

NR 2000:18

Kunskapsunderlag för åtgärder mot skador och besvär i arbete med handhållna vibrerande maskiner

Medicinska aspekter

Gösta Gemne och Ronnie Lundström

ARBETE OCH HÄLSA | VETENSKAPLIG SKRIFTSERIE

ISBN 91-7045-574-0 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 & författarna 2000
Arbetslivsinstitutet,
112 79 Stockholm

ISBN 91-7045-574-0
ISSN 0346-7821
<http://www.niwl.se/ah/>
Tryckt hos CM Gruppen

Förord

Bakgrunden till detta dokument är att Arbetarskyddsstyrelsen till Kriteriegruppen för Fysikaliska Faktorer vid Arbetslivsinstitutet framfört önskemål om en sammanställning över tillgängliga forskningsresultat vad gäller påverkan av användare av handhållna vibrerande maskiner samt att särredovisa effekten för olika typer av maskiner. Arbetarskyddsstyrelsens intresse för en sådan sammanställning är att se om det finns vetenskapligt underlag för att revidera den idag gällande föreskriften "Vibrationer från handhållna maskiner" (AFS 1986:7).

Arbetslivsinstitutets Kriteriegrupp för Fysikaliska Faktorer har därför uppdragit åt en expertgrupp att svara för detta arbete. Expertgruppen har bestått av Docent Lage Burström (ordförande), Professor Ronnie Lundström och Teknisk Doktor Anna Sörensson vid Programmet för Teknisk Yrkeshygien, Arbetslivsinstitutet, Umeå samt Överläkare Tohr Nilsson, Yrkesmedicinska Kliniken, Sundsvalls Sjukhus. Observatör från Arbetarskyddsstyrelsen har varit Byrådirektör Erik Ahlberg.

Inom området publicerades 1992 det första svenska kriteriedokumentet (Gemne G, Lundström R, Hansson J-E. "Skador och besvär av arbete med handhållna vibrerande maskiner. Kunskapsöversikt för kriteriedokumentation." Arbete och Hälsa 1992:49). Eftersom en mycket stor del av denna översikt fortfarande är giltig, har expertgruppens uppgift varit att i första hand revidera och uppdatera detta dokument. Arbetarskyddsstyrelsens frågeställning har dock medfört att arbetet delats upp på dels Medicinska aspekter och dels Tekniska aspekter. Resultatet av expertgruppens arbete publiceras därför i två fristående dokument med den gemensamma huvudtiteln "Kunskapsunderlag för åtgärder mot skador och besvär i arbete med handhållna vibrerande maskiner". Docent Lage Burström, Professor Ronnie Lundström och Tekn. Dr. Anna Sörensson har ansvarat för framtagandet av dokumentet avseende de tekniska aspekterna. Föreliggande dokument omfattar de medicinska aspekterna.

Den ursprungliga texten har i den föreliggande revisionen kompletterats, med avslut den 10 januari 2000, i den mån det är motiverat med hänsyn till kunskap, som tillkommit sedan föregående utgivning.

Författarna vill till sist tacka tackar Erik Ahlberg, Lage Burström och Tohr Nilsson för värdefulla och konstruktiva synpunkter vid utarbetande av detta dokument.

Umeå och Oslo, November 2000

Författarna

Innehåll

1. Inledning	1
1.1. Dokumentets syfte	1
1.2. Litteratururval	2
2. Förekomst av vibrationsskador	5
2.1. Den svenska vibrationsskadesituationen	5
2.1.1. Vita fingrar	5
2.1.2. Nervfunktionsstörningar	6
2.1.3. Effekter på rörelseapparaten	6
2.2. Situationen i andra länder	7
3. Effekter av arbete med handhållna vibrerande maskiner	9
3.1. Inledning	9
3.2. Akuta effekter	9
3.3. Cirkulationsstörning i fingerhuden	10
3.3.1. Symptom	10
3.3.2. Symptomobjektivering	13
3.3.3. Vita fingrars reversibilitet och prognos i vibrationsexponerat arbete	14
3.3.4. Primär Raynaud och andra cirkulationsstörningar	16
3.3.5. "Vita tår"	17
3.4. Nervfunktionstörningar i hand och fingrar	17
3.4.1. Neuropati	17
3.4.2. Karpaltunnelsyndrom	19
3.4.3. Laboratorieundersökning av neurologiska störningar	20
3.5. Störningar i rörelseapparaten	21
3.6. Sammanfattning av skadliga effekter av vibrationsexponering	22
4. Hand-arm-vibrationssyndromets patofysiologi	23
4.1. Vita fingrar	23
4.2. Nervfunktionsstörningar	25
4.2.1. Diffust utbredd neuropati	25
4.2.2. Karpaltunnelsyndrom	26
4.3. Vibrationsrelaterad nervfunktionsstörning vid andra hand-arm-åkommor	27
4.3.1. Skada på en redan nedsatt nervfunktion	27
4.3.2. Samband mellan vibrationer och hörselnedsättning	28
4.4. Störningar i rörelseapparaten	28
4.4.1. Artros	28
4.4.2. Vibrationsrelaterad muskelskada	29
4.5. Inverkan av andra faktorer än vibrationer	29

