en i standardutförande, en med fjäderåtergång samt en med reducerat greppspann (Kilbom et al., 1993). Oerfarna kvinnor och män var försökspersoner. Vid klippning i plåt av en tjocklek som normalt bearbetas av plåtslagare använde män ca 40 procent av sin maximala kapacitet (%MVC) medan motsvarande siffra för kvinnor var ca 60 procent. Kvinnor klippte med ungefär halva den hastighet som män normalt använde. Man fann också att produktiviteten korrelerade starkt med handstorlek och individuell relativ kraftutveckling. De modifierade saxarna föredrogs i allmänhet och det reducerade greppspannet innebar att kvinnornas medelkraftutveckling sjönk från 65 till 50 %MVC.

I den andra plåtsaxstudien studerades yrkesmässigt verksamma plåtslagare (Öster et al., 1994). Detaljerade data för kraftutveckling, hand och verktygsvinklar dokumenterades. Man studerade också ett omvänt handgrepp vilket ofta används av yrkesmän. Man fann att erforderlig kraftutveckling var upp till 50 %MVC och att höga kraftkrav förekom även vid extrema skänkelavstånd. De sammantagna slutsatserna av dessa båda studier var att en konventionell plåtsax ställer oacceptabla krav på brukaren både med avseende på kraft och handstorlek. Ett riktvärde för kraftutvecklingen är att den inte bör överskrida 30 %MVC vid långvarigt bruk (Sperling et al., 1993). Detta skall jämföras med rekommendationerna från Mital och Kilbom på maximum 100 N (Mital & Kilbom, 1992b). Detta motsvarar ungefär 30 %MVC för medelstarka kvinnor.

Vid sidan av plåtsaxen är kabelskotången och popnittången verktyg som ställer stora krav på kraft (Kadefors, personlig kommunikation)

Sekatörer är ytterligare ett exempel på ett skänkelverktyg som ställer stora krav på gripkraft och som används frekvent i vissa yrkesarbeten (trädgårdsarbete, vinodling). I en jämförande undersökning av passiva och motoriserade sekatörer, en pneumatisk och en elektrisk, utförd på vinodlare, fann man att de passiva verktygen gav oacceptabelt höga belastningar på underarm men även oacceptabla arbetsställning vid kontinuerlig användning. De motoriserade verktygen reducerade underarmsbelastningen och ökade produktiviteten med upp till 30 procent men samtidigt ökade den posturala belastningen på grund av högre vikter (Wakula et al., 2000).

Tekniskt/funktionella synpunkter på detaljutformningen av tänger, speciellt avbitartänger, kan fås i en rapport från Lindström AB (Lindström, 1990). Ytterligare detaljaspekter på utformningen av avbitartänger ges av Bobjer et al. (1998).

Varumärkare för detaljhandeln har identifierats som ett problemverktyg förknippat med belastningsbesvär av olika slag. I en jämförande brukarstudie finner man att kommersiellt tillgängliga maskiner kan rangordnas vad det gäller totalbedömning men att även de bästa verktygen har brister som kan åtgärdas med enkla medel (Sperling et al., 1995a).

6.2.2 Slående verktyg

Grundprincipen för slående verktyg är att ett huvud med en viss massa accelereras till en viss hastighet vilket ger huvudet en viss rörelseenergi. Vid den stöt som uppkommer när huvudet möter sitt föremål bör så stor del som möjligt av huvudets rörelseenergi överföras till föremålet (t. ex. hammare/spik) eller avancera verktyget (t. ex. yxa) in i föremålet. Drillis och medarbetare har beskrivit den fysikaliska teorin för slående verktyg (Drillis et al., 1963). Rörelseenergin som byggs upp i verktyget sammansätts dels av en translationsrörelse (rörelse utan rotation) dels av en rotationsrörelse. Denna rotation skapas både av rotationen i armbågen men även av en ulnardevierande rotation i handleden. Huvudets massa är av stor betydelse för båda energikomponenterna medan skaftets längd är av stor vikt för rotationsenergin. Dessa grundparametrar måste anpassas till arbetsuppgiftens krav och brukarens kapacitet (Sperling et al., 1997). I en studie av yxor fann man att energikurvan planade ut vid en total vikt av 2.75 kg vilket är den mest förekommande vikten för en stor yxa (Widule et al., 1978). Större vikt ger inte någon effektvinst sannolikt beroende på att en vuxen man inte kan generera större energi. Sannolikt är denna vikt inte optimal för kvinnor som sannolikt skulle prestera bättre med en lättare yxa. Detta är dock inte undersökt.

Skaftets utformning på hammare, och då speciellt böjt kontra rakt skaft, har varit föremål för ett flertal undersökningar (Knowlton, 1983; Konz, 1986; Schoenmarklin & Marras, 1989a; 1989b). Tanken är att ett böjt skaft skall minska ulnardeviationen som är en identifierad riskfaktor (se 5.1). Samtliga undersökningar visar också att ett svagt böjt skaft (10-20 grader) ger en mindre ulnardeviation vid praktisk användning. Oerfarna försökspersoner föredrar i dessa undersökningar oftast också ett något böjt skaft. Tyvärr har inte någon liknande undersökning gjorts med yrkeserfarna användare som försökspersoner. Man kan konstatera att det böjda skaftet inte slagit igenom hos tillverkarna och används alltså inte i praktiken (egna observationer). En anledning till detta kan vara en allmän konservatism bland yrkesmän. En annan kan vara att den ulnardevierade handledspositionen ger en bättre kontroll över hammaren som redan diskuterats under 6.1.4. Denna fördel kan vara svår att identifiera för en oerfaren försöksperson.

I en allsidig ergonomisk brukarutvärdering av ett antal kommersiellt tillgängliga snickarhammare för konsumentbruk gjordes flera intressanta observationer (Sperling et al., 1997). Den lättaste hammaren visade sig inte ge den lägsta

fysiologiska belastningsdosen för ett givet arbete vilket illustrerar vikten av att hammarens vikt måste optimeras både för uppgiftens krav och användarens förutsättningar. Flera kvinnliga försökspersoner höll hammaren långt fram på skaftet vilket författarna menar bekräftar hypotesen att man generellt bör eftersträva en placering av tyngdpunkten nära handen. Man kan dock förmoda att detta berodde på ovana vid arbetsuppgiften. Detta användningssätt går stick i stäv med en av grundprinciperna för slående verktyg nämligen den att energin i huvudet till avsevärd del byggs upp genom en rotationsrörelse där rotationsradiens storlek, vilken delvis utgörs av skaftlängden, är avgörande.

6.2.3 Skärande verktyg

Professionell användning av knivar förekommer mestadels inom livsmedelsbranschen (fiskrensning, slakteri och styckning, restaurang). Arbetet är ofta förknippat med hög repetitivitet, monoton och stora krafter vilket gör att en optimal utformning av verktygen är av extra stor vikt. En nyckelfråga när det gäller utformningen av en kniv är vinkeln mellan knivblad och skaft vilket i likhet med föregående avsnitt i detta kapitel handlar det om att minimera avvikelser från neutral handledsvinkel. En optimal knivutformning blir därför starkt relaterad till arbetsställning och uppgift.

I en tillämpad designstudie där olika knivutformningar testades av yrkesverkssamma slaktare/styckare kom man fram till att en vinkel mellan skaftets längdaxel och eggen på 10 grader var optimal för en allroundkniv (Bobjer, 1989). Denna vinkel motiverades bland annat av frekvent användning av kniven i dolkfattning. Man fann också ett stort behov av handtag i minst två olika storlekar samt behov av olika bredd på knivbladet för olika uppgifter.

I en undersökning gällande knivutformning för kycklingslakt fann man att en motsatt vinkel jämfört med ovanstående på 30 grader var optimal för arbete på hängande djur medan för bänkarbete med dolkfattning var ett motsatt 30 grader vinklat blad det bästa (Fogleman et al., 1993). Dessa rekommendationer baserade sig dock endast på laboratorieförsök med oerfarna försökspersoner. För arbete på hängande djur har tidigare föreslagits en kniv med pistolliknande utformning (Armstrong et al., 1982). En kniv med liknande utformning avsedd för handikappade men med knivbladet fäst i handtagets underkant har utvecklats (Benktzon, 1993). Denna typ av grepp föreslås också för stämjärn dock utan någon utvärdering (Lewis & Narayan, 1993). Se diskussionen i 6.1.4 angående ulnardeviation i relation till verktygsutformning.

Efter en ingående analys av behoven av olika knivar i restaurangbranschen fann man i en undersökning att sju olika typer av uppgifter krävde var sin unik utformning av knivblad/skaft (Mangol & Eckert, 1995).

Ytterligare en aspekt på knivskaftsutformning är att det bör ha ett skydd så att handen inte skall glida ner över eggen. Optimal storlek på ett sådant har undersökts och man fann att det bör vara minst 1 cm för kvinnor och 1.5 cm för män (Cochran & Riley, 1986b). Ett glidskydd som passar alla bör alltså vara minst 1.5 cm högt.

6.2.4 Spadar, skyfflar och räfsor

Trots omfattande mekanisering av olika typer av grävning används spadar och skyfflar fortfarande i viss utsträckning och kommer sannolikt att användas även i framtiden. Manuell grävning kan sägas vara ett av arbetsfysiologins klassiska problemområden. På grund av arbetsuppgiftens helkroppsbelastande karaktär har utvärdering av olika förhållanden huvudsakligen inriktats på energetisk belastning uttryckt som syreupptag och/eller pulsfrekvens. I en review över en tämligen omfattande litteratur finner Freivalds att det finns ett tämligen gott dataunderlag för optimering av grävfrequens (18-20 tag per minut), mängd jord/sand per spadtag (5-7 kg), m. m., baserat på effektivitetsmått (syreupptag (=energiåtgång)/förflyttad massa) (Freivalds, 1986b). Dock tar man oftast i dessa optimeringar inte hänsyn till den individuella energetiska eller biomekaniska belastningen.

Däremot fann Freivalds att underlaget för optimal konstruktion av en spade inte var lika gott. I två experimentella studier med kommersiellt tillgängliga spadar fann han att optimal vinkel mellan skaft och blad var 32°, att ett stort blad var fördelaktigast vid skyffling, dock med bibehållen låg vikt, medan ett rundat blad var bäst för grävning (Freivalds, 1986a; Freivalds & Kim, 1990). Freivalds finner också att ett skaft som är 1.2 m långt är bäst bland de studerade men att underlaget för rekommendationer är dåligt (Freivalds, 1986a). I en annan studie visades på fördelar i mindre energiåtgång och biomekanisk belastning med ett extra vinkelrätt handtag ungefär mitt på skaftet (Degani et al., 1993).

Böjda handtag anförs idag som försäljningsargument för räfsor. I en jämförande studie av ett böjt handtag jämfört med ett konventionellt rakt fann man att ryggkompressionen var mycket mindre för det böjda handtaget när man drog räfsan mot sig medan det omvända förhållandet befanns gälla när man sköt räfsan ifrån sig (Kumar & Cheng, 1991).

6.2.5 Skruvmejslar

Den grundläggande funktionen hos en skruvmejsel är att på ett optimalt sätt överföra ett vridande moment som genereras i fingrar/underarm/armar (tvåhandsgrepp förekommer) till en skruv med god kontroll och feedback. Det maximalt möjliga överförda momentet ökar principiellt med diametern på handtaget upp till maximal greppvidd (Pheasant & O'Neill, 1975). Med undantag för de största skruvmejslarna gäller att överfört moment skall optimeras, inte maximeras, eftersom ett för högt moment kan förstöra såväl mejsel som skruv och/eller de med skruven förbundna föremålen.

Detta ställer specifika krav på i första hand skaftets utformning och ytstruktur samt materialval. I en undersökning av ett antal kommersiellt tillgängliga skruvmejslar fann man att maximalkapaciteten kunde skilja ca 50 procent mellan olika skaftdesigner (huvudsakligen skillnader i tvärsnittsformning) trots i stort sett lika skaftdiametrar (Strasser, 1991). En annan begränsande faktor är friktionskoefficienten mellan hand och skaft samt kontaktytans storlek. Friktionskoefficienten beror i sin tur på materialval, ytstruktur och eventuella föroreningar (vatten,

olja etc.) vilket har behandlats i 6.1.3. Maximalt överförbara moment med kommersiellt tillgängliga skruvmejslar (man, en hand) är av storleksordningen 5-6 Nm (Pheasant & O'Neill, 1975; Magill & Konz, 1986). Hur denna kapacitet varierar vid olika kroppsställningar demonstreras i flera undersökningar (Mital, 1986; Mital & Channaveeraiah, 1988; Habes & Grant, 1997). Angående skillnader i kapacitet relaterad till hänthet se 2.3.5.

För i första hand mindre skruvar finns också ett behov av att med hög hastighet och lågt moment skruva i/ur desamma. Detta åstadkommes genom att utforma ett område på skaftet närmast klingan med liten diameter vilket ger snabb rotation vid rullning mellan tumme och pekfinger (Bobjer, 1984).

I en jämförande studie av manuella skruvmejslar med elektriska skruvdragare fann man att underarmsbelastningen minskade avsevärt och att produktiviteten var högre vid användandet av den senare typen av verktyg vilket är föga förvånande (Örtengren et al., 1991). Däremot fann man att skulderbelastningen, speciellt i arbetsställningar med lyftade armar, var högre med det motoriserade verktyget beroende på högre vikt hos detta.

6.3 Handhållna maskiner

Möjligheten att i handverktyg ersätta mänsklig kraft och energiutveckling med externa kraftkällor har revolutionerat många arbetsmoment. Effektiviteten ökas ofta dramatiskt och den externa energiförsörjningen har inneburit att underarmen (skruvdragare) eller hela armen (bormaskiner) avlastats. Utvecklingen är dock inte odelat positiv. Mekaniseringen har lett till ökad vikt hos verktygen, inte minst när energin kommer från en elektrisk ackumulator inbyggd i verktyget. Alternativet elektrisk sladd eller tryckluftsslång ger stora hanteringsnackdelar. Belastningen blir dessutom ofta av mera statisk karaktär med ett motoriserat verktyg jämfört med ett handdrivet.

6.3.1 Handtag

Handtagets uppgift är att på ett optimalt sätt överföra krafter och moment mellan hand och verktyg. De viktigaste funktionerna är:

- att bära upp verktygets tyngd och eventuella moment genererade därav.
- att överföra erforderlig matningskraft från hand till verktyg.
- att ta upp eventuella roterande moment som uppkommer vid roterande verktyg, särskilt när skruv, mutter eller borr nyper fast (se 6.3.3).
- att erbjuda maximal kontakt med hand och fingrar för maximal lägeskontroll/stabilitet, återföring av funktionell information i form av vibrationer etc. samt lägsta möjliga yttryck, termisk isolering och komfort.

Tre huvudtyper av handtag kan urskiljas: pistolhandtag, rak skruvdragare ("in-line-handtag") och handtag för vinkelmutterdragare. I en rak skruvdragare är motorn inbyggd i själva greppet och är vanligen fjädrande upphängd för att föras

ner mot skruv eller mutter. Förutom dessa huvudtyper finns det ett stort antal specialkonstruerade handtagstyper för olika maskiner. För tyngre maskiner och maskiner med höga kraftkrav är tvåhandsfattning en nödvändighet. Detaljerade biomekaniska modeller för de tre huvudtyperna av grepp finns beskrivna (Radwin et al., 1995; 1997).

När det gäller pistolgreppet rekommenderar Mital och Kilbom en bredd av 50-60 mm (Mital & Kilbom, 1992a). Dessa rekommendationer baserar sig dock huvudsakligen på studier av cylindriska handtag. Ett cylindriskt grepp är olämpligt av flera skäl. Rent mekaniskt ger ett rektangulärt tvärsnitt (med rundade hörn) bättre stabilitet (Konz, 1990). Vidare ger detta viktig afferent återföring om hur verktyget är riktat. I senare studier stödjer Oh och Radwin rekommendationen 50 till 60 mm (Oh & Radwin, 1993) medan Björing et al. rekommenderar 50 mm som en kompromiss (Björing et al., 1999). Flera forskare betonar det önskvärda i att göra handtag av olika storlek beroende på brukarens handstorlek (Sperling, 1990; Oh & Radwin, 1993; Björing et al., 1999). Tjockleken på handtaget rekommenderas vara 35 mm (Björing et al., 1999). Fördjupningar för att passa fingrar etc skall undvikas eftersom dessas läge är beroende av individuell handstorlek (Mital & Kilbom, 1992a). Vinkeln mellan handtagets längdriktning och verktygets arbetsriktning bör vara 70°-80° för att uppnå neutral handledsvinkel i deviationsled (Jonsson et al., 1977; Mital & Kilbom, 1992a). Handtaget bör vara långt nog att även i en stor hand ha kontakt med hela handflatan och minst 120 mm (Mital & Kilbom, 1992a).

Materialet i handtaget bör av flera skäl inte vara helt stumt. Faktorer som talar för detta är vibrationsdämpning och jämnare fördelning av yttrycket. Den senare effekten har kunnat dokumenteras (Fellows & Freivalds, 1991; Björing et al., 2000). Fellows och Freivalds fann dock att ett mjukt gummihandtag också ökade muskelaktiviteten i underarmen under i övrigt lika förhållanden. Tyvärr är hårdheten i det använda gummihandtaget ej angiven. Björing et al. visade att handtag med hårdheten 90° - 91° på Shore A-skalan hade högst acceptans jämfört med hårdare material. Muskelbelastning var lägst med det näst mjukaste materialet (61° - 64° Shore A) medan det fanns en tendens till vibrationsdämpning med gummimaterialen jämfört med den hårda plastytan som är standard på verktyget (Björing et al., 1999).

För de två andra huvudtyperna av handtag finns det inget motiv för något annat än cirkulära tvärsnitt.

6.3.2 Avtryckare

Utformningen av avtryckaren (även benämnt pådraget) på en handhållen maskin styrs av ett flertal anatomiska/fysiologiska och funktionella delvis motstridiga krav. Här skall endast behandlas det vanligaste nämligen pistolgreppet. En avtryckare styr på och avslag av maskinens motor. I modernare maskiner finns ofta också en pådragsreglering inkluderad i funktionskraven vilket innebär att kraften mot och/eller läget på avtryckaren styr effektutvecklingen i maskinen. Vidare finns det en säkerhetsaspekt som innebär att avtryckaren får inte vara för

lätt att aktivera av misstag. Å andra sidan bör kraften hållas så låg som möjligt för att minimera tryckbelastning på finger/fingrar (se 4.2.1 angående ”triggerfinger”). Möjligheten att fördela trycket från avtryckaren över flera fingrar står i konflikt med kravet att ha bästa möjliga grepp om handtaget och kontroll över verktyget i övrigt (Oh & Radwin, 1993). Vid användandet av två fingrar till triggerfunktionen sjunker totalgripkraften något (Oh & Radwin, 1993). Om maskinen har on-off-styrning är detta sannolikt positivt. Hur dessa förhållanden ser ut om triggerfunktionen också innefattar pådragsreglering är inte undersökt. Sannolikt är det ofördelaktigt med två fingrar på triggern i detta fall då en stor del av gripkraften för att kontrollera verktyget fördelas på de svagare ring- och lill-fingrarna.