5. Undersökningar av det kvantitativa sambandet mellan vibrationsexponering och skadeförekomst	32
5.1. Vita fingrar	32
5.1.1. Äldre studier	32
5.1.2. Nyare studier av exponering-respons-samband för vita fingrar	38
5.2. Nervfunktionsstörningar	42
5.3. Diskussion och slutsatser beträffande exponerings-respons-samband	44
6. Normer och föreskrifter	45
6.1. EU:s Direktiv för Fysikaliska Faktorer	45
6.2. Svensk föreskrift	45
7. Riskbedömning för vibrationsskador	47
7.1. Riskbedömningsmodeller för vita fingrar	47
7.1.1. Exponering-respons-sambandet i Annex A till SS-ISO 5349	47
7.1.2. Alternativa riskbedömningsmodeller	50
7.1.3. För och emot frekvensvägning vid vibrationsmätning	51
7.1.3.1. Vita fingrar	51
7.1.3.2. Effekter på nervfunktioner	53
7.1.4. Energiabsorption som kritisk faktor vid riskbedömning	53
7.2. Riskbedömning för neurologiska besvär och störningar i rörelseapparaten	54
8. Sammanfattande värdering av kunskapsunderlaget	55
9. Medicinsk övervakning	56
10. Behov av forskning för kriteriedokumentation	57
11. Sammanfattning	60
12. Summary	61
13. Referenser	62
14. Index	74

1. Inledning

1.1. Dokumentets syfte

I slutet av 1992 publicerades i Arbete och Hälsa ett dokument med titeln "Skador och besvär av arbete med handhållna vibrerande maskiner. Kunskapsöversikt för kriteriedokumentation" (72). Ett av syftena med detta var att ge en bred översikt om den kunskap som är väsentlig för förståelsen av adekvat prevention. I detta ingick grundläggande exponeringsbegrepp för vibrationer, förekomst av vibrationsexponering och skador i det svenska arbetslivet och metoder för exponeringsmätning. Inverkan på hand-arm-systemets funktioner av arbete med handhållna vibrerande maskiner beskrevs – med tonvikt på kritiska effekter, dvs. sådana som pga. sin art och omfattning bör beaktas i preventivt arbete – liksom mekanismerna för deras uppkomst. Vidare beskrevs och utvärderades modeller för skaderiskbedömning, och förslag gavs på praktiska åtgärder för begränsning av vibrationsexponering eller dess verkningar. Slutligen gjordes det en sammanfattande kunskapsbedömning och utvärdering med avseende på rekommendationer om preventiva åtgärder, och det hänvisades till behov av fortsatt forskning av vikt för kriteriearbete. Mot denna bakgrund behandlades standarder för vibrationsmätningar och olika riskbedömningsmodeller utförligt. Detta gällde speciellt SS-ISO 5349 (101), den internationella vibrationsmätningstandard som alltsedan publiceringen har använts i så gott som hela världen som ett instrument i preventivt arbete, och dess vetenskapliga bakgrund detaljgranskades.

Revisionen har en mer begränsad urvalsambition än det ursprungliga dokumentet. Den allmänna bakgrunden till risker med vibrationsexponering är i stort sett oförändrad. Hundratals undersökningar har gett klara belägg för att det finns ett kvalitativt samband mellan vibrationsexponering och skador. Detta har belysts så utförligt i det ursprungliga dokumentet att vidare diskussion om det inte ansetts behövlig. För att inte det reviderade dokumentet skall bli för stort och oöverskådligt har en komplettering därför gjorts enbart med tekniska och medicinska data, som är av betydelse för preventivt arbete. Det gäller sådana data, som bidrar till kunskapen om vibrationsexponeringens kvantitativa relation till skador och besvär (exponering-respons-samband, "ER-samband"), och som på olika sätt ökar förståelsen för de faktorer som denna kunskap kräver.

En rapport innehållande en orientering om nya rön inom den tekniska vibrationsforskningen publiceras parallellt med detta dokument (41). Där kompletteras och uppdateras de tekniska avsnitt, som utelämnats vid revisionen.

1.2. Litteratururval

De generella kraven på epidemiologisk validitet beträffande såväl exponering som skador och besvär var en väsentlig grund för urvalet av litteratur i det ursprungliga dokumentet. Inga rapporter som på ett tillfredsställande sätt svarade mot dessa krav hade publicerats fram till 1992. Urvalet utökades därför med rapporter som av en eller annan anledning tycktes kunna motivera en rekommendation om exponeringsbegränsning för de studerade yrkesgrupperna. Dessa beskrevs och kommenterades under rubriken "Undersökningar av det kvantitativa sambandet mellan vibrationsexponering och skadeförekomst", ett avsnitt som också har utökats i denna revision.

Liksom i det ursprungliga dokumentet har litteratur insamlats genom sökningar i elektroniska databaser, främst Medline. Från och med 1992 och till 10 januari 2000 gav sökningarna som svar på nyckelordet "vibration" c:a 700 referenser inom det aktuella ämnesområdet. En första gallring resulterade i c:a 300 referenser med möjlig relevans för detta dokument. Efter genomgång av dessa har endast c:a 60 nya arbeten tagits med i dokumentet, som med liberal bedömning ansågs kunna ha betydelse för prevention och därmed sammanhängande frågor. Vissa kompletteringar har gjorts med arbeten som publicerats under hösten 1999.

Litteraturgenomgången har i stort sett begränsats till rapporter på skandinaviska språk, engelska, tyska och franska. Arbeten på övriga språk har beaktats enbart om de innehållit en utförlig resumé på engelska. Det finns ett mindre antal relevanta artiklar på ryska – några med en kort, engelsk sammanfattning – men inga sådana har tagits med. Insatsen i form av tid och kostnader för översättning av dessa texter (med svårigheter p.g.a. delvis främmande terminologi), och därefter genomgång och bedömning har bedömts inte stå i rimlig proportion till utbytet. Arbeten på japanska har inkluderats i den mån de har engelska sammanfattningar som är tillräckligt informativa i något avseende.

Den typ av undersökning som kan förväntas ge mest information om dessa samband är s.k. prospektiva studier, dvs. de som sträcker sig över en längre tid, under vilken en yrkesgrupp följs med fortlöpande exponeringsbedömning och registrering av förekomsten av skador och besvär. Det har tidigare varit brist på data av detta slag, men sedan det ursprungliga kriteriedokumentet publicerades har några undersökningar med en likartad uppläggning (uppföljningsstudier) genomförts. Dessa refereras därför utförligt.

Det har under senare år gjorts framsteg i forskningen om hur vibrationer påverkar hand-arm-systemets olika komponenter, hur vibrationer transmitteras från maskinen till handen och armen och hur mycket vibrationsenergi som tas upp i systemets olika delar. Sådana studier är väsentliga för att förstå graden och arten av möjliga vibrationseffekter och därför väsentliga för alla preventionssträvanden. Relevanta resultat från denna forskning har behandlats i flera nya avsnitt i det reviderade dokumentet. En beskrivning av olika tekniska aspekter på vibrationer och deras karakteristika har lämnats i en separat teknisk rapport (41).

Eftersom revisionens fokus har varit att belysa vibrationsexponeringens kvantitativa samband med skador och besvär, har urvalet av litteratur kunnat begränsas kraftigt till fördel för överskådlighet och läsbarhet. Bakgrunden till de många utslutningarna beskrivs nedan. Emellertid har vissa undantag gjorts från dessa reg-

ler, nämligen i de fall där studierna ändå har ansetts innehålla upplysningar av ett visst värde.