Lee och Cheng anger att maximal rekommendabel triggerkraft är ca 20 N för pekfingeret och 40 N för pek- och långfinger tillsammans (Lee & Cheng, 1995). Dessa rekommendationer grundar sig dock på att muskelbelastningen inte bör överskrida 15-20 %MVC. Denna gränsvärdesgrund kan dock ifrågasättas då det sannolikt är det lokala trycket på fingrar och dess sensor som är den mest när-liggande riskfaktorn. Några gränsvärdesdata för dessa yttryck existerar ännu inte.

För den som intresserar sig för en djupare probleminventering och diskussion när det gäller olika krav på triggerutformning för olika typer av handmaskiner hänvisas till Kadefors och Sperling (1995); Grieves et al. (1998).

6.3.3 Roterande maskiner

Roterande maskiner kan indelas i tre huvudtyper beroende på handtagets utformning: pistolmaskin, rak maskin och vinkelmaskin. Utformningen är direkt kopplad till verktygets lämpligaste användningssätt och optimal hand-armställning i relation till arbetsplatsutformningen. Pistolgreppet är det mest mångsidiga och lämpar sig för små till medelstora momentpåkänningar medan en rak skruvdragare är speciellt lämpad för att brukas vertikalt med arbetsstycket inom bekvämt räckhåll framför brukaren (Ulin et al., 1992; Schulze et al., 1995). Vinklade mutterdragare är oftast avsedda att användas vid dragning av stora skruvförband med höga moment (Lindqvist, 1993).

Ett grundproblem i roterande maskiner är att på skonsammaste sätt till användaren överföra roterande moment, vilka kan bli stora när borren/skruven/muttern nyper fast. Principiellt sett bör därför handens angreppspunkt ligga så långt ifrån rotationscentrum som möjligt för att maximera momentarmen (Radwin & Haney, 1996).

För maskiner med pistolformade handtag kan detta vara ett problem. En angreppspunkt långt ifrån rotationscentrum i kombination med hög matningskraft skapar ett oönskat brytande moment på t. ex. en borrh (Björing et al., 2000). Detta gör att man oftast lägger den största andelen av trycket vid t. ex. borring längst upp på handtaget i tumvecket trots att en fördelning av trycket över handflatan vore önskvärd (Björing et al., 2000). Vissa maskiner har därför också en alternativ greppyta i bakändan av maskinen i rotationsaxelns förlängning. Eventuella

problem med att ta upp vridande moment kan minskas med ett extra handtag för den andra handen.

För pistolformade skruvdragare har det visats att gripkraften ökar med det roterande momentet (Fennigkoh et al., 1999). Man har också fått fram att optimal arbets höjd i stående med horisontell arbetsriktning är 114-139 cm (Ulin et al., 1990). Maskinernas vikt är av stor betydelse då de ofta hålles i obekväma arbetsställningar långt från kroppen (Cederqvist & Lindberg, 1993). I samma arbete påpekas också att valet av skruvtyp och materialet som dessa skruvas i är av stor betydelse för den ergonomiska helhetsbedömningen.

För raka skruvdragare är diametern avgörande för möjligheten att hålla emot det genererade roterande momentet (Radwin & Haney, 1996). Diametern får dock inte göras större än att verktyget bekvämt kan greppas. Det har visats att applicerad gripkraft minskar med ökande diameter men ökar med ökande moment (Johnson & Childress, 1988). I en undersökning av preferenser vad det gäller diameter testades handtag med diametrar från 2 till 5 cm (Cisneros & Armstrong, 1994). Härvid fick handtag med diametrarna 3.2 och 3.8 cm de högsta poängen. I en annan undersökning fick försökspersoner gripa och dra ner en vertikala cylindrar med olika dragkraft (Grant et al., 1992). Tre cylinderdiametrar injusterades och provades: en med omkrets motsvarande gripomkretsen samt två med 1 cm större respektive mindre diameter. Härvid föredrog man den minsta cylindern. Medelgripdiametern för försökspersonerna var 5.3 cm. Härav kan man dra slutsatsen att optimal diameter ligger mellan 3 och 4 cm.

Den mest problematiska av alla vinkelmaskiner är sannolikt vinkelslipen genom sina höga vibrationsnivåer och vanliga förekomst (Kihlberg et al., 1995a). Vibrationerna genereras inte enbart av själva slipfunktionen utan uppkommer också på grund av ofullständigheter i den cirkulära geometrin hos slipskivan och icke helt centrerad montering av slipskivan (Eklund et al., 1986). Dessa faktorer måste därför beaktas vid anskaffning och montering av slipskivor. Vibrationsdämpande handtag kan också ge en viss lindring av vibrationerna (se 6.1.5).

För vinkelmutterdragare är det enda kriteriet vad det gäller diameter att handtaget så bra som möjligt skall fördela krafterna som uppkommer vid sluttrycket som kan vara stort. I gengäld bör skaftets längd vara så stor som är praktiskt möjligt för att ge maximal momentarm vilket minskar kraftpåkänningen (Radwin & Haney, 1996).

Rycket som uppstår i slutfasen av åtdragningen av ett skruvförband ger upphov till stora besvär i de övre extremiteterna (Kihlberg, 1995). Storleken och tidsförloppet på detta ryck är beroende av maximalt inställt moment för verktyget, rotationshastighet och inte minst typen av förband (Lindqvist, 1993). Hårda förband gör att rycket blir litet och kortvarigt medan mjuka förband ökar ryckets storlek i tid och amplitud (Freivalds & Eklund, 1993; Lindqvist, 1993). En sådan ökning korrelerar väl med besvärsupplevelsen (Freivalds & Eklund, 1993; Kihlberg et al., 1994). Kihlberg et al. har föreslagit ett gränsvärde för dessa ryck baserade på subjektiva skattningar. Man fann att ingen av 38 erfarna montörer accepterade värden över 9 på en 20-gradig subjektiv skala för acceptabla ryck

under en hel arbetsdag. På samma sätt accepterade alla värdet 2 på samma skala för en hel arbetsdag (Kihlberg et al., 1995b).

I en speciell klass av roterande maskiner, impulsmaskiner, minskar rycket avsevärt. Nackdelar är att det är svårt att kontrollera dragmomentets storlek och att de genererar mera buller och vibrationer (Lindqvist, 1997).

I försök att ange gränsvärden för hur frekvent det kan vara acceptabelt att borra hål med en bormaskin under en arbetsdag användes psykofysiska metoder (Kim & Fernandez, 1993; Marley, 1995). Man fann att acceptabel arbetstakt var signifikant omvänt korrelerad med erforderlig matningskraft och icke neutrala handledsvinklar vilket är helt i linje med fysiologiska observationer (se 4.2) och epidemiologiskt identifierade riskfaktorer (se 5.1).

Ett annat sätt att eliminera rycket är att förse maskinen med ett mothåll som anbringas mot någon del av arbetsstycket (Radwin et al., 1989; Lindqvist, 1997). Detta kräver ibland anpassningar av detsamma vilket kan vara svårt att åstadkomma praktiskt. Detta innebär också högre vikt på maskinen och att tyngdpunkten hamnar längre ut från handleden.

6.3.4 Slående maskiner

Slående maskiner utgörs av olika typer av bilningsmaskiner och nithammare. I slagbormaskiner kombineras en roterande och slående funktion. Roterande impulsmaskiner får också räknas till denna kategori även om ”slaget” här inte kommer i axiell led utan i rotationsled. Med undantag för de senare finns inget roterande moment att ta hänsyn till vid utformningen av verktyget vilket gör att handtag oftast placeras i själva verktygets förlängning. Det allt överskuggande ergonomiska problemet för denna typ av maskiner är att begränsa överföringen av vibrationer från verktyget till användaren (Burström et al., 2000). Denna överföring förvärras ofta av att höga matningskrafter krävs. Vibrationsproblemen kan i viss mån begränsas genom olika tekniska lösningar i maskinkonstruktionen och genom bruk av vibrationsdämpande handtag och handskar (Andersson, 1990; Peng, 1994; Lindqvist, 1997).

6.3.5 Sprutpistoler

Arbete med manuell sprutpistol förekommer fortfarande i industriell skala främst inom möbelindustri. Trots att automatiska sprutmetoder tagit över många ytbehandlingsfunktioner kräver vissa typer av möbeldetaljer fortfarande manuell sprutning för ett fullgott resultat. Sprutpistolen har under sin ca åttioåriga existens knappats utvecklats alls vad det gäller ergonomisk utformning (Björing, 1997). Arbetsmomenten är förenade med flera riskfaktorer för muskuloskeletal besvär såsom statiskt arbete med höjd arm, vinklad handled och långvarigt kraftgrepp (Björing & Hägg, 2000b). Ett flertal detaljändringar av pistolens, tillhörande slangars samt sprutbordets utformning skulle ge avsevärda förbättringar av situationen (Björing & Hägg, 2000a). En utvärdering av en ny konstruktion av en sprutpistol där man hade möjlighet till två alternativa grepp för horisontella och

vertikala ytor gav vid handen att den nya pistolen gav lägre handvinklar, minskad muskulär och subjektiv trötthet vid ett simulerat laboratoriearbete (Lee et al., 1997).

6.3.6 Kontrollspakar och knappar

Omfattande arbete har lagts ner på att utveckla riktlinjer och standarder för optimal utformning och funktion hos olika manuella kontrollorgan. För en detaljerad redogörelse av dessa hänvisas till något standardverk, t. ex. Pheasant (1987), Corlett och Clark (1995) eller Grandjean (1988).

Tyvärre finns det fortfarande alltför många exempel på maskinstyrdon som inte har optimerats ur ergonomisk synvinkel. Ett sådant är skogsmaskiner där tidigare styrdon var stora klumpiga och gav en onödigt hög muskulär belastning. I senare modeller har dessa ersatts med ”minispakar” som ger en betydligt lägre belastning med bibehållen produktivitet, säkerhet och precision (Attebrant et al., 1997).

6.4 Datorstyrdon

Datorn har genom den snabba utvecklingen inom IT-området på senare år blivit ett av våra mest spridda och använda tekniska hjälpmedel använt av nästan alla yrkesgrupper. Inmatning av information är fortfarande till stor del baserad på manuellt arbete med tangentbord och mus eller dylikt och även om röststyrning redan finns tillgänglig lär de manuella teknikerna förbli dominerande under lång tid framöver.

Arbete vid dator är förenat med risker för muskuloskeletal besvär (Punnett & Bergqvist, 1997). Även om dessa till en avsevärd del är relaterade till faktorer såsom arbetsställningar, arbetsplatsens utformning, typ av arbetsuppgift, tidsförhållanden och psykosociala faktorer spelar även utformningen av tangentbord och pekstyrdon en viss roll vilket redovisas nedan.

6.4.1 Tangentbord

En sökning i databasen Ergonomics Abstracts gav 265 referenser med ordet ”keyboard” i rubriken. Även om inte riktigt alla av dessa avser tangentbord till datorer och skrivmaskiner så illustrerar det ändå att området är tämligen välundersökt. Att göra en heltäckande genomgång av denna rikhaltiga litteratur är inte möjligt i detta sammanhang. Nedan presenteras endast några intressanta resultat i några kärnfrågor.

Utformningen av de tangentbord vi normalt ser i datersammanhang är långt ifrån optimerad ur ergonomisk synvinkel. De alfanumeriska tangenternas placering i fyra raka rader och dess inbördes ordning (”QWERTY-tangentbordet”) har huvudsakligen sitt ursprung i tekniska begränsningar hos de första konstruktionerna av den mekaniska skrivmaskinen från 1800-talets slut. Trots att dessa tekniska begränsningar sedan åtskilliga decennier är fullständigt eliminerade lever

QWERTY-designen ändå kvar i kraft av en stark tradition. Den huvudsakliga invändningen mot denna utformning är att handlederna tvingas in i en ulnardevierad arbetsställning vilket utgör en riskfaktor. Den traditionella uppinklingen av tangentbordet ger också en icke önskvärd extension i handleden.

För att möjliggöra en arbetsställning med raka handleder har ett antal alternativa konstruktioner tagits fram där tangentbordet delas i två halvor som kan vinklas i förhållande till varandra i horisontalplanet för att eliminera handledsdeviationen men som även kan vinklas som ett ”upp och ner vänt v” för att ge en mindre pronerad handställning (se t. ex. Smith et al. (1998)). En förutsättning för att dessa icke traditionellt utformade tangentbord skall ge en förbättring i full utsträckning är att användaren använder alla fingrar enligt ”touch metoden”. Det har dokumenterats att dessa konstruktioner ger rakare handleder med bibehållen produktivitet men det är osäkert om besvärs- och komfortsituationen blir signifikant bättre (Swanson et al., 1997; Smith et al., 1998; Zecevic et al., 2000).

Ytterligare ett avsteg från konventionell tangentbordsorientering är negativt vinklade tangentbord som lutar från användaren (Hedge & Powers, 1995; Hedge et al., 1999). Detta åstadkoms vanligen genom en lutningsbar tangentbordshållare. På detta sätt minskar handledsextensionen med minskad fingerextensionsbelastning när fingrarna återförs efter en tangentryckning. Acceptansen för denna vinkling av tangentbordet är mycket god och minskar belastning på den struktur i underarmen som oftast skadas nämligen extensorsenfastena i armbågen (Hedge & Powers, 1995; Hedge et al., 1999; Gilad & Harel, 2000). Denna situation påverkas också i stor utsträckning av huruvida handledsstöd användes. Genom att avlasta handlederna mot ett handledsstöd fås lägre handledsextension och möjligheterna att slappna av i resten av armen ökar avsevärt (Albin, 1997).

Det finns exempel på ännu radikalare avsteg från QWERTY-modellen där man ändrat ordningen på tangenterna (Nicolson & Gardner, 1985) eller reducerat antalet tangenter och infört tangentkombinationer för vissa tecken och vanliga stavelser med hjälp av mjukvarustöd (t. ex. ”Velotype” se Toomingas et al. (1993)). Dessa speciallösningar kan ge ökad produktivitet men kräver speciell utbildning.

De mekaniska egenskaperna hos själva tangenten har också varit föremål för ingående studier. I en jämförande studie av tre olika tangentbord med tangentkrafterna 0.34, 0.47 och 1.02 N var anslagskraften och muskelanspänningen den samma för de två lättare tangenterna medan den ökade med 20 procent för det med högre kraft (Rempel et al., 1997b). Toppvärdena för anslagskrafterna är dock storleksordningen fem gånger större än vad som minimalt erfordras (Martin et al., 1996). Dessa krafter kan spela roll för utvecklingen av belastningsbesvär men är sannolikt mer relaterade till individuell arbetsteknik än till teknisk utformning. När det gäller acceptans och komfort är ”känslan” i tangenten av större vikt. Denna subjektiva kvalitet byggs upp av den komplexa kombinationen av kraft/tid förloppet vid anslag och ljudet som alstras (Chen et al., 1994).

Ytterligare en viktig aspekt av tangentbordsutformning är dess bredd som får konsekvenser för möjligheterna till mushantering (se 6.4.2). Konventionella

tangentbord med numerisk tangentsats till höger om ordinarie tangenter är oftast för breda, speciellt för smalaxlade kvinnor (Karlqvist et al., 1998).

6.4.2 Pekstyrdon

Införandet av ett grafiskt användarinterface med tillhörande pekanordning (mus, styrkula etc.) mellan dator och användare innebar att datorns användarvänlighet ökade avsevärt och har bidragit till att datorn kunnat bli var mans verktyg. Den nya styrtekniken ställde samtidigt nya krav på manuell färdighet och innebar en mycket mera statisk belastningssituation för hand/arm jämfört med styrning via tangentbord. Det är därför inte konstigt att den nya styrtekniken har givit upphov till ett stort antal nya fall av belastningsskador och besvär med den populära benämningen ”musarm”. Det finns dock inget som tyder på att detta skulle vara någon ny specifik åkomma utan får ses som en kombination av redan etablerade diagnoser och besvärstyper (Hagberg, 1995).

Musstyrning ger upphov till fysiska belastningar på hand/arm/skuldra vilka är beroende av styrdonets tekniska utformning i komplext samspel med placering, förekomst av handleds/underarmsstöd, arbetsteknik, bordshöjd och sittställning. En intressant observation i detta sammanhang är att man vid traditionell musstyrning kan urskilja två skilda arbetstekniker. Antingen för man musen med hela armen med i stort sett stel handled eller så vilar man handleden på underlaget (eller ett handledsstöd) och styr musen med handledsdeviation (i sidled) och fingermanipulation (i höjddled) (Wahlström et al., 2000). Den första varianten som torde vara den vanligaste ger högre belastning på skuldermuskulaturen men liten handledsbelastning på grund av neutral position. Skulderbelastningen kan dock minskas genom adekvat stöd för underarmen (Aaras et al., 1997; Karlqvist et al., 1998). Den senare varianten ger lägst skulderbelastning men ger i gengäld hög handledsbelastning på grund av frekventa handledsdeviationer ut mot extrem-lägena (Wahlström et al., 2000). Den enskilda arbetsställningskomponent som visat sig ge den högsta risken för besvär är överarmsabduktion (utåtföring) (Cook et al., 2000).

Krafterna som appliceras på musen är normalt mycket låga (0.3-0.5 N) vilket är under en procent av maximal kapacitet (Johnson et al., 2000).

Sedan den ursprungliga musen introducerades har ett stort antal alternativa tekniska lösningar presenterats som minskar/varierar den fysiska belastningen på hand/armssystemet. Vanligast torde vara styrkula och ”mouse-trapper” vilken styrs med tummarna och monteras strax nedanför mellanslagstangenten på tangentbordet. En variant av den traditionella musen har utvecklats där man håller i ett upprättstående handtag vilket eliminerar den pronerade handställningen (Aaras et al., 1999). Denna lösning förutsätter styrning med hela armen eftersom möjligheten till fingermanipulation för styrning i höjddled inte existerar.

Styrning med styrkula påminner i belastningshänseende mycket om musstyrning enligt handledsmetoden relaterad ovan. Armen avlastas till stor del medan handledsbelastningen är hög (Karlqvist et al., 1999). Dock är handledsextensionen

oftast något högre med styrkula. Detta är dock till stor del beroende av höjden på eventuellt handledsstöd.

6.5 Handskar

Handens högst mångskiftande och flexibla funktionalitet har tidigare påtalats. Denna funktionalitet är naturligtvis inte oberoende av den yttre miljön och därför används handskar som skydd mot skadliga ämnen, mot oacceptabelt hög lokal mekanisk påverkan och vibrationer samt som termiskt skydd i kyla och värme (Sperling et al., 1983). Samtidigt som en handske skyddar handen mot skadlig påverkan begränsar den också funktionaliteten i olika avseenden. Dels begränsar den handens stora sensoriska kapacitet vilket har stora konsekvenser särskilt för finmotoriken, dels kan maximal kraftutveckling påverkas. Materialet i handsken kan dessutom i sig ge upphov till skadlig påverkan i form av allergier (Turjanmaa, 1994).

När det gäller den negativa effekten av handskar på finmotorik har olika undersökningar funnit olika kvantitativa effekter beroende på typ av handske och typ av uppgift. Bensenl fann att tiden det tog att utföra fem olika händighetstester var direkt relaterad till handskens tjocklek (Bensenl, 1993). Det visades dock också att denna tid kunde minskas avsevärt genom träning och i vissa fall bli kortare än motsvarande tid utan handske och utan träning. Liknande inskränkningar av finmotorik har även rapporterats av andra (Plummer et al., 1985). In en studie av latexhandskar för kirurgiskt bruk kunde man dock visa att den taktila funktionen var i det närmaste intakt vid en materialtjocklek upp till 0.83 mm (Nelson, 1995). I en studie där eventuella kombinationseffekter av handskar och låga temperaturer studerades fann man att typ av handske och låg temperatur, var för sig försämrade prestationen (Geng et al., 1997). Det var dock svårare att visa signifikanta kombinationseffekter. Dessa effekter är dock svårbedömda då handsken påverkar situationen på flera olika sätt. Dels försämras resultatet genom att sensoriken begränsas och handsken blir också sannolikt stelare vid lägre temperatur. Samtidigt påverkas resultatet positivt genom att handsken bidrar till en högre temperatur i hand och fingrar.

När det gäller förmåga att utveckla kraft i ett kraftgrepp så minskas denna i varierande grad beroende på handskens styvhet och tjocklek (Hallbeck & McMullin, 1993; Batra et al., 1994; Tsousidis & Freivalds, 1998). Däremot finner man i de två senare undersökningarna att nypgreppet inte påverkas. Vid studier av trycksatta handskar för rymdbruk finner man att kraftutvecklingen är omvänt korrelerad till trycknivån i handsken (Bishu et al., 1995; Roy & O'Hara, 1997). När det gäller att utveckla krafter och moment med passiva handverktyg finner man dock att kapaciteten ökar med handskar, sannolikt beroende på bättre fördelat yttryck i handen och därmed lägre obehag (Mital et al., 1994; Shih & Wang, 1996). Ytterligare en aspekt på handskanvändning är att man på grund av förlorad taktil återföring anbringar högre gripkrafter än nödvändigt för att säkert behålla greppet om ett föremål (Buhman et al., 2000).

I en studie av handens rörlighet i praktiskt arbete finner man att rörelseomfånget minskar i deviations- och rotationsled medan flexion/extension förblir opåverkad (Bellingar & Slocum, 1993).

För specifika uppgifter kan det finnas anledning att specialanpassa handsken design. I fall där handsken skall skydda mot mekaniska påkänningar i begränsade områden t. ex. i handflatan undviker man mycket av nackdelarna med försämrade rörlighet och flexibilitet genom att göra en tunn handske med tjockare material i de utsatta områdena (Muralidhar et al., 1999). Tryckobehagströsklar kan höjas 25-65 procent genom lämpligt vald materialtjocklek i utsatta områden (Muralidhar & Bishu, 2000).

Handskaers förmåga att dämpa vibrationer i skadeförebyggande syfte är mycket måttlig men kan i varierande grad påvisas för högre frekvenser (Burström et al., 1989; Gurram et al., 1994; Griffin, 1998).

Handskaers viktiga funktion som skydd mot olika mer eller mindre skadliga substanser i omgivningen är ett stort område som det skulle förelånga att behandla i detta sammanhang. Läsaren hänvisas här till (Mellström & Boman, 2000). När det gäller allergiska reaktioner mot själva handskmaterialet hänvisas till Turjanmaa (1994).

6.6 Handtag för lyft

”Manual materials handling” (MMH) är ett begrepp som myntats i USA och som kan ge intryck av att vara ett centralt område för detta dokument (Ayoub & Mital, 1989). MMH handlar dock till största delen om lyfta/bära och därav uppkomna belastningar på i första hand ryggen, ett i yrkessammanhang nog så relevant område, dock utanför ramen för detta dokument. Dock finns en del att nämna om handtagsutformning för lyftändamål.

En grundprincip är att fördela kraften över så stor yta som möjligt för att minimera yttrycket. Detta leder till rekommendationer för storleken och form på handtag: cirkulärt tvärsnitt med 25-40 mm diameter, minst 115 mm längd, 30-50 mm utrymme mellan handtag och föremål (Drury, 1980). Handtagets vinkel bör anpassas efter övriga förhållanden så att en neutral eller något radialdevierad handledsvinkel uppnås (Hallbeck et al., 1990). Däremot verkar materialvalet spela mindre roll (Drury, 1985).

7. Problemyrken och dito arbetsuppgifter

I ergonomisk och yrkesmedicinsk litteratur kan man finna branscher, yrken och arbetsuppgifter som är förknippade med specifika problem för utövaren. Några av dessa där problemen är lokaliserade till övre extremiteterna och direkt relaterad till det manuella arbetet skall här belysas och sannolika orsakande belastningsfaktorer diskuteras.

7.1 Verkstadsindustri

Bilindustrin utgör i mångt och mycket en förebild för annan industriell verksamhet ("the industry of industries" (Womack et al., 1990)). Inom denna bransch utvecklades med start vid 1900-talets början produktionssystem med stora inslag av handintensivt monteringsarbete som har fått stå modell för annan industriell massproduktion. Trots att många moment i biltillverkningen har mekaniserats och automatiserats måste ännu ett stort antal moment utföras manuellt. Fransson-Hall och medarbetare visade att en bilmonteringsarbetare engagerar handen i någon typ av grepp i medeltal under 88 procent av arbetstiden (Fransson-Hall et al., 1996). Hand/arm exponeras för ett flertal kända riskfaktorer såsom extrema handvinklar (Hägg et al., 1997), ensidigt upprepat arbete och arbete ovan axelhöjd (Fransson-Hall et al., 1996) och vibrationer (Radwin et al., 1990). Besvär- och diagnospanoramata hos denna yrkeskår innefattar karpaltunnelsyndrom, ospecifika handledsbesvär, handledstendinit, tennisarmbåge och skulder/nackbesvär (Byström et al., 1995; Zetterberg et al., 1997; Zetterberg & Öfverholm, 1999). En annan manuell arbetsuppgift inom bilindustrin som innebär arbete med höjda armar, karosstätning, har visat sig vara förknippad med främst skulder/nackbesvär (Bildt et al., 1999). Bilindustrins belastningsskadesituation har dock på många företag förbättrats avsevärt genom omfattande satsningar på olika typer av ergonomiprogram (Wikström & Hägg, 1999). Ovanstående problembild kan med vissa variationer sägas vara typisk för ensidigt handintensivt arbete i allmänhet.

Svetsning är en annan manuell arbetsuppgift med väldokumenterade besvär främst i skuldra/nacke vilka med stor sannolikhet är relaterade till långa perioder med höjda armar i statiska positioner (Herberts et al., 1981; Törner et al., 1991). Törner och medarbetare finner också vissa belägg för att Dupuytrens kontraktur (nedbrytning av palmarismuskeln i handflatan) skulle kunna vara relaterad till yrkesexponeringen vid svetsning (långvarigt tryck från svetshandtaget).

Manuell sprutmålning förekommer främst inom träindustri och belastningsförhållandena liknar dem vid svetsning med lyftad arm (abducerad överarm). Besvärsbilden innefattar skulder/nackproblem som vid svetsning men besvärsförekomsten är förhöjd även i dominant hand/arm (Björing & Hägg, 2000b).

Plåtslagare är en annan yrkesgrupp med stora problem relaterade till handintensivt arbete. Besvärsförekomsten kan delas in i två huvudkategorier. Vibrationsskador är vanliga hos verkstadsplåtslagare som arbetar mycket med

vibrerande slipmaskiner (Hansson et al., 1985; Nilsson et al., 1989). Hos byggnadsplåtslagare är det för hand/arm mest ansträngande momentet att klippa plåt med plåtsax. Härvid måste man utveckla upp till 75 procent av maximal kraft i handgreppet (Öster et al., 1994). Denna kategori uppvisar också en förhöjd risk för hand/armskador (Raask, 1980).

7.2 Livsmedelsindustri

Livsmedelsindustrin har under lång tid intagit en beklaglig tätposition i statistiken över belastningssjukdomar och skador (se t. ex. ASS (1999)). Inom branschen finner man också en frekvent förekomst av ett flertal riskfaktorer för övre extremitetsskador och besvär såsom höga gripkrafter, ensidigt upprepade rörelser i högt tempo, handled i ytterläge och arbete med höjda armar. Situationen förvärras ofta av krav på låga temperaturer som gör materialet (kött etc.) svårare att bearbeta och försämrar motoriken.

Arbete inom slakteri och styckningsbranschen är kanske det mest väldokumenterade området. De flesta typerna av arbetsrelaterade övre extremitetsskador såsom "triggerfinger", karpaltunnelsyndrom, handledstendinit, tennisarmbåge och skulder/nackproblem är överrepresenterade inom dessa personalkategorier (Falck & Aarnio, 1983; Roto & Kivi, 1984; Kurppa et al., 1991; Viikari-Juntura et al., 1991; Frost et al., 1998; Gorsche et al., 1998). Sannolika riskfaktorer i arbetet har redan räknats upp ovan. En intressant observation är att karpaltunnelsyndrom bland styckare är vanligare i den icke dominanta handen som håller fast djurkroppen/styckade delen och sorterar/slänger denna i därför avsedd behållare (Falck & Aarnio, 1983; Frost et al., 1998) medan övriga besvärstyper är vanligare på den dominanta sidan. Vissa ansatser till förbättringar av situationen har rapporterats (Örtengren et al., 1985; Gjessing et al., 1994) men den kvarstående höga besvärsrapporteringen visar att denna bransch fortfarande har en oacceptabelt hög risknivå.

Industriell fjäderfäslakt och styckning uppvisar snarlika problem som slakteribranschen i övrigt dock med skillnaden att arbetsmomenten ofta är ännu kortcykligare om än med något mindre krav på kraftutveckling (Armstrong et al., 1982; Stuart-Buttle, 1994). I den senare studien föreslås bland annat en alternativ knivdesign med vinklat skaft för att minska handledsdeviationen.

Arbete med industriell fiskberedning är ytterligare ett exempel på handintensivt arbete med liknande exponeringsförhållanden och besvärsbild (Chiang et al., 1993; Ohlsson et al., 1994; Nordander et al., 1999). Nordander et al. visar att det finns klara könsskillnader i exponering bland de anställda. Kvinnorna gör det högrepititiva rensningsarbetet medan männen har de något tyngre men mera varierade arbetsuppgifterna. I en isländsk interventionsstudie studerades en rationalisering av fiskrensningensarbete (Olafsdóttir & Rafnsson, 1998). Man gick här från gamla arbetsstationer till ett löpande band med i vissa avseende förbättrad ergonomi (arbetsställning etc.). Resultatet av interventionen blev en förhöjd produktivitet med 25 procent medan besvärsfrekvensen i de övre extremiteterna

ökade, sannolikt som en följd av en höjd arbetstakt och ett mera ensidigt belastningsmönster.

I en undersökning av yrkesfiskare fann man hög frekvens av besvär och kliniska fynd i hand/underarm (Törner et al., 1990). De kliniska fynden utgjordes huvudsakligen av Dupuytren's kontraktur medan de subjektiva besvären huvudsakligen var relaterade till handfrakturer.

Mjölkning görs sedan länge maskinellt. Trots detta uppvisar de som vid stora enheter har som sitt huvudsakliga arbete att hantera utrustningen överrisker för underarmstendinitier och nervinklämningar, de senare med domningar och muskelsvaghet som följd. Detta visas i en doktorsavhandling fokuserad på denna typ av arbete (Stål, 1999). Sannolikt är det de upprepade handrörelserna med extrema vridna handledsställningar vid applicering och avtagning av mjölkningsaggregaten som ger upphov till besvären.

7.3 Snickeriarbete

I en svensk avhandling undersökte Hammarskjöld hur snickarens arbetsprestation influerades av olika miljöfaktorer såsom vibration, kyla och trötthet (Hammarskjöld, 1992). Dessutom undersöktes rent allmänt reproducerbarheten i kraftutveckling och muskulärt aktiveringsmönster vid arbete med några vanliga verktyg såsom skruvmejsel, såg och hammare. Man fann att de muskulära aktiveringsmönstren intraindividuellt visade små avvikelser (max. 10 procent) från en dag till en annan (Hammarskjöld et al., 1989) medan individskillnaderna var stora. Kraftmönstret var också reproducerbart vid simulerad skruvning med dynamometer, dock ej vid sågning. I en annan undersökning kunde man visa att en standardiserad vibrationsexponering under 10 minuter inte gav några nämnvärda effekter på prestation och aktiveringsmönster (Hammarskjöld et al., 1991). Nedkylning av handen till 15° C medförde i en temperaturstudie att arbetet tog längre tid men kvaliteten i arbetet och rörelsemönstret förblev tämligen oförändrade (Hammarskjöld et al., 1992). Muskelaktiviteten ökade som resultat av nedkylningen. I en sista undersökning av effekterna av tröttande armcykling i 45 minuter fann man att felprocenten ökade vid spikning och sågning som resultat av uttröttningen (Hammarskjöld & Harms-Ringdahl, 1992). Skruvningen utfördes snabbare efter det tröttande arbetet medan spikningen utfördes något långsammare.

7.4 Skogsarbete

Skogsavverkning har traditionellt ansetts vara och kan även idag anses vara ett handintensivt arbete, dock av helt olika karaktär. Den gamla manuella avverkningen med yxa och såg och så småningom motorsåg ställde stora krav på kroppsstyrka och inte minst hand/armstyrka. Belastningen var dock utpräglat dynamisk och var inte förknippad med några stora hand/arm problem så när som

vita fingrar som uppkom som ett resultat av den vibrationsexponering som motorsågarna gav.

Under 1900-talets sista decennier skedde en mycket snabb teknisk utveckling som innebar att skogsavverkningen mekaniserades och rationaliserades vilket ledde till att arbetsvillkoren i skogen förändrades radikalt. Skogshuggarens höga dynamiska belastning ersattes av maskinoperatörens låga statiska belastning med höga krav på precision sittande i en maskinhytt. Den som vill ta del av mera detaljer kring denna utveckling hänvisas till Winkel et al. (1998). Med de radikalt ändrade arbetsvillkoren har följt att den vanligaste besvärslokalisationen har flyttats från ländryggen till skuldra/nacke (Axelsson & Pontén, 1990).

Arbetet som maskinförare ställer stora krav på finmotorik vid styrningen med maskinens kontrollspakar (Gellerstedt, 1997). Dessa styrspakar tillsammans med olika typer av armstöd har successivt utvecklats och kräver idag för sin manövrering endast några enstaka procent av maximal kraft (Attebrant et al., 1997). Belastningsproblematiken är därför knappast längre en fråga om kraftamplitud utan mera en fråga om tidsförhållanden både i det korta (mikropaus) och långa (arbetstider) perspektivet (se 4.2.6). Möjligheten till mikropauser försämras sannolikt av stress, precisionskrav och exponering för helkroppsvibrationer.

Skogsmaskinförarproblematiken är i princip densamma för förare av andra typer av entreprenadmaskiner där komplexa styrfunktioner utföres via styrspakar.

7.5 Några andra exempel

Datorarbete är idag ett handintensivt arbete som allt större grupper i samhället har som huvudsaklig syssla och detta arbete är förknippat med avsevärda belastningsskadeproblem (Punnett & Bergqvist, 1997). Denna problematik är starkt kopplad till utformning av tangentbord och andra styrdon vilket redan behandlats under avsnitt 6.4 varför läsaren hänvisas dit.

Snabbköpskassörskans arbetsuppgifter är uppenbarligen handintensiva. Stora ackumulerade vikter hanteras under ett arbetspass. Skuldra/nackebesvär tycks vara den dominerande besvärsbilden och det finns indikationer på att fysiska och psykosociala faktorer samverkar till uppkomsten (Lundberg et al., 1999). Rimligen borde denna grupp ha yrkesrelaterade risker för besvär även i hand/arm. Det har dock ej gått att finna några kvalificerade studier som belyser detta.

En specifik arbetsuppgift inom kemisk laborativ verksamhet som har uppmärksamats som problematisk är användandet av pipett, speciellt den numera dominerande varianten med tummanövrerad kolv (David & Buckle, 1997). Överrisker för besvär i hand och skuldra (Gerner Björkstén et al., 1994) respektive hand och armbåge (David & Buckle, 1997) har rapporterats. Besvärerna är relaterade till relativa tiden i detta arbete (David & Buckle, 1997). Exponeringen på tummen har speciellt betonats och ansetts oacceptabelt hög, speciellt för svaga kvinnor (Fredriksson, 1995). I detta arbete ges också förslag till förbättringar av pipettens konstruktion.

Industriell sömnad är ett handintensivt arbete som karaktäriseras av ensidigt upprepade rörelser med precisionskrav i högt tempo. Arbetet utförs oftast med utförda (abducerade) överarmar och med frekventa handledsböjningar. Besvärerna hos denna yrkesgrupp är huvudsakligen lokaliserade till skuldra/nacke (Punnett et al., 1985; Blåder et al., 1991; Schibye et al., 1995) men besvär har även rapporterats från handled/hand (Punnett et al., 1985; Sokas et al., 1989). Dessa lokaliseringar stämmer väl överens med den ovan redovisade exponeringssituationen.

Tandvård är ett arbete som ställer stora krav på finmotorik under långa tider i oftast obekväma arbetsställningar. Tandläkarens och tandhygienistens exponering och besvär är förhållandevis välundersökta och här skall endast ges de viktigaste resultaten med några nyckelreferenser. För en mera ingående översikt hänvisas till en nyligen utkommen avhandling (Åkesson, 2000). De vanligaste besvärerna är lokaliserade till skuldra/nacke men besvär rapporteras även från underarm och hand (Milerad & Ekenvall, 1990; Rundcrantz et al., 1991; Åkesson et al., 1999). Dessutom förekommer domningar, försämrad känsel och vita fingrar (Milerad & Ekenvall, 1990; Åkesson et al., 1995). Dessa har ansetts vara relaterade till den högfrekventa vibrationsexponeringen från den vibrerade tandläkarborren men detta har också ifrågasatts (Ekenvall et al., 1990).