- Prevalensundersökningar har i princip utelämnats. De flesta har behandlat förekomsten av skador och besvär i en viss yrkesgrupp vid undersöknings-tillfället (s.k. tvärsnittsstudier), och merparten av dessa är därför ointressanta för exponerings-respons-samband (ER). Det beror på att exponeringen över tid vanligen inte har kunnat bedömas på ett säkert sätt. Vibrationsmätningar har visserligen gjorts (ofta med stor precision), men enbart på de maskiner och i de arbetsprocesser, som förekommit då studien utfördes. I de flesta fall har det inte kunnat lämnas säkra uppgifter om den förflutna effektiva exponeringens varaktighet, och den för ER-samband nödvändiga exponeringsbedömningen har därför blivit inadekvat.
- Många arbeten med bristfällig epidemiologisk validitet har inte tagits upp i det reviderade dokumentet. För att en undersökning beträffande exponering-respons-samband skall ha tillfredsställande epidemiologisk kvalitet och inte vara behäftad med "bias" av olika slag krävs lämpliga studie- och jämförelse-grupper, rättvisande exponeringsbedömning, god diagnostik och korrekt statistisk analys av olika riskmått. Ett exempel på brister i dessa avseenden är studier, där uppgifter om exponering och besvär inhämtats från enkäter utan vibrationsmätningar liksom utan medicinska intervjuer och undersökningar.
- Flera uteslutningar har gjorts eftersom de diagnostiska metoderna inte har beskrivits på ett sätt som övertygar om diagnosernas tillförlitlighet. I fråga om vaskulära symptom gäller detta t.ex. distinktionen mellan typiskt vibrationsrelaterade vita fingrar och en generellt dålig perifer cirkulation liksom brist på hänsynstagande till eventuella andra samtidiga åkommor, som kan bidra till cirkulationsstörningar. Neurologiska störningar förekommer i en rad olika tillstånd, och brist på upplysningar om huruvida dessa har beaktats minskar värdet av de rapporterade data.
- En ytterligare orsak till uteslutningar är osäkerheten om datas signifikans för ER-samband och deras användbarhet i preventivt arbete. Speciellt gäller detta i vilken grad mätstandarden SS-ISO 5349 (195) är relevant för olika vibrationsrelaterade störningar. Detta är en fråga som diskuterats grundligt i det ursprungliga kriteriedokumentet. Där redogjordes för flera undersökningar som visade överensstämmelse eller brist på överensstämmelse mellan "riskbedömning" enligt Annex A i SS-ISO 5349 och observerade prevalenser av vita fingrar. Sedan 1992 har några nya rapporter som behandlar denna fråga publicerats, men dessa har inte tagits upp här. Frågeställningen om graden av överensstämmelse saknar i stort sett mening pga. den stora osäkerhet som finns i den nämnda riskbedömningsmodellen, vars vetenskapliga kvalitet har visats vara bristfällig. Detta viktiga tema (som är centralt för hur prevention bedrivs individuellt och i yrkesgrupper) har diskuterats utförligt i det ursprungliga dokumentet, och endast vissa kompletteringar har gjorts i denna revision.

- De flesta nyare studier av diagnostiska metoder och olika (reella eller antagna) effekter av vibrationsexponering har också utelämnats. Detta gäller klinisk bedömning och laboratorieundersökning av försökspersoner, som antingen varit vibrationsexponerade eller ingått i oexponerade jämförelsegrupper. Denna typ av forskning är viktig för att förbättra diagnostik av skador och besvär – vilket är en absolut förutsättning för att vibrationsexponering skall kunna kopplas till skaderisker – men resultaten har inte ingått i epidemiologiska studier och kan därför inte omsättas i kunskap om ER-samband.
- Diagnostik av vaskulära och neurologiska störningar hos vibrationsexponerade har behandlats vid ett internationellt symposium i Stockholm 1994 (6, 166). Det råder enighet om att mycket få laborietester har en sådan sensitivitet, specificitet och prediktivt värde att de kan förbättra diagnostiken vid hand-arm-vibrationssyndromet (HAVS). Detta har resulterat i att mycket få arbeten som uppfyller dessa krav har kunnat tas med.
- Studier av förekomsten av karpaltunnelsyndrom (KTS) hos vibrationsexponerade och uppkomstmekanismen för denna åkomma diskuterades utförligt i det ursprungliga dokumentet, och dessa avsnitt har utelämnats. Den mycket diskuterade frågan om vibrationsexponeringens roll vid uppkomsten av KTS har belysts i några nya rapporter på detta forskningsområde, och vissa kompletteringar har därför gjorts. Detta gäller studier där man använt sig av vibrations-tröskelbestämning för KTS och andra neurologiska störningar, som kan ha samband med vibrationsexponering.
- Översiktsartiklar liksom rapporter om akutupöverkan på hand-arm-systemets funktioner och om effekter på det autonoma nervsystemet (vars vetenskapliga kvalitet ofta är bristfällig) har refererats enbart i den mån de innehåller uppgifter, som kan belysa den här aktuella frågeställningen. Detta gäller också studier av mekanismer som deltar i utvecklingen av olika vibrations-skador (patofysiologi och patogenes).

Goda framställningar av statistiska, epidemiologiska och medicinska begrepp finns i flera textböcker (30-32, 108, 111, 115, 120, 142, 163).

2. Förekomst av vibrationsskador

2.1. Den svenska vibrationsskadesituationen

Uppskattningen av hur många personer som vibrationsexponeras yrkesmässigt i Sverige är osäker och beror av informationskällan. Både 400 000, (189) och så många som 800 000 är siffror som nämnts i SCBs statistik (189). I en enkätundersökning bland LO:s medlemmar har det uppskattats att 120 000 kvinnor besväras av vibrationer i sitt arbete (119). Exponeringen och arbetssätten varierar emellertid starkt mellan yrkesgrupper och mellan individer. I vissa yrken sker exponering bara sporadiskt. Även om arbetet i en del yrken kräver daglig användning av de vibrerande maskinerna under många timmar, kan användningen över tid förändras, så att korta eller långa perioder kan vara exponeringsfria.

Det är därför ogörligt att uppskatta hur många arbetare som löper risken att få skador av sin vibrationsexponering. Erfarenheten av tvärsnittsstudier säger, att det endast är en mindre del av en undersökt yrkesgrupp som uppvisar symptom på vibrationsskador. När det gäller vita fingrar finner man förekomster mellan några få och några tiotal procent. Prevalensen av neurologiska störningar är till stor del okänd. Dessa åkommor förekommer knappast i större utsträckning än cirkulationstörningar, men å andra sidan kan konsekvenserna av försämrad känsel-funktion ibland vara betydligt mer handikappande än vita fingrar. Värk och smärta i hand-arm-systemet kan vara ett resultat av kraftig och långvarig belastning i tungt, statiskt arbete med hand och arm i obekväma arbetsställningar.

Till en (vanligtvis mindre) del kan maskinvibrationer bidra genom att de kräver ökat grepp om handtagen och större muskelkraft i vissa rörelser, vilket ger ökad belastning. En rimligt säker uppskattning av hur många personer som befinner sig i riskzonen genom sådana belastningar kan inte göras.

De vanligaste vibrerande maskinerna i Sverige är mejselhammare av olika slag, slipmaskiner (speciellt vinkelslipar) och bormaskiner (både roterande och slående). Överhuvudtaget används slående maskiner i mycket stor utsträckning (mutterdragare, tryckluftsspett och stavvibratorer, mm.). Många personer utsätts också för hand-arm-vibrationer från rattar och reglage i olika slag av maskiner, men det krävs ytterligare kartläggning av exponeringsnivån.

2.1.1. Vita fingrar

En svensk studie, från 1992, baserad på en enkät kompletterad med läkarundersökning, av samtliga bilmekaniker som vid undersökningstillfället arbetade i verkstäder anslutna till Motorhälsan, visade en prevalens av vita fingrar (VF) på 14% (13). För personer under 30 år tillskrevs åkomman arbete med slående mutterdragare. Bland de drygt 200 bilmekaniker, som exponerats för vibrationer i 10-20 år, var prevalensen ca 25%. Det kunde inte uteslutas att även dessa mekaniker i huvudsak arbetat med denna maskin i ungefär samma utsträckning som man gör i dag. Detta ansågs i så fall tala för att risken för vibrationsskada från mutterdragare även med dagens arbetssätt är hög men att skadorna inte uppträder förrän efter ganska många år. En osäkerhet sammanhänger med att dagens bilmekaniker tidi-

gare kan ha arbetat som billackerare eller bilplåtslagare. De sistnämnda utgör en yrkesgrupp där VF-prevalensen i en annan undersökning från Motorhälsan i Göteborg har visats vara högre, c:a 31%.

Prevalensen av vibrationsinducerade vita fingrar har klart minskat i en del yrkesgrupper. Ett typexempel på detta är skogshuggare som använder motorkedjesågar. I slutet av 1960-talet hade 58% av huggarna i en skogsarbetaregrupp i Norrland vita fingrar (118). Enligt en enkätundersökningen publicerad 1990 (85) är den c:a 20%. Uppgifter från företagshälsovården (172), liksom siffror från Finland och England (se nedan), tyder dock på en låg nivå. Vibrationsdämpning av sågarna, förbättrade kedjor och bättre service var några troliga orsaker till denna nedgång. Sedan dess har användningen av motorsågar drastiskt minskats, och skogshuggare har i mycket stor utsträckning blivit skogsmaskinförare.

Även om allmänt sett förekomsten i Sverige av vita fingrar numera troligen är avsevärt mindre än i många andra länder, gäller generellt att denna åkomma fortfarande är en viktig kritisk effekt av exponering för hand-arm-vibrationer.