Professionella musiker utgör en yrkeskår där handintensivt arbete utövas och som har väldokumenterade muskuloskeletala problem i övre extremiteterna relaterade till yrkesutövningen (Fry, 1986; Fishbein et al., 1988; Zaza, 1998). Violinister har den största problemförekomsten (Zaza & Farewell, 1997) och det har rapporterats att hela 75 procent av 485 undersökta orkesterviolinister uppvisade någon form av övre extremitetsbesvär (Fry, 1986). I en annan undersökning fann man att cirka 40 procent av violinisters besvär härrörde från nacke/skuldra (Fishbein et al., 1988). Olika typer av nervinklämningar med smärta, domningar, kraftlöshet är också vanliga (Zaza, 1998). I violinspelet kombineras flera riskfyllda belastningsfaktorer: statisk belastning på vänster skuldra/nacke, extrema handpositioner i vänsterhanden samt kortcykligt repetitiva rörelser på båda sidor. Påverkan på ulnarnerven har också kunnat dokumenteras hos andra musikergrupper, t. ex. pianister (Charness et al., 1996). Viktiga preventiva åtgärder är att tidigt lära in en avspänd teknik, uppvärmningsövningar före spelning samt att begränsa övningsperioderna och lägga in pauser i dessa (Fry, 1987; Grieco et al., 1989; Zaza & Farewell, 1997).

8. Metoder för studier av handintensivt arbete och handverktyg

Metoder för studier av handintensivt arbete och handverktyg har successivt utvecklats och förfinats. Sådana metoder kan grovt indelas i specifika metoder som fokuserar något delproblem som till exempel yttryck eller muskelbelastning, metoder som syftar till en helhetsbedömning av exponeringssituationen, samt slutligen metoder som avser bruket av handverktyg.

8.1 Specifika metoder

8.1.1 Tryck och kraft

Tryckfördelningen i handflatan vid hantering av olika bördor och verktyg har mätts med olika typer av tryckgivare. Fellows och Freivalds applicerade 15 kraftkänsliga motståndsgivare, 12 mm i diameter, på kritiska punkter på olika verktyg (Fellows & Freivalds, 1991). Samma teknik men med mindre givare fästa direkt på huden användes i en studie av olika handtagsutformningar (Bishu et al., 1993b). I olika verktygsstudier har 15 små kapacitiva givare, 6x6 mm använts, antingen fästa på handtaget (Gurram et al., 1995), fästa på en tunn gummihandske (Hall, 1997) eller direkt på huden med dubbelhäftande tejp (Björing et al., 2000). I de två första av dessa tre undersökningar var givarna 2 mm tjocka medan de i den senare var 1 mm tjocka.

Problemen med dessa mätningar är flera. Ett grundläggande problem är att givarnas höjd gör att den lokala kontaktgeometrin förändras så att en större andel av det lokala trycket tas upp av givaren medan omgivande vävnad får en lägre tryckbelastning. Givarna överskattar därför sannolikt det normala trycket i absoluta tal. Den relativa tryckfördelningen mellan olika givare ger ändå värdefull information (se 3.2 och 6.3.1). Den mekaniska hållfastheten hos dessa typer av givare är dessutom generellt dålig (egna erfarenheter samt Radwin, personlig kommunikation).

Yttre krafter mätes normalt med hjälp av någon typ av dynamometer. För uppskattningar av gripkraft i relation till maximal kapacitet (%MVC) kan subjektiva skattningar vara ett alternativ (Grant et al., 1994).

8.1.2 Vinkelmätningar

Arbetsställningar och ledvinklar är viktiga exponeringsdata för de övre extremiteterna och det är därför viktigt att kunna mäta kroppsvinklar över tid. Sådana mätningar kan indelas i två olika typer nämligen mätningar av en kroppsdel (i detta sammanhang oftast överarmens) vinkel mot lodlinjen samt två kroppsdelars inbördes vinkel (i detta sammanhang oftast handledsvinkeln).

Vinkeln mot lodlinjen, som utgör ett mått på hur stor tyngdkraftsbelastningen är, mäts med någon form av lodvinkelgivare (Aarås & Stranden, 1988) ("physiometer") eller med hjälp av accelerometerteknik (Asterland et al., 1996). I bägge fallen är den vanligaste applikationen i detta sammanhang överarm med mätning i två riktningar nämligen abduktion/adduktion och flexion/extension.

Handledsvinkeln kan också mätas i två plan (flexion/extension och deviation) med samma givare (Hansson et al., 1996) vilken förankras på handryggen och underarmen med ett tunt mätelelement däremellan skyddad av en spiralfjäder. Viss överhörning mellan de två vinkelräta mätplanen förekommer och även påverkan av handledsrotationsläget dock utan att allvarligt äventyra validiteten i mätningarna (Hansson et al., 1996). Ett flertal andra mätanordningar har föreslagits men de här refererade är de idag praktiskt använda.

Vinkelhastighet och acceleration har också visats vara relevanta parametrar att studera (Schoenmarklin et al., 1994). Dessa variabler erhålls lämpligast genom att i dator utföra derivering av insamlade vinkeldata.

Hur ofta förekommande olika handledsvinklar är presenteras lämpligen i två-dimensionella frekvensdiagram eller tredimensionella relieffigurer (Hansson et al., 1996). Liknande visualiseringar av handvinkel i kombination med kraftutveckling kan vara illustrativa (Öster et al., 1994).

8.1.3 Elektromyografi

Mätning av intern exponering (se 3.1.1) innebär metodologiska svårigheter. Den i särklass mest använda metoden att trots allt mäta denna är elektromyografi (EMG) vilket innebär mätning av den i musklerna genererade svaga elektriska aktiviteten. För ytligt liggande muskulatur kan detta göras med hjälp av hudelektroder medan djupare liggande muskulatur kräver intramuskulära tråd- eller nålelektroder (Basmajian & DeLuca, 1985). De svaga elektriska spänningarna (storleksordningen 10-100 μV) måste förstärkas med hjälp av en EMG-förstärkare för att sedan samplas in i en dator för vidare analys.

EMG-signalens amplitud är direkt relaterad till kraftutvecklingen i muskeln varför den relativa belastningen, mätt i elektriska enheter, (relativt maximal kapacitet, MVE, eller en referenskontraktion, RVE (Mathiassen et al., 1995)) kan uppskattas ganska väl. Alternativt kan man kalibrera EMG signalen mot en känd yttre kraft (RVC) eller maximal kraftkapacitet (MVC). Dessa kalibreringsalternativ tillför dock flera felkällor. Underarms-EMG kan ge rimliga skattningar av gripkraft (Grant et al., 1994). Genom analys av EMG-signalens frekvensinnehåll kan även information om vissa muskulära trötthetsprocesser erhållas (Hägg, 1992).

Tillämpningen av EMG-metodik kräver tämligen avancerad utrustning såväl som gedigna metodkunskaper hos användaren men kan, rätt använd, ge unik information om muskelbelastningen i olika situationer. Den intresserade läsaren hänvisas till något av standardverken för att lära mera om EMG-metodiken grunder (Basmajian & DeLuca, 1985; Kumar & Mital, 1996). Registrering och analys av EMG under långa tider under yrkesmässiga former ställer speciella krav

på datareduktion och analys. För en översikt se Hägg et al. (2000). Många av de undersökningar som tidigare har refererats i detta arbete där den muskuloskeletala belastningen uppskattats i olika praktiska situationer (t. ex. kapitel 6 och 7) är baserade på EMG-teknik.

8.1.4 Vibrationsmätningar

Mätgivare för vibrationer är accelerometrar vilka är små mekanoelektriska givare, vanligen baserade på piezoelektriska kristaller. Dessa är känsliga för vibrationer endast i en riktning varför en fullständig mätning förutsätter tre vinkelräta givare. Givarsystemets vikt får bara uppgå till en bråkdel av vikten hos det vibrerande föremålet/verktyget för att inte störa de normala förhållandena. Hur en mätning skall genomföras är standardiserat och beskrivet i en lång rad ISO-dokument. Basdokumentet utgöres av ISO5349 (1986) med en rad delstandarder (se Gemne et al. (1992); Burström et al. (2000) för översikter).

8.1.5 Klassificering av rörelser

Produktionstekniker har haft ett stort intresse att i detalj med standardiserad terminologi beskriva hur ett manuellt arbete utförs. Detta ledde fram till MTM-metoden (Metod-Tid-Mätning) (Hasselqvist et al., 1962). Denna metod har senare vidareutvecklats för arbetsvetenskapliga ändamål till HAMA-metoden (Hand-Arm-Movement-Analysis) (Christmansson, 1993). I denna ingår tio olika rörelsetyper och tretton olika grepp typer. Metoden förutsätter videoregistrering för att kunna studera handfunktionen på den detaljnivå som metoden kräver. Den objektiva klassificeringen kompletteras också med en av operatören subjektivt skattad ansträngning för varje grepp/rörelse.

8.2 Helhetsbedömning av exponering

8.2.1 Repetitivitet

Monotont upprepade, kortcykliga rörelser utgör en fundamental riskfaktor för belastningsbesvär vid handintensivt arbete. Att på något sätt kvantitativt mäta repetitivitet är därför önskvärt. Förutom grundläggande arbetsbeskrivningar som diskuterats i 3.1.2 har försök gjorts att baserat på kontinuerliga exponeringsmätningar av vinklar och/eller EMG räkna fram olika mått som beskriver repetitivitet. Någon slutlig lösning av problemet har ännu ej presenterats men jämväl två lösningsansatser.

Mathiassen och Winkel utvecklade EVA-metoden (Exposure Variation Analysis) som ger en tvådimensionell frekvensfördelning som karaktäriserar en viss exponering (Mathiassen & Winkel, 1991). Metoden bygger på att en kontinuerlig exponeringsvariabel (ena dimensionen) delas in i ett antal klasser och att sedan ytterligare en dimension tillförs med ett antal durationsklasser (t. ex. 0-0.3,

0.3-1, 1-3,... sekunder). Värdet i en cell beskriver den ackumulerade relativa tiden (procent av totalt studerad tid) som exponeringen varit inom en viss amplitudklass med en varaktighet enligt respektive durationsklass.

EVA-metoden kan tillämpas på vilken kontinuerlig exponeringsvariabel som helst men har mest använts på EMG. För en tillämpning där EVA använts för utvärdering av både EMG och handledsvinklar se Hägg et al. (1997) där underarmsxponeringen vid bilmontering studerades.

Den andra lösningsansatsen utgår från traditionell frekvensanalys där olika sinusformade frekvenskomponenter identifieras med fourieranalys och presenteras i form av ett effektspektrum (Radwin & Lin, 1993; Hansson et al., 1996). Ett sådant kan innehålla en eller flera toppar beroende på hur komplext det studerade arbetet är. Metoden bygger på att en exponeringsvariabel (vanligen handledsvinkel) kan delas upp i olika frekvenskomponenter. Metoden ger en tekniskt god bild av dominerande frekvenser men värdet av denna ansats för bedömningen av skaderisker är oklart. Det har också förslagits att beräkna en medelfrekvens ur spektrum (Mean Power Frequency) (Hansson et al., 1996) vilket kan vara befogat vid en dominerande frekvenstopp. Förekommer det flera toppar blir dock en sådan siffra svårtolkad.

Ett antal mera tillämpade metoder för bedömning av repetitivt manuellt arbete har föreslagits (Tanaka & McGlothlin, 1993; Moore & Garg, 1995; Occhipinti, 1998; Seth et al., 1999). Metoderna beaktar alla kraft, vinklar och repetitivitet på olika sätt och baserar sig i viss utsträckning på hypotetiska antaganden. Metodernas validitet återstår att visa.

8.2.2 Observationsmetoder

En ofta använd metod att bedöma ett handintensivt arbete är genom att utföra systematiska observationer. Ett flertal observationsmetoder finns utvecklade (Juul-Kristensen et al., 1997) men endast en, hand-PEO, fokuserar speciellt handintensivt arbete (Fransson-Hall et al., 1996). Denna metod bygger på en generell observationsmetod PEO (Portable Ergonomic Observation) (Fransson-Hall et al., 1995). PEO-konceptet är baserat på kontinuerlig observation av ett antal definierade händelser vars frekvens och duration dokumenteras med hjälp av en bärbar dator. I hand-PEO utgörs dessa händelser av: användande av handverktyg, motoriserat handverktyg, slag med handen, manuell montering, helhandsgrepp och fingertoppsgrepp. Datorn presenterar efter avslutad observation olika typer av statistik för de observerade händelserna. I en senare version av PEO, PEO-flex, kan man fritt välja vilka händelser som skall studeras (Fredriksson, 1999).

8.2.3 Egenbedömning

Operatörens egen bedömning av arbetsförhållandena beaktas ofta i form av olika typer av enkäter men frågorna avser i de flesta fall besvär och obehag utan försök att från operatören få information om eventuell relation till arbetsförhållandena.

Armstrong och medarbetare fann att bilmontörer kunde göra mestadels relevanta skattningar av använda verktyg vad det gäller vikt, storlek på handtag, arbetsställningar och helhetsbedömning (Armstrong et al., 1989).

I den så kallade VIDAR-metoden (VIdeo- och Datorbaserad ARbetsanalys) använder man sig av videoregistreringar av en operatör i arbete varefter denne i efterhand får se sig själv på en datorskärm och kan stoppa visningen när som helst för att peka ut problematiska moment i arbetet (Kadefors & Forsman, 2000).

8.3 Bedömning av handverktyg

När det gäller effekter på människan av användning av ett verktyg är det ett flertal förhållanden som bör beaktas; egenskaper hos verktyget: mekanisk effekt (krafter, moment, acceleration), vikt och tyngdpunkt, dimensioner och greppkaraktäristik, ytegenskaper; effekter på brukaren: arbetsställning, handledsställning, muskelbelastning, grepptyp(er), lokalt tryck, risk för skada av verktyget (Kadefors et al., 1993). Dessa aspekter utvecklas närmare på svenska i Wikström et al. (1991). För att kunna göra en kvalificerad sådan bedömning krävs därför att man använder flertalet metoder redovisade ovan.

En grundsten i denna svenska bedömningsmodell är den så kallade kuben (Wikström et al., 1991; Sperling et al., 1993). Se figur 5. Denna utgår från de tre basvariablerna kraft, precision och tid, vilka delas in i tre nivåer vardera, höga, måttliga och låga krav. Gränserna för klassificeringen av de tre basvariablerna är:

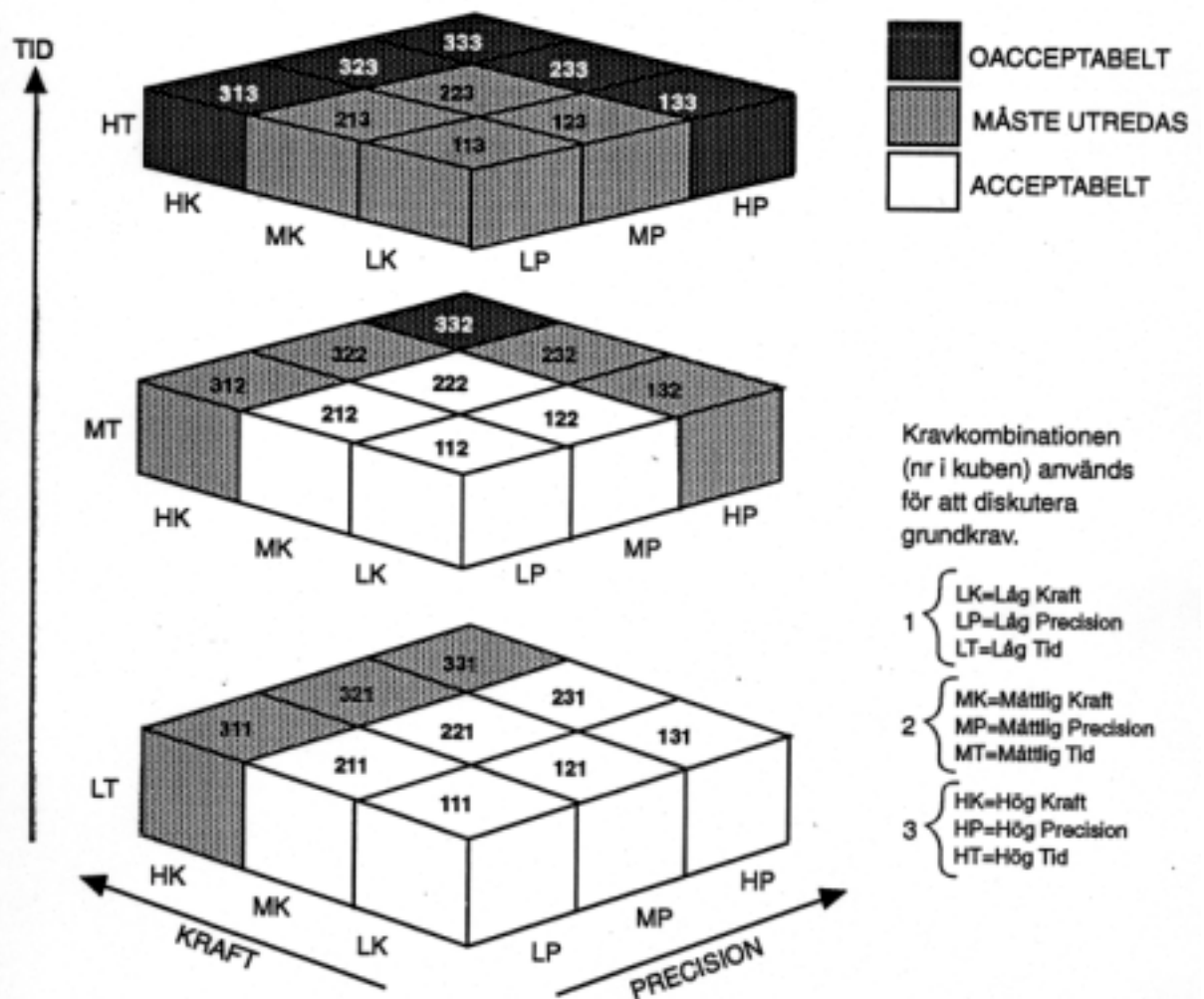
	Låg	Måttlig	Hög
Kraft	<10 %MVC	10-30 %MVC	>30 %MVC
Precision, kraft	>10 %	2-10 %	< 2 %
position	> 5 mm	1-5 mm	< 1mm
Tid, fördelat över dagen	<1 tim.	1-4 tim.	> 4 tim.
koncentrerat	<10 min.	10-30 min.	> 30 min.

Tre variabler gånger tre klasser ger totalt 27 möjliga kombinationer vilka alla diskuteras i detalj i Wikström et al. (1991). Alla situationer med höga krav på tid i kombination med höga krav på kraft och/eller precision, plus kombinationen höga krav på kraft och precision och måttliga tidskrav (totalt 6 kombinationer) bedöms som oacceptabla. Ytterligare 11 kombinationer ”bör undersökas närmare” medan 10 kombinationer anses vara acceptabla. Se figur 5.

Speciella ckecklistor för val och bedömning av handhållna maskiner och muskeldrivna handverktyg har utvecklats att användas av inköpare, produktionstekniker, brukare och företagshälsovårdspersonal (Kadefors & Sperling, 1995; Sperling et al., 1995b).

Ett tekniskt system för enkel mätning av kraftutveckling i olika verktygstyper har nyligen utvecklats (Murphy et al., 2000). Systemet möjliggör mätning av kraftutvecklingen i tänger, knivar och skruvmejslar i verklig miljö (McGorry et al., 2000).