2.1.2. Nervfunktionsstörningar

Skadliga effekter på nervfunktioner hos vibrationsexponerade är troligen utbredda, men det finns än så länge få säkra epidemiologiska data beträffande omfattningen av detta i Sverige. I den tidigare nämnda enkätundersökningen (85) var prevalensen av domningar (dvs. sensitivitetsnedsättning) i händerna på dagtid 29% bland betongarbetare, hos elektriker 23%, plåtslagare 45%, svetsare 66%, montörer 17% och skogsarbetare 38% jämfört med 6% bland skyddsingenjörer. I samtliga dessa grupper var oddskvoterna signifikant förhöjda. Det är en allmän erfarenhet att de patienter som utreds på de yrkesmedicinska klinikernas för misstänkt vibrationsskada ofta uppvisar funktionsnedsättning beträffande känsel-, vibrations- och temperatursinne.

Dessa nervfunktionsstörningar utgör därför en av de kritiska effekter som bör beaktas i kriteriesammanhang.

Karpaltunnelsyndrom har i Sverige rapporterats förekomma i stor utsträckning i vissa yrkesgrupper som arbetar med vibrerande maskiner (85), t.ex. betongarbetare, plåtslagare och svetsare. Vibrationers eventuella roll för uppkomsten av denna åkomma är inte klarlagd. Som beskrivs närmare i avsnitt 3.4.2 spelar repetitiva rörelser och handställningar (speciellt i samband med kraftiga grepp) en dominerande roll vid utvecklingen av syndromet. Det är därför inte möjligt att för preventivt arbete betrakta karpaltunnelsyndrom som en kritisk effekt enbart av vibrationsexponering.

2.1.3. Effekter på rörelseapparaten

Bland de störningar som berör rörelseapparaten i hand-arm-systemet är endast artros (leddegeneration) i armbågs- och handlederna av intresse. I Sverige har inga undersökningar gjorts som belyser förekomsten av sådana åkommor. Omfattande, mångåriga undersökningar av kolgruvearbetare i Ruhr-området (79, 180) har emellertid visat en viss överrisk för artros i dessa leder hos personer som arbetar med handhållna maskiner som åstadkommer stöt-vibrationer. På grund av bristen på tillräckligt god epidemiologisk dokumentation har i detta dokument, lika lite

som i det ursprungliga kriteriedokumentet, skador på rörelseapparaten inte betraktats som en kritisk effekt. Effekter av vibrationer på hand-arm-systemets muskler har diskuterats vilket redogörs för i avsnitt 4.4.2 men eftersom forskningen inom detta ämne fortfarande befinner sig i ett inledande skede gäller samma bedömning även för muskelskador.

2.2. Situationen i andra länder

Den generella prevalensminskning för vibrationsinducerade VF, som förekommit i Sverige, överensstämmer också med utvecklingen i vissa andra länder. År 1972 rapporterades från Finland 40% VF-prevalens bland skogsarbetare (116) och år 1978 16% (175), medan år 1986 prevalensen var nere på ungefär samma nivå som icke vibrationsexponerade befolkningsgrupper, nämligen 5% (116). Nedgången anses huvudsakligen sammanhänga med den tekniska utvecklingen hos motorsågarna men också med forskningsresultat, som lett till effektiv hälsovård och tidig yrkesanpassad medicinsk rehabilitering, liksom varma transporter, uppvärmda utrymmen för pauser i arbetet och bättre beklädnad (200).

I Japan har många undersökningar av utvecklingen av skadeförekomst gjorts bland skogsarbetare. Såväl prevalens som incidens av vita fingrar har beskrivits som numera mycket låg. Incidensen bland huggare i ett område i södra Japan, som 1972 var som högst (5%), hade efter 1976 sjunkit till under 1 % (63), dvs. i nivå med incidensen i den allmänna landsbygdsbefolkningen i samma region. En förklaring har ansetts vara den drastiska förändring i exponering som åstadkommit genom fjärrstyrning av sågar som fästs på träden (226). Denna metod har dock bedömts som mindre rationell för nordiska förhållanden. Också andra arbetsmiljöåtgärder har säkert spelat roll: minskad exponering för kyla och buller liksom för stressfaktorer sammanhängande med en påfrestande hög arbetstakt (t.ex. vid ackord).

Nedgången i VF-prevalens hos japanska skogsarbetare, som också dokumenterats av Suzuki och Iwasaki (204), har av vissa undersökare tillskrivits användningen av vibrationsdämpning på handtagen och allt mindre sågar (206).

Även Miyashita och medarbetare konstaterar en stadig nedgång sedan 1977 i skadefrekvens och behov av hälsokontroller liksom i antalet ersättningsfall bland skogsarbetare (148). Denna trend avspeglade den allmänna utvecklingen i Japan, där det under åren 1987-1996 inträffade mindre än 60 nya ersättningsberättigade fall av "vibrationssyndrom" (som omfattar inte bara vita fingrar utan också neurologiska störningar).