Brukarens synpunkter på ett verktyg är nödvändiga när det gäller komfortbedömningar och inte minst när det gäller produktivitetsspekter. Den förra aspekten har redan delvis behandlats i avsnitt 8.2.3. Som redan påpekats i inledningen av avsnitt 6.1 har den industriella tillverkningen av verktyg inneburit att mycket av forna tiders återföring av brukarsynpunkter inte längre sker i samma utsträckning. Detta har på senare år uppmärksammats av seriösa tillverkare. En metodik i elva steg för utveckling av nya verktyg där brukaraspekter beaktas redan från början i utvecklingsprocessen har utvecklats och dokumenterats (Bobjer & Jansson, 1997). Denna brukarkunskap har ofta karaktären av "tyst kunskap" som kan dokumenteras först vid praktiska försök i sin normala miljö (Bobjer et al., 1997).



Figur 5. Kubmodellen för bedömning av handverktyg. Från Wikström et al. (1991).

9. Avslutande reflexioner och slutsatser

Målet med denna översikt har varit att ge en bred översikt över kunskapsläget inom området handintensivt arbete med tonvikt på funktion i och effekter på det muskuloskeletala systemet i relation till verktyg och arbetsuppgifter. Urvalet av litteratur har fått begränsas även inom vissa mera centrala avsnitt som till exempel området tangentbord för datorarbete. Flera av avsnitten skulle förtjäna separata litteraturgenomgångar för en mera djupgående belysning. För den intresserade läsaren finns dock förhoppningsvis tillräckligt med litteraturreferenser för att kunna tränga djupare in i respektive område på egen hand.

I kapitel 6 och 7 redovisas kunskapsläget för några aktuella och/eller välbeskrivna arbetsuppgifter och verktyg. Här finns det dock en omfattande litteratur som beskriver mera udda arbetsuppgifter och verktyg som har fått lämnas därhän i detta arbete. Den snabba utvecklingen när det gäller att via internet göra litteratursökningar gör dock att läsare med specifika frågeställningar rekommenderas att utnyttja dessa möjligheter. Den inom detta område kanske mest närliggande litteraturdatabasen är Ergonomics Abstracts (<http://pinkerton.catchword.com/ergonomics/>) där man även i de flesta fall kan få fram sammanfattningen av en artikel. Allt fler tidskrifter erbjuder numera också möjligheten att hämta fulla artiklar via internet. Arbetslivsinstitutets bibliotek (<http://www.niwl.se/bibl/>) kan också ge god hjälp vid litteratursökning.

När det gäller belastningsbesvär relaterade till handintensivt arbete kan man utifrån redovisningen i kapitel 7 skönja vissa generella mönster. Nästan alla typer av handintensivt arbete som utförs under långa tidsperioder är förknippat med risker för besvär i nacke/skuldra, sannolikt beroende på att en stabilisering av armens ”fundament” krävs vid de flesta manuella aktiviteter men sannolikt också på grund av de förhållandevis starka sambanden med psykosociala faktorer. När det gäller mera perifera besvär kan man ofta identifiera en mera specifik relation till den aktuella fysiska belastningen.

Trots en omfattande forskning inom området finns många kunskapsluckor som är angelägna att fylla genom framtida forskning. När det gäller belastningsskador saknas fortfarande mycket både när det gäller riskfaktorer mekanismer och gränsvärden. Detta gäller inte minst vibrationsexponering. Som påpekats i kapitel 5 spelar också mekanismforskningen en viktig roll för utvecklingen av epidemiologin inom området. Inte minst utgör det komplexa samspelet mellan psykologiska och fysiska faktorer en stor utmaning.

Det finns idag tämligen välgrundade allmänna rekommendationer för handverktygs mått medan rekommendationer för vikter, krafter och tryck baserar sig på ett mera ofullständigt underlag.

Många komponenter i modern industri, inte minst inom bilindustrin, tryckes eller slås på plats. Denna typ av monteringsarbete har nästan inte alls undersökts med avseende på effekter på hand/arm och rekommenderade gränser för kraft och tryck.

Kontrollen över ett verktygs position sker i nära samspel med människans proprioceptiva system. Detta samspel är sannolikt beroende av t. ex. handställning och kontaktyta, som har diskuterats i 6.1.4. Dessa förhållande är sannolikt av stor betydelse för handverktygsutformning och prestation men har inte alls utforskats.

Kraven på precision i ett handintensivt är nära kopplat till stabiliserande muskelaktivering i skuldra/arm/hand som diskuterats i 3.1.3. Kunskapsnivån inom detta område är dock ofullständig.

Ett annat närliggande mycket ofullständigt belyst område är den individuella arbetsteknikens betydelse både för belastningsskador men även för produktivitet. Fler studier av påverkan på manuell funktion och produktivitet av t.ex. trötthet och kyla av den typ som redovisas i 7.3 är också önskvärda. Detta leder in på samspelet människa-verktyg som är mycket komplext och kräver mångmetodologiska ansatser som diskuterats i kapitel 8. Vissa arbeten/verktyg har studerats med sådana ansatser men här återstår mycket att göra.

Människans maximala kapacitet när det gäller kraftutveckling finns beskriven i ett antal funktioner som redovisats i 2.4.1. Här återstår dock många hand-arm-funktioner att dokumentera.

I det fortlöpande preventiva arbetet när det gäller belastningsskador men även när det gäller utveckling av produktivitet och kvalitet i produktionen kan förhoppningsvis detta arbete erbjuda användbart underlag inte minst på företagsnivå när det gäller att utveckla det interna ergonomiarbetet. Goda exempel på detta kan ses i Svensson och Sandström (1995; 1997).

10. Sammanfattning

Hägg GM (2001) *Handintensivt arbete - En belastningsergonomisk kunskapsöversikt gällande människans kapacitet och interaktion med verktyg och arbetsuppgifter*. Arbete och Hälsa 2001:9

Kunskapsläget vad det gäller olika aspekter på handintensivt yrkesarbete sammanfattas i en bred litteraturöversikt. Huvudfokus ligger på funktion och besvär i det muskuloskeletala systemet i övre extremiteterna i relation till verktyg och arbetsuppgifter. I arbetet återfinns kortfattade genomgångar av handens och armens basala anatomi, neuromotoriska funktion samt maximala kapacitet och antropometri.

Olika typer av exponering (kraft, tryck, vibrationer, klimatfaktorer, kemiska substanser) beskrivs med definitioner även för repetitivitet även inkluderande interaktioner med psykosociala faktorer. Effekter på de övre extremiteterna redovisas tillsammans med kända riskfaktorer.

Kunskapsläget vad det gäller ergonomisk utformning av ett antal vanligt förekommande verktyg och maskiner redovisas. Vidare ges en översikt över litteraturen vad det gäller vanligt förekommande problemyrken och arbetsuppgifter.

Ett antal metoder för att mäta olika specifika exponeringsmodaliteter redovisas tillsammans med metoder för helhetsbedömningar av handintensivt arbete.

Avslutningsvis identifieras ett antal kunskapsluckor där fortsatt forskning är angelägen.

Några övergripande slutsatser:

- Det vetenskapliga underlaget för kvalitativt identifierade riskfaktorer befinnes vara tämligen gott, medan däremot underlaget för kvantitativa bedömningar av risk samt för gränsvärden i allmänhet är dåligt.
- I de flesta fall kan man identifiera ett rimligt orsakssammanhang mellan exponeringsfaktorer och besvärsutfall.
- Skulder/nackbesvär är vanligt förekommande i nästan alla typer av handintensivt arbete som utövas under en större del arbetstiden.

11. Summary in English

Hägg GM (2001) *Hand intensive work – A scientific review of human capacity and interaction with tools and tasks*. Arbete och Hälsa 2001:9

The state of the art regarding different aspects on professional hand intensive work is summarised in a broad literature overview. The main focus is on function and disorders in the musculoskeletal system of the upper extremities in relation to tools and work tasks. The work comprises brief overviews of basic anatomy, neuromuscular function and maximum capacity of the hand and arm.

Different types of exposure (force, pressure, vibrations, climate factors, chemical agents) are described including definitions of repetitiveness and interaction with psychosocial factors. The effects on the upper extremities are reviewed together with known risk factors.

The state of the art regarding ergonomic design of common tools and machines is described. In addition to this the literature concerning problematic businesses and work tasks is reviewed.

Appropriate methods for evaluation of specific exposures as well as over all assessment of manual work and tool use are described.

Finally a number of knowledge gaps are identified where there are great needs for future research.

Some overall conclusions:

- The scientific basis for qualitatively identified risk factors is fairly good while the basis for quantitative risk assessment and limits is mostly poor.
- In most cases a plausible cause effect relationship can be identified between exposure factors and disorders.
- Shoulder/neck disorders are common in any hand intensive work extended over a major part of the working time.

12. Referenser

- Aaras A, Fostervold KI, Ro O, Thoresen M & Larsen S (1997) Postural load during VDU work: A comparison between various work postures. *Ergonomics*, 40(11), 1255-1268.
- Aaras A, Ro O & Thoresen M (1999) Can a More Neutral Position of the Forearm When Operating a Computer Mouse Reduce the Pain Level for Visual Display Unit Operators? A Prospective Epidemiological Intervention Study. *Int J Hum Comp Interact*, 11(2), 79-94.
- Aarås A & Strandén E (1988) Measurement of postural angles at work. *Ergonomics*, 31, 935-944.
- Abu-Ali M, Purswell JL & Schlegel RE (1996) Psychophysically determined work-cycle parameters for repetitive hand gripping. *Int J Ind Erg*, 17, 35-42.
- Aghazadeh F & Mital A (1987) Injuries due to handtools. *Applied Ergonomics*, 18(4), 273-278.
- Akers WA (1985) Measures of friction injuries in man. *Am J Ind Med*, 8, 473-481.
- Albin TJ (1997) *Effect of wrist rest use and keyboard tilt on wrist angle while keying*. IEA-97, Tampere, 4, Finnish Institute of Occupational Health.
- Andersson ER (1990) Designing and testing of a vibration attenuating handle. *Int J Ind Ergonomics*, 6, 119-125.
- Armstrong TJ (1983) *An ergonomics guide to carpal tunnel syndrome*. Acron, Ohio: American Industrial Hygiene Association.
- Armstrong TJ, Foulke JA, Joseph BS & Goldstein SA (1982) Investigation of cumulative trauma disorders in a poultry processing plant. *Am Ind Hyg Assoc J*, 43, 103-116.
- Armstrong TJ, Punnett L & Ketner P (1989) Subjective worker assessments of hand tools used in automobile assembly. *Am Ind Hyg Assoc J*, 50, 639-645.
- ASS (1998) *Belastningsergonomi*. AFS 1998:1, Solna: Arbetskyddsstyrelsen.
- ASS (1999) *Arbetsjukdomar och arbetsolyckor 1997.*, Solna: Arbetskyddsstyrelsen.
- Asterland P, Hansson GÅ & Kellerman M (1996) *New data logger system for work load measurements - based on PCMCIA memory cards*. 25th International Congress on Occupational Health, Stockholm, ICOH.
- Attebrant M, Winkel J, Mathiassen SE & Kjellberg A (1997) Shoulder-arm muscle load and performance during control operation in forestry machines. *Appl Ergon*, 28(2), 85-97.
- Axelsson SA & Pontén B (1990) New ergonomic problems in mechanized logging operations. *Int J Ind Erg*, 5(3), 267-273.
- Ayoub MM & Mital A (1989) *Manual materials handling*. London: Taylor & Francis.
- Basmajian J & DeLuca CJ (1985) *Muscles Alive*. (5 ed.). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Batra S, Bronkema-Orr LA, Wang MJ & Bishu RR (1994) Glove attributes: can they predict performance? *Int J Ind Erg*, 14(3), 201-209.
- Bellingar TA & Slocum AC (1993) Effect of protective gloves on hand movement: an exploratory study. *Appl Erg*, 24(4), 244-250.
- Benktzon M (1993) Designing for our future selves: the Swedish experience. *Applied Ergonomics*, 24(1), 18-27.
- Bensel C (1993) The effects of various thicknesses of chemical protective gloves on manual dexterity. *Ergonomics*, 36, 687-696.
- Bernard BP ed. (1997) *Musculoskeletal disorders and workplace factors*. Cincinnati: NIOSH.
- Bildt C, Carlander A, Fredriksson K, Fröberg J, Hallén S, Hägg GM, Kilbom Å & Stroud S (1999) *Utvärdering av en förändrad produktionsprocess hos en svensk biltillverkare*. Arbete och Hälsa 1999:24, Solna: Arbetslivsinstitutet.
- Bishu R, Kim B & Klute G (1995) Force-endurance relationship: does it matter if gloves are donned? *Appl Erg*, 26(3), 179-185.

- Bishu R, Riley MW & Wang W (1993a) Comparison of a subjective measure of hand discomfort and finger forces. In: Nielsen R & Jorgensen K eds. *Advances in Industrial Ergonomics and Safety V*. Pp 637-644, London: Taylor & Francis.
- Bishu RR, Wang W & Chin a (1993b) Force distribution at the container hand/handle interface using force-sensing resistors. *Int J Ind Erg*, 11(3), 225-231.
- Björing G (1997) *Sprutpistolens ergonomi*. Arbetslivsrapport 1997:13, Solna: Arbetslivsinstitutet.
- Björing G & Hägg GM (2000a) The ergonomics of spray guns - Users' opinions and technical measurements on spray guns compared with previous recommendations for hand tools. *Int J Ind Erg*, 25, 405-414.
- Björing G & Hägg GM (2000b) Musculoskeletal exposure of manual spray painting in the woodworking industry - An ergonomic study on painters. *Int J Ind Erg*, 26, 603-614.
- Björing G, Johansson L & Hägg G (1999) Choice of handle characteristics for pistol grip power tools. *Int J Ind Erg*, 24, 647-656.
- Björing G, Johansson L & Hägg G (2000) *Surface pressure in the hand when holding a drilling - machine under different drilling conditions*. IEA-2000, San Diego, 5, HFES.
- Björkstén M & Jonsson B (1977) Endurance limit of force in long-term intermittent static contractions. *Scand J Work Environ Health*, 3, 23-27.
- Blåder S, Barck-Holst U, Danielsson S, Ferhm E, Kalpamaa M, Leijon M, Lindh M & Markhede G (1991) Neck and shoulder complaints among sewing-machine operators. *Appl Ergonomics*, 22, 251-257.
- Bobjer O (1984) *Screwdriver handles - design for power and precision*. International Conference on Occupational Ergonomics.
- Bobjer O (1989) Ergonomic knives. In: Mital A ed. *Advances in industrial ergonomics and safety I*. Pp 291-298, London: Taylor & Francis.
- Bobjer O, Feeney R & Jansson C (1997) Tacit knowledge. The basic source of information for design of ergonomic hand tools. In: Das B & Karwowski W eds. *Advances in occupational ergonomics and safety 1997*. Pp 219-222, Amsterdam: IOS Press.
- Bobjer O & Jansson C (1997) *A research approach to the design of ergonomic hand tools. The 11-point programme*. IEA-97, Tampere, Vol. 2, FIOH.
- Bobjer O, Johansson SE & Piguet S (1993) Friction between hand and handle. Effects of oil and lard on textured and non-textured surfaces; perception of discomfort. *Appl Erg*, 24(3), 190-202.
- Bobjer O, McBride P & Henson D (1998) User trials of manual cutters. In: Kumar S ed. *Advances in occupational ergonomics and safety 2*. Pp 413-416, Amsterdam: IOS Press.
- Buchholtz B, Fredrick L & Armstrong TJ (1979) An investigation of human palmar friction and the effects of material, pinch force and moisture. *Ergonomics*, 31(3), 317-325.
- Buckle P & Devereux J (1999) *Risk factors for work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders*. Doc 0643/99 EN, Bilbao: European Agency for Safety and Health at Work.
- Buhman DC, Cherry JA, Bronkema-Orr L & Bishu R (2000) Effects of glove, orientation, pressure, load and handle on submaximal grasp force. *Int J Ind Erg*, 25, 247-256.
- Bullinger HJ, Kern P & Solf JJ (1979) *Reibung zwischen hand und griff*. Forschungsbericht Nr 213, Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung.
- Burström L (1996) The influence of individual factors on the absorption of vibration energy in the hand and arm. *Central Europ J Public Health*, 4, 50-52.
- Burström L & Lundström R (1994) Absorption of vibration energy in the human hand and arm. *Ergonomics*, 37(5), 879-890.
- Burström L, Lundström R, Lindmark A & Landström U (1989) *Utvärdering och sammanställning av egenskaper hos vibrationsisolerande handtag och handskar.*, Solna: Arbetsmiljöfonden.

- Burström L, Lundström R & Sörensson A (2000) *Kunskapsunderlag för åtgärder mot skador och besvär i arbete med handhållna vibrerande maskiner - Tekniska aspekter*. Arbete & Hälsa 2000:17, Stockholm: Arbetslivsinstitutet.
- Byström S, Fransson-Hall C, Welander T & Kilbom Å (1995) Clinical disorders and pressure-pain threshold of the forearm/hand among automobile assembly line workers. *J Hand Surgery (Br)*, 20B(6), 782-790.
- Cederqvist T & Lindberg M (1993) Screwdrivers and their use from a Swedish construction industry perspective. *Applied Ergonomics*, 24(3), 148-157.
- Chaffin D (1992) *Biomechanical modeling for simulation of 3D static human exertions*. Computer application in ergonomics, occupational safety and health, Tampere, North Holland.
- Chaisson CE, Zhang Y, Sharma L, Kannel W & Felson DT (1999) Grip strength and the risk of developing radiographic hand osteoarthritis. *Arthr Rheumat*, 42(1), 33-38.
- Chapanis A & Gropper BA (1968) The effect of the operator's handedness on some directional stereotypes in control-display relationships. *Human factors*, 10, 303-320.
- Charness ME, Ross MH & Shefner JM (1996) Ulnar neuropathy and dystonic flexion of the fourth and fifth digits: clinical correlation in musicians. *Muscle Nerve*, 19, 431-437.
- Chen C, Burastero S, Tittiranonda P, Chen C, Holterbach K, Shih M & Denloy R (1994) *Quantitative evaluation of four computer keyboards. Wrist posture and typing performance*. HFES 38th annual meeting, HFES, Santa Monica.
- Chiang HC, Ko YC, Chen SS, Yu HS, Wu TN & Chang PY (1993) Prevalence of shoulder and upper-limb disorders among workers in the fish-processing industry. *Scand J Work Environ Health*, 19(2), 126-131.
- Christmansson M (1993) *HAMA-metoden - en metod för analys av hand- och armrörelser.*, Göteborg: Institutionen för arbetsorganisation, CTH.
- Cisneros CM & Armstrong TJ (1994) Diameter preference for cylindrical handles for in line tools. *Proceedings of the 12th Triennial Congress of the International Ergonomics Association*. Pp 78-79, Toronto, Canada: Human Factors Association of Canada.
- Cobb TK, An K-N & Cooney WP (1995) Externally applied forces to the palm increase carpal tunnel pressure. *Journal of Hand Surgery*, 20A(2), 181-185.
- Cochran DJ & Riley RW (1986a) The effect of handle shape and size on exerted forces. *Human Factors*, 27, 295-301.
- Cochran DJ & Riley RW (1986b) An evaluation of knife handle guarding. *Human Factors*, 27, 253-256.
- Comaish S & Bottoms E (1971) The skin and friction: deviations from Amonton's laws and the effects of hydration and lubrication. *Br J Derm*, 84, 37-43.
- Cook C, Burgess-Limerick R & Chang S (2000) The prevalence of neck and upper extremity musculoskeletal symptoms in computer mouse users. *Int J Ind Erg*, 26, 347-356.
- Coonrad RW & Hooper WR (1973) Tennis elbow: Its course, natural history, conservative and surgical management. *J Bone Joint Surg*, 55-A(6), 1177-1182.
- Coren S (1992) *Left-hander syndrome: The causes and consequences of left-handedness*. New York: Free Press.
- Corlett EN & Clark TS (1995) *The ergonomics of workspaces and machines. A design manual*. (2nd ed.). London: Taylor & Francis.
- Dahlin LB & Lundborg G (1994) *Mechanisms underlying neuromuscular dysfunction following vibration exposure. A brief review of experimental findings*. Hand-arm vibration syndrome: diagnostics and quantitative relationships to exposure, Solna, Arbete & Hälsa 1995:5, NIOH.
- David G & Buckle P (1997) A questionnaire survey of the ergonomic problems associated with pipettes and their usage with specific reference to work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 28(4), 257-262.