Även Miyashita och medarbetare konstaterar en stadig nedgång sedan 1977 i skadefrekvens, och behov av hälsokontroller liksom i antalet ersättningsfall bland skogsarbetare (148). Denna trend avspeglade den allmänna utvecklingen i Japan, där det under åren 1987-1996 inträffade mindre än 60 nya ersättningsberättigade fall av "vibrationssyndrom" (som omfattar inte bara vita fingrar utan också neurologiska störningar).

Rapporten från en italiensk uppföljningsstudie av skogsarbetare åren 1990-1995 (18) konstaterar, att begränsning i vibrationsexponering (främst genom bruk av vibrationsdämpade sågar) eller upphörd exponering minskar både frekvensen av

vita fingrar och förekomsten av abnorm blodkärlsreaktion på kyla mätt i laboratorieundersökningar. I en arbetsstyrka på 68 personer inträffade under uppföljningstiden endast tre nya fall av vita fingrar. Detta skedde dock hos personer som använde vibrationsdämpade sågar, vilket visar att inte räcker med vibrationsdämpning av sågarna och att det därför fortfarande finns behov av medicinsk kontroll i detta yrke.

En prevalensminskning bland skogsarbetare hade 1982 noterats också i England (181). Inom vissa yrkesgrupper har dock trenden inte varit lika positiv. Taylor och medarbetare (212) undersökte 1984 stenbrottsarbetare i Indiana, där det redan 1918 beskrivits hög skadeförekomst (87), och fann att prevalensen (i detta fall för personer som arbetade med tryckluftsdrivna mejselhammare) fortfarande var 80%. Detta antyder att användningen av vissa maskiner medför en högre risk för vita fingrar, och att denna inte kan påverkas av stora förändringar i själva arbetsprocessen.

I den uppföljningsstudie av finska skogsarbetare, som beskrivs i avsnitt 3.3.3 konstaterade Kivekäs och medarbetare (114), att vita fingrar fortfarande är ett problem hos skogsarbetare som började i yrket före 1970.

3. Effekter av arbete med handhållna vibrerande maskiner

3.1. Inledning

Det är främst två typer av vibrationsskador som i såväl svenska som utländska undersökningar konstaterats förekomma i högre omfattning än i yrkesgrupper där vibrationsexponering inte skett, nämligen cirkulationsstörning i fingerhuden och störningar i handens nervfunktioner. De cirkulatoriska och neurologiska störningarna uppträder oberoende av varandra.

I detta avsnitt beskrivs symptomatologin vid de olika vibrationsrelaterade åkommor som rapporterats från undersökningar av olika yrkesgrupper som arbetar med handhållna vibrerande maskiner.

3.2. Akuta effekter

Det finns en omfattande litteratur om akuta effekter av exponering för hand-armvibrationer, men det är oklart om man med utgångspunkt från sådana data kan dra slutsatser om skaderisker vid kraftig och långvarig vibrationsexponering. Akuta effekter har visat för både cirkulatoriska, neurologiska och neuromuskulära funktioner. I laborietester på försökspersoner har vibrationsexponering visat sig åstadkomma en akut effekt i form av ökad sammandragning av blodkärlen i fingerhuden, speciellt vid samtidig exponering för kyla (50, 173, 190). Detta gäller också kombinationen vibrationer, buller och statiskt arbete (51). Vibrationsexponering av underarmen och handen med låga frekvenser kan emellertid också leda till en ökning av blodflödet i fingrarna (192, 193).

Vibrationer kan påverka känselsinnet. Tröskeln för vibrationsupplevelse höjs tillfälligt vid vibrationsexponering och återgår därefter successivt till normalnivån (71, 95, 123, 134, 137, 162). Tiden för full återhämtning kan vara från någon minut upp till timmar beroende bl.a. på vibrationsexponeringens styrka, frekvens, varaktighet samt individens känslighet. Genom neurofysiologiska studier har det kunnat visas att känseltröskelhöjningen till största delen kan förklaras av perifera mekanismer på receptornivå (134). Den tillfälliga nedsättningen av receptorernas retbarhet kan vara orsakad av den mycket höga nervimpulsfrekvens, som uppkommer under vibrationsexponering. Den höga aktiviteten kan leda till en sänkning av generatorpotentialen i de taktila enheterna (receptorer och tillhörande nervfibrer) och/eller en poststimulatorisk hyperpolarisation av nervändsluten. Det senare kan bero på att den elektrogena kaliumpumpen inte förmår att återställa nödvändig jongradient under en längre period med högfrekventa nervimpulser. I vilken utsträckning som en sympatiskt utlöst vasokonstriktion i kärlen till de taktila enheterna bidrar till känselnedsättningen är oklart.