- Degani A, Asfour SS, Waly SM & Koshy JG (1993) a comparative study of two shovel designs. *Applied Ergonomics*, 24(5), 306-312.
- Dempsey PG & Ayoub MM (1996) The influence of gender, grasp type, pinch width and wrist position on sustained pinch strength. *Int J Ind Erg*, 17, 259-273.
- Dempsey PG & Leamon TB (1995) Implementing bent-handled tools in the workplace. *Ergonomics in Design*, 15-21.
- Dennett X & Fry HJH (1988) Overuse syndrome: A muscle biopsy study. *Lancet*, 23(April), 905-908.
- Diagram-Group (1984) *Handens redskap och verktyg (Handtools of arts and crafts)*. (Karta di Koesoemah M, Trans.). Stockholm: Forum.
- DIN (1978) *Körpermasse des menschen*. DIN 33 402, Berlin: Deutsches Institut für Normung.
- Drillis R, Schneck D & Gage H (1963) The theory of striking tools. *Human Factors*, 5, 467-478.
- Drury CG (1980) Handles for manual materials handling. *Applied Ergonomics*, 11, 35-42.
- Drury CG (1985) The role of the hand in manual materials handling. *Ergonomics*, 28(1), 213-227.
- Ekenvall L, Hagberg M, Lundborg G & Lundström R (1991) *Att förebygga vibrationskador*. Stockholm: Arbetsmiljöfonden.
- Ekenvall L, Nilsson BY & Falconer C (1990) Sensory perception in the hands of dentists. *Scand J Work Environ Health*, 16(5), 334-339.
- Eklund L, Hansson JE & Kihlberg S (1986) *The Influence of the Grinding Wheel on the Vibration Level of Grinders*. Undersökningrapport 1986:36, Solna: Arbetskyddsstyrelsen.
- Elnäs S, Holmer I & Olesen BW eds. (1985) *Arbetsplatsens klimat, mätning och bedömning*. (Vol. Arbete och Hälsa 1985:43). Solna: Arbetskyddsstyrelsen.
- Enander A (1986) *Sensory reactions and performance in moderate cold*. Arbete och Hälsa 1986:32, Solna: Arbetskyddsstyrelsen.
- Falck B & Aarnio P (1983) Left-sided carpal tunnel syndrome in butchers. *Scand J Work Environ Health*, 9, 291-297.
- Fallentin N, Viikari-Juntura E, Wærsted M & Kilbom Å (2000) Evaluation of physical workload standards/guidelines from a Nordic perspective. *Scand J Work Environ Health*, In press.
- Feinstein B, Langton JNK, Jameson RM & Schiller F (1954) Experiments on pain referred from deep somatic tissues. *J Bone Joint Surg*, 36A, 981-987.
- Feldman RG, Goldman R & Keyserling WM (1983) Peripheral nerve entrapment syndromes and ergonomic factors. *Am J Ind Med*, 4, 661-681.
- Fellows GL & Freivalds A (1991) Ergonomic evaluation of a foam rubber grip for tool handles. *Applied Ergonomics*, 22, 225-230.
- Fennigkoh L, Garg A & Hart B (1999) Mediating effects of wrist reaction torque on grip force production. *Int J Ind Erg*, 23, 293-306.
- Fishbein M, Middlestadt SE, Ottati V, Straus S & Ellis A (1988) Medical problem among ICSOM musicians: overview of a national survey. *Med Probl Perform Art*, 3, 1-8.
- Fitzhugh FE (1973) *Grip strength performance in dynamic gripping tasks.*, Ann Arbor: Occupational Safety and Health Engineering, University of Michigan.
- Fogleman MT, Freivalds A & Goldberg JH (1993) An ergonomic evaluation of knives for two poultry cutting tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 11, 257-265.
- Forsberg A (1999) *Production ergonomics in car manufacturing - continual efforts in significant areas*. Corporate Initiatives in Ergonomics, Stockholm, Arbete och Hälsa, 1999:10, National Institute for Working Life.
- Fransson C & Winkel J (1991) Hand strength: the influence of grip span and grip type. *Ergonomics*, 34, 881-892.
- Fransson-Hall C, Byström S & Kilbom Å (1994) *Grip types and work operations among automobile assembly line workers*. IEA-94, Toronto.

- Fransson-Hall C, Byström S & Kilbom Å (1996) Characteristics of forearm-hand exposure in relation to symptoms among automobile assembly line workers. *American Journal of Industrial Medicine*, 29, 15-22.
- Fransson-Hall C, Gloria R, Karlqvist L, Wiktorin C, Winkel J, Kilbom Å & Stockholm MUSIC I study group (1995) A portable ergonomic observation method (PEO) for computerized on-line recording of postures and manual handling. *Appl Ergon*, 26, 93-100.
- Fransson-Hall C & Kilbom Å (1993) Sensitivity of the hand to surface pressure. *Appl Ergon*, 24, 181-189.
- Fraser TM (1980) *Ergonomic principles in the design of hand tools*. Genève: International Labour Office.
- Fredriksson K (1995) Laboratory work with automatic pipettes: a study on how pipetting affects the thumb. *Ergonomics*, 38(5), 1067-1073.
- Fredriksson K (1999) *PeoFlex - a versatile and effective instrument for work load assessment. Example from an automobile manufacturing plant*. CAES'99, Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Fregert S, Björkner B, Bruze M, Dahlquist I, Gruvberger B, Persson K, Trulsson L & Zimerson E (1990) *Yrkesdermatologi*. Lund: Studentlitteratur.
- Freivalds A (1986a) The ergonomics of shovelling and shovel design. *Ergonomics*, 29(1), 19-30.
- Freivalds A (1986b) The ergonomics of shovelling and shovel design - a review of the literature. *Ergonomics*, 29(1), 3-18.
- Freivalds A (1987) The ergonomics of tools. In: Osborne D ed. *International Reviews of Ergonomics I*. Pp 43-75, London: Taylor & Francis.
- Freivalds A & Eklund J (1993) Reaction torques and operator stress while using powered nutrunners. *Appl Erg*, 24, 158-164.
- Freivalds A & Kim YJ (1990) Blade size and weight effects in shovel design. *Applied Ergonomics*, 21(1), 39-42.
- Frost P, Andersen JH & Neilsen VK (1998) Occurrence of carpal tunnel syndrome among slaughterhouse workers. *Scand J Work Environ Health*, 24, 285-292.
- Fry HJH (1986) Incidence of overuse syndrome in the symphony orchestra. *Med Probl Perform Art*, 1, 51-55.
- Fry HJH (1987) Prevalence of overuse (injury) syndrome in Australian music schools. *Br J Ind Med*, 44, 35-40.
- Gamberale F, Ljungberg AS, Annwall G & Kilbom Å (1987) An experimental evaluation of psychophysical criteria for repetitive lifting work. *Appl Erg*, 18(4), 311-321.
- Gelberman RH, Herginroeder PT, Hargens AR, Lundborg GN & Akeson WH (1981) The carpal tunnel syndrome: a study of carpal pressures. *J Bone Joint Surg*, 63A, 380-383.
- Gellerstedt S (1997) Mechanised cleaning of young forest - the strain on the operator. *Int J Ind Erg*, 20(2), 137-143.
- Gemne G, Brammer AJ, Hagberg M, Lundström R & Nilsson T eds. (1995) *Hand-arm vibration syndrome: Diagnostics and quantitative relationships to exposure. Stockholm workshop 94*. (Vol. Arbete och Hälsa 1995:5). Stockholm: National Institute for Working Life.
- Gemne G & Lundström R (2000) *Kunskapsunderlag för åtgärder mot skador och besvär i arbete med handhållna vibrerande maskiner - Medicinska aspekter*. Arbete och Hälsa 2000:18, Stockholm: Arbetslivsinstitutet.
- Gemne G, Lundström R & Hansson JE (1992) *Skador och besvär av arbete med handhållna vibrerande maskiner. Kunskapsöversikt för kriteriedokumentation*. Arbete och Hälsa 1992:49, Solna: Arbetmiljöinstitutet.
- Geng Q, Chen F & Holmér I (1997) The effect of protective gloves on manual dexterity in the cold environments. *Int J Occup Safety Erg*, 3(1-2), 15-29.

- Geng QQ, Holmer I & Group CSR (2000) Change in contact temperature of finger touching on cold surfaces. *Int J Ind Erg*, In press.
- Gerner Björkstén M, Almby B & Sassarinis Jansson E (1994) Hand and shoulder ailments among laboratory technicians using modern plunger-operated pipettes. *Applied Ergonomics*, 25(2), 88-94.
- Gilad I & Harel S (2000) Muscular effort in four keyboard designs. *Int J Ind Erg*, 26(1), 1-7.
- Gjessing C, Schoenborn T & Cohen A eds. (1994) *Participatory ergonomic interventions in meatpacking plants*. (Vol. DHHS No. 94-124). Cincinnati: NIOSH.
- Goldie I (1964) Epicondylitis lateralis humeri: A pathological study. *Acta Chir Scand*, Suppl. 339, 1-119.
- Gorsche R, Preston J, Renger R, Brant R, Gerner TY & Sasyniuk TM (1998) Prevalence and incidence of stenosing flexor tenosynovitis (trigger finger) in a meatpacking plant. *JOEM*, 40(6), 556-560.
- Grandjean E (1988) *Fitting the task to the man*. London: Taylor & Francis.
- Grandjean P (1990) *Skin penetration: Hazardous chemicals at work*. London: Taylor & Francis.
- Grant KA, Habes DJ & Putz-Anderson V (1994) Psychophysical and EMG correlates of force exertion in manual work. *Int J Ind Erg*, 13, 31-39.
- Grant KA, Habes DJ & Steward LL (1992) An analysis of handle design for reducing manual effort: The influence of grip diameter. *Int J Ind Erg*, 10, 199-206.
- Greenberg L & Chaffin D (1978) *Workers and their tools*. Midland: Pendell.
- Grieco A, Occipinti E, Colombini D, Menoni O, Bulgheroni M, Frigo C & Boccardi S (1989) Muscular effort and musculo-skeletal disorders in piano students: electromyographic, clinical and preventive aspects. *Ergonomics*, 3(7), 697-716.
- Grievés J, Juhlin O, Juhlin SE & Nilsson T (1998) *Reglage för handmaskiner och redskap - triggers. Etapp 1. Triggers för eldrivna maskiner.*, Stockholm: Ergonomidesigngruppen.
- Griffin MJ (1998) Evaluating the effectiveness of gloves in reducing the hazards of hand-transmitted vibration. *Occup Environ Med*, 55(5).
- Gurram R, Gouw GJ & Rakheja S (1993) Grip pressure distribution under static and dynamic load. *Experimental Mechanics*, 33, 169-173.
- Gurram R, Gouw GJ & Rakheja S (1995) A study of grip pressure and EMG of finger flexor muscles under dynamic loads. *Ergonomics*, 38, 684-699.
- Gurram R, Rakheja S & Gouw GJ (1994) Vibration transmission characteristics of the human hand-arm and gloves. *Int J Ind Erg*, 13(3), 217-234.
- Habes DJ & Grant KA (1997) An electromyographic study of maximum torques and upper extremity muscle activity in simulated screwdriving tasks. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 339-346.
- Hadler NM, Gillings DB, Imbus HR, Levitin PM, Makuc D, Utsinger PD, Yount WJ, Slusser D & Moskowitz N (1978) Hand structure and function in an industrial setting. *Arth Rheum*, 21(2), 210-220.
- Haegerstam G (1981) Triggerpunktinducerad smärta. *Astra nytt*, 1, 7-8.
- Hagberg M (1981) Work load and fatigue in repetitive arm elevations. *Ergonomics*, 24, 543-555.
- Hagberg M (1995) The 'Mouse-arm syndrome' - concurrence of musculoskeletal symptoms and possible pathogenesis among VDU Operators. In: Grieco A, Molteni G, Piccoli B & Occhipinti E eds. *Work With Display Units -94*. Pp 381-385, Amsterdam: Elsevier.
- Hagberg M, Silverstein B, Wells R, Smith M, Hendrick H, Carayon P & Pérusse M (1995) *Work Related Musculoskeletal Disorders*. London: Taylor & Francis.
- Hagen KB, Magnus P & Vetlesen K (1998) Neck/shoulder and low-back disorders in the forestry industry: Relationship to work tasks and perceived psychosocial stress. *Ergonomics*, 41(10), 1510-1518.

- Hall C (1997) External pressure at the hand during object handling and work with tools. *Int J Ind Erg*, 20, 191-206.
- Hallbeck MS, Cochran DJ, Stonecipher BL, Riley MW & Bishu RR (1990) *Hand-handle orientation and maximum force*. 34th Human Factors Society Annual Meeting, Orlando, HFES.
- Hallbeck MS & McMullin M, D L (1993) Maximal power grasp and three-jaw chuck pinch force as a funktion of wrist position, age, and glove type. *Int J Ind Erg*, 11, 195-206.
- Hammarskjöld E (1992) *Exposure to cold, vibration or muscular fatigue - It's effect on the reproducibility of work movements*. Doctoral thesis, Karolinska institute, Stockholm.
- Hammarskjöld E, Ekholm J & Harms-Ringdahl K (1989) Reproducibility of work movements with carpenters' hand tools. *Ergonomics*, 32, 1005-1018.
- Hammarskjöld E & Harms-Ringdahl K (1992) Effect of arm-shoulder fatigue on carpenters at work. *Eur J Appl Physiol*, 64, 402-409.
- Hammarskjöld E, Harms-Ringdahl K & Ekholm J (1992) Reproducibility of carpenter's work after cold exposure. *Int J Ind Ergon*, 9, 195-204.
- Hammarskjöld E, Harms-Ringdahl K, Ekholm J & Samuelson B (1991) Effect of short-time vibration exposure on work movements with carpenters' hand tools. *Int J Ergon*, 8, 125-134.
- Hansson G-Å, Balogh I, Ohlsson K, Rylander L & Skerfving S (1996) Goniometer measurement and computer analysis of wrist and movement applied to occupational repetitive work. *J. Electromyogr. Kinesiol.*, 6, 23-35.
- Hansson JE, Eklund L, Kihlberg S, Kjellberg A, Sternerup I, Utter A, Weman K & Östergren C (1985) *Vibrationsexponering vid bilreparationsarbete. Jämförelse av verktyg och arbetsmetoder*. Arbete och Hälsa 1985:3, Solna: Arbetarskyddsstyrelsen.
- Hasselqvist O, Söderström P & Wiklund A (1962) *MTM:s grundrörelser*. Stockholm: Svenska MTM-gruppen AB.
- Hedge A, Morimoto S & McCorbie D (1999) Effects of keyboard tray geometry on upper body posture and comfort. *Ergonomics*, 42(10), 1333-1349.
- Hedge A & Powers JR (1995) Wrist postures while keyboarding: effects of a negative slope keyboard system and full motion forearm. *Ergonomics*, 38(3), 508-517.
- Herberts P, Kadefors R, Andersson GBJ & Petersén I (1981) Shoulder pain in industry: an epidemiological study on welders. *Acta Orthop Scand*, 59, 299-306.
- Hochberg FH, Harris SU & Blattert TR (1990) Occupational hand cramps: professional disorders of motor control. *Hand Clin*, 6(3), 417-428.
- Hoffmann E & Halliday J (1997) Manual assembly learning and performance of left - and right - handers. *Int. J. Industr. Erg.*, 19, 41-47.
- Hoffmann ER (1996) Movement times of of right- and left-handers using preferred and non-preferred hands. *Int J Ind Erg*, 19, 41-47.
- Hoffmann ER & Lim JTA (1997) Concurrent manual-decision tasks. *Ergonomics*, 40(3), 293-318.
- Holding DH ed. (1989) *Human skills - studies in human performance*. 2nd edition ed. Chichester: John Wiley & Sons.
- Holmér I & Geng QQ (2000) *Ergonomics of the thermal environment - Touching of cold surfaces.*, Solna: NIWL, CEN/TC 122/WG3.
- Hsu SH & Chen YH (1999) Evaluation of bent-handled files. *Int J Ind Erg*, 25, 1-10.
- Häger-Ross C (1995) *To grip and not to slip - Sensorimotor mechanisms during reactive control of grasp stability*. Doctoral thesis, University of Umeå, Umeå: Department of physiology.
- Hägg G & Milerad E (1997) Forearm extensor and flexor muscle exertion during simulated gripping work - An electromyographic study. *Clin Biomech*, 12(1), 39-43.
- Hägg GM (1991) Static work load and occupational myalgia-A new explanation model. In: Anderson P, Hobart D & Danoff J eds. *Electromyographical Kinesiology*. Pp 141-144, Amsterdam: Elsevier Science Publishers.

- Hägg GM (1992) Interpretation of EMG spectral alterations and alteration indexes at sustained contraction. *J Appl Physiol*, 73(4), 1211-1217.
- Hägg GM (1997) *Forearm flexor and extensor muscle exertion during gripping- A short review*. 13th Triennial Congress of the International Ergonomics Association, Tampere, 4, Finnish Institute of Occupational Health.
- Hägg GM (2000) Muscle fibre abnormalities related to occupational load - A review. *Eur J Appl Physiol*, 83, 159-165.
- Hägg GM & Bergqvist U (2001) *The dose concept - Reflections on definitions and applications*. X-2001, Göteborg, Arbete och Hälsa, In press, Arbetslivsinstitutet.
- Hägg GM, Luttmann A & Jäger M (2000) Methodologies for evaluating electromyographic field data in ergonomics. *J Electromyogr Kinesiol*, 10, 301-312.
- Hägg GM, Öster J & Byström S (1997) Forearm muscular load and wrist angle among automobile assembly line workers in relation to symptoms. *Appl Ergonomics*, 28(1), 41-47.
- Imrhan SN (1991) The influence of wrist position on different types of pinch strength. *Appl Erg*, 22(6), 379-384.
- ISO5349 (1986) *Mechanical vibration - Guidelines for the measurement and assessment of human exposure to hand-transmitted vibration.*, International Organization for Standardization.
- Jeding K, Hägg GM, Marklund S, Nygren Å, Theorell T & Vingård E (1999) *Ett friskt arbetsliv*. (Vol. Arbete och Hälsa 1999:22) Solna: Arbetslivsinstitutet.
- Jeng OJ, Radwin RG & Rodriguez AA (1994) Functional psychomotor deficits associated with carpal tunnel syndrome. *Ergonomics*, 37(6), 1055-1069.
- Johansson L, Kjellberg A, Kilbom Å & Hägg GM (1999) Perception of surface pressure applied to the hand. *Ergonomics*, 42(10), 1274-1282.
- Johansson RS & Vallbo ÅB (1983) Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand. *Trends in Neuroscience*, 6, 27-31.
- Johnson PW, Hagberg M, Wigaeus Hjelm E & Rempel D (2000) Measuring and characterizing force exposures during computer mouse use. *Scand J Environ Health*, 26(5), 398-405.
- Johnson SL & Childress LJ (1988) Powered screwdriver design and use: tool, task, and operator effects. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2, 183-191.
- Jonsson B (1982) Measurement and evaluation of local muscular strain on the shoulder during constrained work. *J Human Ergol*, 11, 73-88.
- Jonsson B, Lewin T, Tomsic P, Gärde G & Forssblad P (1977) *Handen som arbetsredskap*. Utbildning 1977:5, Umeå: Arbetskyddsstyrelsen.
- Juul-Kristensen B, Fallentin N & Ekdahl C (1997) Criteria for classification of posture in repetitive work by observation methods: A review. *Int J Ind Erg*, 19(5), 397-411.
- Järvholm U, Palmerud G, Karlsson D, Herberts P & Kadefors R (1991) Intramuscular pressure and electromyography in four shoulder muscles. *J Orthop Res*, 9(4), 609-619.
- Järvholm U, Styf J, Suurküla M & Herberts P (1988) Intramuscular pressure and muscle blood flow in supraspinatus. *Eur J Appl Physiol*, 58, 219-224.
- Kadefors R, Areskoug A, Dahlman S, Kilbom Å, Sperling L & Wikström L (1993) An approach to ergonomics evaluation of hand tools. *Appl Ergon*, 24, 203-211.
- Kadefors R & Forsman M (2000) Ergonomic evaluation of complex work: a participative approach employing video-computer interaction, exemplified in a study of order picking. *Int J Ind Erg*, 25, 435-445.
- Kadefors R & Sperling L (1995) *Ergonomisk checklista vid maskinval och bedömning av arbete med handhållna maskiner*. IVF 95839, Göteborg: Lindholmen Utveckling.
- Kandel ER (1985) Brain and behaviour. In: Kandel ER & Schwartz JH eds. *Principles of neural science*. Pp 3-12, New York: Elsevier.
- Karasek R & Theorell T (1990) *Healthy work: Stress, productivity and the reconstruction of working life*. New York: Basic books.

- Karlqvist L, Bernmark E, Ekenvall L, Hagberg M, Isaksson A & Rostö T (1999) Computer mouse and track-ball operation: Similarities and differences in posture, muscular load and perceived exertion. *Int J Ind Erg*, 23, 157-169.
- Karlqvist LK, Bernmark E, Ekenvall L, Hagberg M, Isaksson A & Rostö T (1998) Computer mouse position as a determinant of posture, muscular load and perceived exertion. *Scand J Work Env Health*, 24(1), 62-73.
- Kihlberg S (1995) *Acute effects and symptoms of work with vibrating hand-held powered tools exposing the operator to impact and reaction forces*. Doctoral thesis, Karolinska Institute, Solna.
- Kihlberg S, Attebrant M, Gemne G & Kjellberg A (1995a) Acute effects of vibration from a chipping hammer and a grinder on the hand-arm system. *Occup Env Med*, 52, 731-737.
- Kihlberg S, Kjellberg A & Lindbeck L (1995b) Discomfort from pneumatic tool torque reaction: acceptability limits. *Int J Ind Erg*, 15(6), 417-426.
- Kihlberg S, Lindbeck L & Kjellberg A (1994) Pneumatic tool torque reactions: Reaction forces, tool handle displacements and discomfort ratings during work with shut-off nutrunners. *Appl Erg*, 25(4), 242-247.
- Kilbom Å (1976) Circulatory adaption during static muscular contractions. *Scand J Work Environ Health*, 2, 1-13.
- Kilbom Å (1994a) Repetitive work of the upper extremity: Part I - Guidelines for the practitioner. *Int J Ind Ergon*, 14, 51-57.
- Kilbom Å (1994b) Repetitive work of the upper extremity: Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide. *Int J Ind Ergon*, 14, 59-86.
- Kilbom Å, Mäkäriäinen M, Sperling L, Kadefors R & Liedberg L (1993) Tool design, user characteristics and performance: a case study on plate-shears. *Appl Ergon*, 24(3), 221-230.
- Kim C-H & Fernandez JE (1993) Psychophysical frequency for a drilling task. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 12, 209-218.
- Kinoshita H, Kawai S & Ikuta K (1995) Contributions and co-ordination of individual fingers in multiple finger prehension. *Ergonomics*, 38(6), 1212-1230.
- Kitai E, Itay S, Ruder A, Engel J & Modan M (1986) An epidemiological study of lateral epicondylitis (tennis elbow) in amateur male players. *Ann Chir Main*, 5(2), 113-121.
- Knowlton RG (1983) Ulnar deviation and short-term strength reductions as affected by a curve-handled ripping hammer and a conventional claw hammer. *Ergonomics*, 26(2), 173-179.
- Konz S (1986) Bent hammer handles. *Human Factors*, 28, 317-323.
- Konz S (1990) *Design of hand tools*. Proceedings from the human factors society 18th annual meeting, Santa Monica, California, USA, HFES.
- Konz S & Warraich (1985) Performance differences between the preferred and non-preferred hand when using various tools. *Ergonomics International 1985*. Pp 451-453, London: Taylor and Francis.
- Kumar S & Cheng C (1991) Biomechanical analysis of raking and comparison of two rakes. *Int J Ind Erg*, 7, 31-39.
- Kumar S & Mital A eds. (1996) *Electromyography in Ergonomics*. London: Taylor & Francis.
- Kurppa K, Waris P & Rokkanen P (1979a) Peritendinitis and tenosynovitis. *Scand J Work Environ Health*, 5(Suppl. 3), 19-24.
- Kurppa K, Waris P & Rokkanen P (1979b) Tennis elbow. *Scand J Work Environ Health*, 5(Suppl 3), 15-18.
- Kurppa K, Viikari-Juntura E, Kuosma E, Huuskonen M & Kivi P (1991) Incidence of tenosynovitis or peritendinitis and epicondylitis in a meat processing factory. *Scand J Work Environ Health*, 17, 32-37.

- Leamon TB & Dempsey PG (1995) The unusual congruence between subjective evaluations and losses associated with inadequate hand tool design. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 16, 23-28.
- Lee C-C, Nelson JE, Davis KG & Marras WS (1997) An ergonomic comparison of industrial spray guns. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19, 425-435.
- Lee YH & Cheng SL (1995) Triggering force and measurement of maximal finger flexion force. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 15, 167-177.
- Lewis WG & Narayan CV (1993) Design and sizing of ergonomic handles for hand tools. *Applied Ergonomics*, 24(5), 351-356.
- Lidbeck J (1999) Centralt störd smärtmodulering förklaring till långvarig smärta. *Läkartidningen*, 96(23), 2843-2851.
- Lidén C & Rödell E (1997) *Nickel i handverktyg. 7/97*, Stockholm: Kemikalieinspektionen.
- Lindqvist B (1993) Torque reaction in angled nutrunners. *Applied Ergonomics*, 24(3), 174-180.
- Lindqvist B (1997) *Power tool ergonomics*. Stockholm: Atlas Copco.
- Lindström FE (1990) *Moderna tänger (Modern pliers)*, Eskilstuna: Lindström AB.
- Little JM & Ferguson DA (1972) The incidence of the hypothenar hammer syndrome. *Arch Surg*, 105, 685-685.
- Ljung B, Lieber R & Fridén J (1999) Wrist extensor muscle pathology in lateral epicondylitis. *J Hand Surg [Br]*, 24(2), 177-183.
- Lowden K (1977) *Manual dexterity, dominant vs non-dominant hand with pliers, screwdriver and wrench.*: Department of Industrial Engineering, Kansas State University.
- Lowe BD & Freivalds A (1999) Effect of carpal tunnel syndrome on grip force coordination on hand tools. *Ergonomics*, 42, 550-564.
- Lundberg U, Dohns IE, Melin B, Sandsjö L, Palmerud G, Kadefors R, Ekstrom M & Parr D (1999) Psychophysiological stress responses, muscle tension, and neck and shoulder pain among supermarket cashiers. *J Occup Health Psychol*, 4(5), 245-255.
- Lönn J (2001) *Assessment of movement and position sense: Methods, theories and applications*. Doctoral thesis, University of Umeå, Umeå.
- MacKenzie CL & Iberall I (1994) *The grasping hand*. Amsterdam: North-Holland.
- Madeleine P, Lundager B, Voigt M & Arendt-Nielsen L (1998) Sensory manifestations in experimental and work-related chronic neck-shoulder pain. *Eur J Pain*, 2(2), 251-260.
- Magill R & Konz S (1986) An evaluation of seven industrial screwdrivers. In: Karwowski W ed. *Trends in ergonomics/human factors III*. Pp 597-604, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V.
- Mangol P & Eckert R (1995) Analysis of the use of professional kitchen knives. In: Bittner AC & Champney PC eds. *Advances in industrial ergonomics and safety VII*. Pp 519-523, London: Taylor & Francis.
- Marley RJ (1995) Psychophysical frequency and sustained exertion at varying wrist postures for a drilling task. *Ergonomics*, 38(2), 303-325.
- Martin BJ, Armstrong TJ, Foulke JA, Natarajan S, Klinenberg E, Serina E & Rempel D (1996) Keyboard reaction force and finger flexor electromyograms during computer work. *Human Factors*, 38(4), 654-664.
- Mathiassen SE & Winkel J (1991) Quantifying variation in physical load using exposure-vs-time data. *Ergonomics*, 34, 1455-1468.
- Mathiassen SE, Winkel J & Hägg GM (1995) Normalization of surface EMG amplitude from upper trapezius muscle in ergonomic studies - a review. *J Electromyogr Kinesiol*, 5, 197-226.
- Mathiowetz V, Kashman N, Volland G, Weber K, Dowe M & Rogers S (1985) Grip and pinch strength: Normative data for adults. *Arch Phys Med Rehab*, 66, 69-72.
- McGorry R, Young SL, Murphy P & Brogmus G (2000) Experimental appraisal of a manual task evaluator. *Int J Ind Erg*, 25(3), 265-274.

- Mellström GA & Boman A (2000) Protective gloves - 2000. In: Kanerva L ed. *Handbook of occupational dermatology*. Pp 417-425, Berlin: Springer.
- Menné T & Maibach HI eds. (1991) *Exogenous dermatoses: Environmental dermatitis*. Boca Raton: CRC Press.
- Mense S (1993) Nociception from skeletal muscle in relation to clinical muscle pain. *Pain*, 54, 241-289.
- Milerad E & Ekenvall L (1990) Symptoms of the neck and upper extremities in dentists. *Scand J Work Environ Health*, 16(2), 129-134.
- Milerad E & Ericson MO (1994) Effects of precision and force demands, grip diameter, and arm support during manual work: an electromyographic study. *Ergonomics*, 37(2), 255-264.
- Mital A (1986) Effect of body posture and common hand tools on peak torque exertion capabilities. *Appl Erg*, 17(2), 87-96.
- Mital A & Channaveeraiah C (1988) Peak volitional torques for wrenches and screwdrivers. *Int J Ind Erg*, 3, 41-64.
- Mital A & Kilbom Å (1992a) Design, selection and use of hand tools to alleviate trauma of the upper extremities: Part I - Guidelines for the practitioner. *Int J Ind Ergon*, 10, 1-5.
- Mital A & Kilbom Å (1992b) Design, selection and use of hand tools to alleviate trauma of the upper extremities: Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10, 7-21.
- Mital A & Kumar S (1998a) Human muscle strength definitions, measurement and usage: Part I - Guidelines for the practitioner. *Int J Ind Erg*, 22, 101-121.
- Mital A & Kumar S (1998b) Human muscle strength definitions, measurement and usage: Part II - The scientific basis (knowledge base) for the guide. *Int J Ind Erg*, 22, 123-144.
- Mital A, Kuo T & Faard H (1994) A quantitative evaluation of gloves used with non-powered hand tools in routine maintenance tasks. *Ergonomics*, 37(2), 333-343.
- Mital A & Sanghavi N (1986) Comparison of maximum volitional torque exertion capabilities of males and females using common hand tools. *Human Factors*, 28(3).
- Moore AE & Wells R (1992) Towards a definition of repetitiveness in manual tasks. In: Matila M & Karwowski W eds. *Computer applications in ergonomics*. Pp 401-408, Amsterdam: North-Holland.
- Moore JS & Garg A (1995) The strain index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *Am Ind Hyg Ass J*, 56(5), 443-458.
- Muralidhar A & Bishu R (2000) Safety performance of gloves using the pressure tolerance of the hand. *Ergonomics*, 43(5), 561-572.
- Muralidhar A, Bishu R & Hallbeck MS (1999) The development and evaluation of an ergonomic glove. *Appl Erg*, 30(6), 555-563.
- Murphy P, McGorry R, Teare P & Brogmus G (2000) Design and performance of a manual task evaluator. *Int J Ind Erg*, 25(3), 257-264.
- Mysiew WJ & Colasis SC (1991) The pronator syndrome. *Am J Physical Med Rehab*, 70(5), 274-277.
- Nelson JB (1995) An ergonomic evaluation of dexterity and tactility with increase in examination/surgical glove thickness. *Ergonomics*, 38(4), 723-733.
- Nicolson RI & Gardner PH (1985) The QWERTY keyboard hampers schoolchildren. *Brit J Psych*, 76(4), 525-531.
- Nilsson T, Burström L & Hagberg M (1989) Risk assessment of vibration exposure and white fingers among platers. *Int Arch Occup Environ Health*, 61, 473-481.
- Nordander C, Ohlsson K, Balogh I, Rylander L, Pålsson B & Skerfving S (1999) Fish processing work: the impact of two sex dependent exposure profiles on musculoskeletal health. *Occup Environ Med*, 56, 256-264.

- Occhipinti E (1998) OCRA: A concise index for the assessment of exposure to repetitive movements of the upper limbs. *Ergonomics*, 41(9), 1290-1311.
- O'Driscoll SW, Horii E, Ness R, Cahalan TD, Richards RR & An KN (1992) The relationship between wrist position, grasp size, and grip strength. *J Hand Surg*, 17A, 169-177.
- Oh, S & Radwin R (1993) Pistol grip tool handle and trigger size on grip exertions and operator preference. *Human Factors*, 35(3), 551-569.
- Ohlsson K, Hansson G-Å, Balogh I, Strömberg U, Pålsson B, Nordander C, Rylander L & Skerfving S (1994) Disorders of the neck and upper limbs in women in the fish processing industry. *Occupational and Environmental Medicine*, 51, 826-832.
- Olafsdóttir H & Rafnsson V (1998) Increase in musculoskeletal symptoms of upper limbs among women after introduction of the flow-line in fish-fillet plants. *Int J Ind Erg*, 21, 69-77.
- Paalasmaa P, Kempainen P & Pertovaara A (1991) Modulation of skin sensitivity by dynamic and isometric exercise in man. *Eur J Appl Physiol*, 62, 279-285.
- Palmerud G, Forsman M, Sporrang H, Herberts P & Kadefors R (2000) Intramuscular pressure of the infra- and supraspinatus muscles in relation to hand load and arm posture. *Eur J Appl Physiol*, 83(2-3), 223-230.
- Peng SL (1994) Characterization and ergonomic design modifications for pneumatic percussive rivet tools. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 13, 171-187.
- Pheasant S (1987) *Ergonomics - standards and guidelines for designers*. Linford Wood: British Standards Institution.
- Pheasant S (1996) *Bodyspace*. (2nd edition ed.). London: Taylor & Francis.
- Pheasant S & O'Neill D (1975) Performance in gripping and turning - A study in hand/handle effectiveness. *Appl Erg*, 6(4), 205-208.
- Pheasant ST & Scriven JG (1983) *Sex differences in strength. Some implications for the design of handtools*. Ergonomic Society's Conference 1983, Ergonomic Society.
- Plummer R, Stobbe T, Ronk R, Myers W, Kim H & Jaraiedi M (1985) *Manual dexterity evaluation of gloves used in handling hazardous materials*. Human Factors Society 29th Annual Meeting, Baltimore, HFES.
- Priest JD, Braden V & Gerberich SG (1980) The elbow and tennis, part I: an analysis of players with and without pain. *Physician Sportsmed*, 8, 81-91.
- Punnett L & Bergqvist U (1997) *Visual display unit work and upper extremity musculoskeletal disorders - A review of epidemiological findings*. Arbete och Hälsa 1997:16. Solna: Arbetslivsinstitutet.
- Punnett L, Robins JM, Wegman DH & Keyserling WM (1985) Soft tissue disorders in the upper limbs of female garment workers. *Scand J Work Environ Health*, 11, 417-425.
- Quinnell RC (1980) Conservative management of trigger finger. *The Practitioner*, 224, 187-190.
- Raask KE (1980) *Arbetsmiljöutredning inom byggnadsplåtslageribranschen*. 1980:2, Stockholm: Bygghälsans forskningsstiftelse.
- Radwin G, Jensen T & Webster G (1992) External finger forces in submaximal five-finger static pinch prehension. *Ergonomics*, 35(3), 275-278.
- Radwin R, Oh S & Fronczak F (1995) *A mechanical model of hand forces in power hand tool operation*. HFES 39th ann. meeting.
- Radwin R, VanBergeijk E & Armstrong TJ (1989) Muscle response to pneumatic hand tool torque reaction forces. *Ergonomics*, 32(6), 655-673.
- Radwin RG & Armstrong TJ (1987) Power hand tool vibration effects on grip exertions. *Ergonomics*, 30, 833-855.
- Radwin RG, Armstrong TJ & Vanbergeijk E (1990) Vibration exposure for selected power hand tools used in automobile assembly. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 51(9), 510-518.
- Radwin RG & Haney JT (1996) *An Ergonomics Guide to Hand Tools*. Fairfax, Virginia, USA: American Industrial Hygiene Association.

- Radwin RG & Lin ML (1993) An analytical method for characterizing repetitive motion and postural stress using spectral analysis. *Ergonomics*, 36(4), 379-389.
- Radwin RG, Oh S & Carlson-Dakes C (1997) Biomechanical aspects of hand tools. In: Nordin M, Andersson GBJ & Pope MH eds. *Muskuloskeletal disorders in the workplace: Principles and practice*. Pp 467-479, St Louis: Mosby.
- Radwin RG, Wertsch JJ, Jeng OJ & Casanova J (1991) Ridge detection tactility deficits associated with carpal tunnel syndrome. *J Occup Med*, 33(6), 730-736.
- Ramazzini B (1713, Svensk översättning 1991) *De morbis artificum (Om arbetares sjukdomar)*. Åkersberga: Arbetsmiljöförlaget/Bertil Dahlin.
- Ranney D (1993) Work-related chronic injuries of the forearm and hand: their specific diagnosis and management. *Ergonomics*, 36(8), 871-880.
- Rempel D, Keir PJ, Smutz WP & Hargens A (1997a) Effect of static fingertip loading on carpal tunnel pressure. *J Orthop Res*, 15, 422-426.
- Rempel D, Serina E, Klinenberg E, Martin BJ, Armstrong TJ, Foulke JA & Natarajan S (1997b) The effect of keyboard keyswitch make force on applied force and finger flexor muscle activity. *Ergonomics*, 40(8), 800-808.
- Rohmert W (1968) Die Beziehung zwischen Kraft und Ausdauer bei Statischer Muskelarbeit. *Schriftenreihe Arbeitsmedizin, Sozialmedizin, Arbeitshygiene*. Vol. 22. Pp 118, Stuttgart: A. W. Gentner Verlag.
- Roto P & Kivi P (1984) Prevalence of epicondylitis and tenosynovitis among meatcutters. *Scand J Work Environ Health*, 10, 203-205.
- Rowe CR, Heck CV & Hendryson IE (1965) *Joint motion - Method of measuring and recording*.: American Academy of Orthopaedic Surgeons.
- Roy SH & O'Hara JM (1997) Evaluation of forearm fatigue during EVA pressure glove work. *Work*, 8, 157-169.
- Rundcrantz BL, Johnsson B & Moritz U (1991) Pain and discomfort in the musculoskeletal system among dentists. A prospective study. *Swed Dent J*, 15, 219-228.
- Sanders MS & McCormick EJ (1993) Hand tools and devices. In: Sanders MS & McCormick EJ eds. *Human factors in engineering and design*. 7th edition ed, New York: McGraw-Hill.
- Schibye B, Skov T, Ekner D, Christiansen JU & Sjøgaard G (1995) Musculoskeletal symptoms among sewing machine operators. *Scand J Work Environ Health*, 21, 427-434.
- Schmauder M, Eckert R & Schindhelm R (1993) Forces in the hand-arm system: Investigations of the problem of left-handedness. *Int J Ind Erg*, 12, 231-237.
- Schnoz M, Lüubli T & Krueger H (2000) Co-activity of the trapezius and upper arm muscles with finger tapping at different rates and trunk postures. *Eur J Appl Physiol*, 83, 207-214.
- Schoenmarklin RW & Marras WS (1989a) Effects of handle angle and work orientation on hammering: I. Wrist motion and hammering performance. *Human factors*, 31(4), 397-411.
- Schoenmarklin RW & Marras WS (1989b) Effects of handle angle and work orientation on hammering: II. Muscle fatigue and subjective ratings of body discomfort. *Human factors*, 31(4), 413-420.
- Schoenmarklin RW & Marras WS (1993) Dynamic capabilities of the wrist joint in industrial workers. *Int J Ind Erg*, 11, 207-234.
- Schoenmarklin RW, Marras WS & Leurgans SE (1994) Industrial wrist motions and incidence of hand/wrist cumulative trauma disorders. *Ergonomics*, 37(9), 1449-1459.
- Schulze LJH, Congleton JJ, Koppa RJ & Huchingston RD (1995) Effects of pneumatic screwdrivers and workstations on inexperienced and experienced operator performance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 16, 175-189.
- Seth W, Weston RL & Freivalds A (1999) Development of a cumulative trauma disorder risk assessment model for the upper extremities. *Int J Ind Erg*, 23(4), 281-291.

- Sheater-Reid RB & Cohen ML (1998) Psychophysical evidence for a neuropathic component of chronic neck pain. *Pain*, 75, 341-347.
- Shih YC & Wang MJJ (1996) Hand/tool interface effects on human torque capacity. *Int J Ind Erg*, 18, 205-213.
- Siegrist J (1996) Adverse health effects of high-effort/low-reward conditions. *J Occup Health Psychol*, 1(1), 27-34.
- Siekman H (1989) Determination of maximum temperatures that can be tolerated on contact with hot surfaces. *Appl Erg*, 20(4), 313-317.
- Siekman H (1990) Recommended maximum temperatures for touchable surfaces. *Appl Erg*, 21(1), 69-73.
- Silverstein B, Lawrence JF & Armstrong TJ (1987) Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *American Journal of Industrial Medicine*, 11, 343-348.
- Sluiter JK, Rest KM & Frings-Dresen MHW (1999) *Criteria document for evaluation of the work-relatedness of upper extremity musculoskeletal disorders.*, Amsterdam: Coronel Institute.
- Smith MJ, Karsch BT, Conway FT, Cohen WJ, James CA, Morgan JJ, Sanders K & Zehel DJ (1998) Effects of a split keyboard design and wrist rest on performance, posture, and comfort. *Human Factors*, 40(2), 324-336.
- Snijders CJ, Volkers ACW, Michelse K & Vleeming A (1987) Provocation of epicondylalgia lateralis (tennis elbow) by power grip or pinching. *Med Sci Sports Exc*, 19(5), 518-523.
- Snook SH & Ciriello VM (1991) The design of manual handling tasks: revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34(9), 1197-1214.
- Sokas RK, Spiegelman D & Wegman DH (1989) Self-reported musculoskeletal complaints among garment workers. *Am J Ind Med*, 15(2), 197-206.
- Sollerman C (1980) *Handens greppfunktion - Analys och utvärdering samt en testmetod.* Doctoral thesis, Göteborg: Göteborgs Universitet.
- Sperling L (1990) *Kvinnohandens ergonomi (The ergonomics of the female hand).*, Göteborg: Volvo.
- Sperling L, Areskoug A, Forsman M, Kadefors R & Lindén B (1995a) *Jämförande utvärdering av varumärke för detaljhandeln.* Slutrapport till Rådet för Arbetslivsforskning, Göteborg: Lindhomen Utveckling.
- Sperling L & Avén A (1985) *Mätning av handen för form och storleksgivning av handskar.* Rapport C 50024-H1, Stockholm: FOA.
- Sperling L, Dahlman S, Wikström L, Kilbom Å & Kadefors R (1993) A cube model for the classification of work with hand tools and the formulation of functional requirements. *Appl Ergon*, 24, 212-220.
- Sperling L, Jonsson B & Holmér I (1983) *Handfunktion och handskydd vid arbete med handskar.* (Vol. Arbete och Hälsa, 1983:30). Solna: Arbetskyddsstyrelsen.
- Sperling L, Kadefors R & Areskoug A (1995b) *Vertygsfakta-handverktogsprojektets elfte verktyg.* Arbetskydds nämnden nr 7202: Lindholmen Utveckling.
- Sperling L, Vainikainen A, Lindén B, Areskoug A, Forsman M & Kadefors R (1997) *Jämförande provning av snickarhammare för konsumentbruk.* Rapport till Konsumentverket 96/K586, Göteborg: Lindhomen utveckling.
- Sporrong H, Palmerud G & Herberts P (1995) Influences of handgrip on shoulder muscle activity. *Eur J Appl Physiol*, 71, 485-492.
- Sporrong H, Palmerud G & Herberts P (1996) Hand grip increases shoulder muscle activity. *Acta Orthop Scand*, 67(5), 485-490.
- Sporrong H, Palmerud G, Kadefors R & Herberts P (1998) The effect of light manual precision work on shoulder muscles - an EMG analysis. *J Electromyogr Kinesiol*, 8(3), 177-184.

- Stenlund B, Goldie I, GHagberg M, Hogstedt C & Marions O (1992) Radiographic osteoarthritis in the acromioclavicular joint resulting from manual work or exposure to vibration. *Br J Ind Med*, 49(8), 588-593.
- Stephens JA & Taylor A (1972) Fatigue of maintained voluntary muscle contraction in man. *J Physiol*, 220, 1-18.
- Strasser H (1991) Different grips of screwdrivers evaluated by means of measuring maximum torque, subjective rating and by registering electromyographic data during static and dynamic test work. In: Karwowski W & Yates JW eds. *Advances in industrial ergonomics and safety III*, London: Taylor & Francis.
- Stuart-Buttle C (1994) A discomfort survey in a poultry-processing plant. *Appl Erg*, 25(1), 47-52.
- Stål M (1999) *Upper extremity musculoskeletal disorders in female machine milkers*. Doctoral thesis, Lunds Universitet, Lund.
- Sulzberger MB, Cortese TA, Fishman L & Wiley HS (1966) Studies of blisters produced by friction. *J Invest Dermatol*, 47(5), 456-465.
- Swanson NG, Galinsky TL, Cole LL, Pan CS & Sauter SL (1997) The impact of keyboard design on comfort and productivity in a text-entry task. *Appl Erg*, 28(1), 9-16.
- Svensson I & Sandström R (1995) *Ergonomic strain assessment guidelines, SAAB production.*, Trollhättan: SAAB Automobile AB.
- Svensson I & Sandström R (1997) *Ergonomic strain assessment guidelines, SAAB design.*, Trollhättan: SAAB Automobile AB.
- Tanaka S & McGlothlin JD (1993) A conceptual quantitative model for prevention of work-related carpal tunnel syndrome (CTS). *Int J Ind Erg*, 11(3), 181-193.
- Tichauer ER & Gage H (1977) Ergonomic principles basic to hand tool design. *Am Ind Hyg Assoc J*, 38, 622-634.
- Tischauer ER (1966) Some aspects of stress on forearm and hand in industry. *J Occup Med*, 8(2), 46-56.
- Toomingas A, Karlqvist L, Waldenström M & Willars A (1993) *Snabbskrivsystemet Velotype och läkarsekreterare*. 1993:32 (In Swedish, Summary in English): Arbetsmiljöstitutet.
- Toomingas A, Theorell T, Michelsen H & Nordemar R (1997) Associations between self-rated psychosocial work conditions and musculoskeletal symptoms and signs. Stockholm MUSIC I Study Group. *Scand J Work Environ Health*, 23(2), 130-139.
- Travell & Simons (1983) *Myofascial pain and dysfunction*. London: Williams & Wilkins.
- Tsaousidis N & Freivalds A (1998) Effects of gloves on maximum force and the rate of force development in pinch, wrist flexion and grip. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 21, 353-360.
- Turjanmaa K (1994) Hand eczema from rubber gloves. In: Menné T & Maibach HI eds. *Hand eczema*. Pp 255-269, Boca Raton: CRC Press.
- Törner M, Zetterberg C, Andén U, Hansson T & Lindell V (1991) Workload and musculoskeletal problems: a comparison between welders and office clerks (with reference also to fishermen). *Ergonomics*, 34, 1179-1196.
- Törner M, Zetterberg C, Hansson T & Lindell V (1990) Musculoskeletal symptoms and signs and isometric strength among fishermen. *Ergonomics*, 33, 1155-1170.
- Ulin SS, Snook SH, Armstrong TJ & Herrin GD (1992) Preferred tool shapes for various horizontal and vertical work locations. *Appl Occup Environ Hyg*, 7(5), 327-337.
- Ulin SS, Ways CM, Armstrong TJ & Snook SH (1990) Perceived exertion and discomfort versus work height with a pistol-shaped screwdriver. *Am Ind Hyg Assoc J*, 51, 588-594.
- Waersted M (2000) Muscle activity related to non-biomechanical factors in the workplace. *Eur J Appl Physiol*, 83(2-3), 151-158.
- Wærsted M & Westgaard RH (1996) Attention-related muscle activity in different body regions during VDU work with minimal physical activity. *Ergonomics*, 39, 661-676.

- Wahlström J, Svensson J, Hagberg M & Johnson PW (2000) Differences between work methods and gender in computer mouse use. *Scand J Work Environ Health*, 26(5), 390-397.
- Wakula J, Beckmann T, Hett M & Landau K (2000) *Stress-strain analysis of grapevine pruning with powered and non-powered hand tools*. IEA-2000, San Diego, 3, HFES.
- Vallbo ÅB & Johansson RS (1984) Properties of dutaneous mechanoreceptors in the human hand related to touch sensation. *Human Neurobiol*, 3, 3-14.
- Wang B & Strasser H (1993) Left- and right-handed screwdriver torque strength and physiological cost of muscles involved in arm pronation and supination. In: Marras WS, Karwowski W, Smith JL & Pacholski L eds. *The ergonomics of manual work*. Pp 223-226, London: Taylor & Francis.
- Waters TR, Putz-Anderson V, Garg A & Fine LJ (1993) Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36, 749-776.
- Veiersted KB, Westgaard RH & Andersen P (1993) Electromyographic evaluation of muscular work pattern as a predictor of trapezius myalgia. *Scand J Work Environ Health*, 19, 284-290.
- Werner R, Armstrong TJ, Bir C & Aylard MK (1997) Intracarpal canal pressures: the role of finger, hand, wrist and forearm position. *Clinical Biomechanics*, 12(1), 44-51.
- Westgaard R & Winkel J (1997) Ergonomic intervention research for improved musculoskeletal health: A critical review. *Int J Ind Erg*, 20, 463-500.
- Westling G (1986) *Sensori-motor mechanisms during precision grip in man*. Doctoral thesis, University of Umeå, Umeå: Department of Physiology.
- Widule cJ, Foley V & Demo G (1978) Dynamics of the axe swing. *Ergonomics*, 21(11), 925-930.
- Wiholm C & Arnetz BB (1997) Musculoskeletal symptoms and headaches in VDU users - a psychophysiological study. *Work & Stress*, 11(3), 239-250.
- Viikari-Juntura E, Kurppa K, Kousma E, Huuskonen M, Kuorionka I, Ketola R & Könni U (1991) Prevalence of epicondylitis and elbow pain in the meat processing industry. *Scand J Work Environ Health*, 17, 38-45.
- Viikari-Juntura E & Silverstein B (1999) Role of physical load factors in carpal tunnel syndrome. *Scand J Work Environ Health*, 25(3), 163-185.
- Wikström BO & Hägg GM eds. (1999) *International seminar on Corporate Initiatives in Ergonomics*. (Vol. Arbete och Hälsa 1999:10), Stockholm, Arbetslivsinstitutet.
- Wikström L, Byström S, Dahlman S, Fransson C, Kadefors R, Kilbom Å, Landervik E, Liedberg L, Sperling L & Öster J (1991) *Kriterier vid val och utveckling av handverktyg*. Undersökningsrapport 1991:18, Solna: National Institute for Occupational Health.
- Winkel J, Attebrant M & Wikström BO eds. (1998) *Konsensusrapporter rörande kunskapsläget om arbetsmiljön i skogsmaskiner*. Stockholm: Arbete och Hälsa 1998:10, Arbetslivsinstitutet.
- Winkel J & Mathiassen SE (1994) Assessment of physical work load in epidemiologic studies: concepts, issues and operational considerations. *Ergonomics*, 37(6), 979-988.
- Winkel J & Westgaard R (1992) Occupational and individual risk factors for shoulder-neck complaints: Part I - Guidelines for the practitioner. *Int J Ind Ergon*, 10, 79-83.
- Wirhed R (1984) *Anatomi och rörelselära inom idrotten*. Örebro: Harpoon Publications AB.
- Womack J, Jones D & Roos D (1990) *The machine that changed the world*. New York: Rawson Associates.
- Woodson WE, Tillman B & Tillman P (1991) *Human factors design handbook*. (2nd edition ed.). New York: McGraw-Hill.
- Zatz JL ed. (1993) *Skin permeation: fundamentals and application*. Wheaton: Allured Publishing.
- Zaza C (1998) Playing-related musculoskeletal disorders in musicians: a systematic review of incidence and prevalence. *Can Med Assoc J*, 158, 1019-1025.
- Zaza C & Farewell VT (1997) Musicians' playing-related musculoskeletal disorders: an examination of risk factors. *Am J Ind Med*, 32(3), 292-300.

- Zecevic A, Miller DI & Harburn K (2000) An evaluation of the ergonomics of three computer keyboards. *Ergonomics*, 43(1), 55-72.
- Zetterberg C, Forsberg A, Hansson E, Johansson H, Neilsen P, Danielsson B, Inge G & Olsson B-M (1997) Neck and upper extremity problems in car assembly workers. A comparison of subjective complaints, work satisfaction, physical examination and gender. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19, 277-289.
- Zetterberg C & Öfverholm T (1999) Carpal tunnel syndrome and other wrist/hand symptoms and signs in male and female car assembly workers. *Int J Ind Erg*, 23, 193-204.
- Åkesson I (2000) *Occupational health risks in dentistry - Musculoskeletal disorders and neuropathy in relation to exposure to physical workload, vibrations and mercury*. Doctoral thesis, Lunds Universitet, Lund: Yrkes och miljömedicin.
- Åkesson I, Johnsson B, Rylander L, Moritz U & Skerfving S (1999) Musculoskeletal disorders among female dental personnel - clinical examination and a 5-year follow-up study of symptoms. *Int Arch Occup Environ Health*, 72, 395-403.
- Åkesson I, Lundborg G, Horstmann V & Skerfving S (1995) Neuropathy in female dental personnel exposed to high frequency vibrations. *Occup Environ Med*, 52(2), 116-123.
- Åstrand I (1990) *Arbetsfysiologi*. (4:e upplagan ed.). Stockholm: Almqvist & Wiksell.
- Åstrand PO & Rodahl K (1977) *Textbook of work physiology*. (2 ed.). New York: McGraw-Hill.
- Örtengren R, Cederqvist T, Lindberg M & Magnusson B (1991) Workload in lower arm and shoulder when using manual and powered screwdrivers at different working heights. *Int J Ind Ergon*, 8, 225-235.
- Örtengren R, Magnusson M & Hagström P (1985) *Ergonomisk utformning av styckningsarbete*. Sammanfattning nr 892, Stockholm: Arbetarskyddsfonden.
- Öster J, Kadefors R, Wikström L, Dahlman S, Kilbom Å & Sperling L (1994) An ergonomic study on plate shears applying physical, physiological and psychophysical methods. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14, 349-364.