Nedsatt känsel pga. vibrationsinducerad blodflödesminskning och försämring av receptor- och nervfiberfunktioner har ansetts kunna leda till svårigheter med hanteringen av maskiner och därmed till en prestationsförsämring (109). Att en

koordinationsstörning skulle kunna ge ökad olycksfallsrisk och försämrad precision i arbetet har föreslagits i en undersökning av s.k. plocktester (149). Någon mera uttalad sådan inverkan har inte kunnat observeras i en studie (88) av effekten på manuell prestation hos snickare av intensiv akut vibrationsexponering under 10 minuter följd av enkla mekaniska uppgifter i form av sågning, spikning och skruvning. En tendens till försämring av precisionen vid spikning och sågning på 38% respektive 24% noterades dock efter vibrationsexponeringen. Även om dessa förändringar inte uppnådde statistisk signifikans på 5%-nivå kan de antyda att en ökad olycksfallsrisk är förenad med vibrationsexponering i vissa yrkesgrupper. Denna undersökning studerade ganska enkla mekaniska uppgifter, och det är troligt att finmotoriska arbeten är ännu mera utsatta för sådan vibrationsinverkan.

En väl redovisad undersökning med delvis motsatt resultat har gjorts av Thonnard och medarbetare (213), som exponerade friska unga män utan regelbunden vibrationsexponering för vibrationer i 30 min från en elektrisk polermaskin. Vibrationskänslighetströskeln var kraftigt höjd omedelbart efter exponeringen och hade inte helt återgått till ursprungsvärdet efter 25 min. Tryckkänslighetströskeln (mätt med Semmes-Weinstein-estesiometer) på en fingertopp var endast lätt förhöjd, men höjningen varade längre än 25 min. Den motoriska förmågan var däremot inte alls reducerad bedömd efter den använda mätmetoden, nämligen ett grepp-och-lyftkraft-test - i stort sett konstruerat enligt Westling och Johansson (220) - samt ett finmotorik-test, "Purdue pegboard" (214). I själva verket förbättrades resultaten av det sistnämnda testet något under en 25-minutersperiod efter exponeringen. Resultaten i just dessa försök ansågs tala mot att säkerheten vid precisionsarbete skulle vara reducerad, men denna slutsats kan inte generaliseras till andra arbetssituationer.

3.3. Cirkulationsstörning i fingerhuden

3.3.1. Symptom

De vanligaste besvären hos personer som länge arbetat med handhållna vibrerande maskiner är Raynaud-fenomen (96), populärt kallade "vita fingrar" (87). Termen vita fingrar är beskrivande för det typiska symptomet, en lokal avblekning av fingerhuden som tydligt skiljer sig från omgivande hud. Avblekningen beror på en onormalt stark sammandragning av muskelcellerna i fingrarnas blodkärl. Detta kallas ofta vasospasm, dvs. "kramp" i blodkärlen. Vid deras kontraktion stoppas blodflödet, och den normala hudfärgen försvinner.

De allmänt accepterade dragen i symptombilden (78) är att besvären kommer i attacker, framkallade av omgivningskyla, speciellt kanske sådan där ett moment av obehag ingår. Anledningen till det sistnämnda är att obehaglig kyla verkar som en stressor, vars fysiologiska verkan är en konstriktion av perifera blodkärl. Samtidigt uppträder känselnedsättning i det vitnade hudområdet, vanligen kallad "domning", beroende på att känselreceptorerna inte kan fungera utan blodtillförsel. Anfallet upphör ofta först när hela kroppen åter värmts upp. Symptomets utbredning över handen motsvarar i stort de fingrar, eller delar av fingrar, där vibrationsexponeringen varit kraftigast. Ofta förekommande attacker av vita fingrar

medför en nedsättning av livskvalitén, inte bara för att det kan utgöra ett hinder för normalt arbete utan också för att den drabbade måste avstå från många fritidsaktiviteter.

Symptomen vid vibrationsinducerade vita fingrar utlösta av kyla graderas med ledning av utbredning, frekvens och svårighetsgrad enligt "Stockholm Workshop-skalan" (78), återgiven i Tabell 1. I detta dokument hänvisas också på flera ställen till en tidigare klassificering (Tabell 2), den s.k. Taylor-Pelmear-skalan (209).

Taylor-Pelmear-skalan har emellertid reviderats av följande skäl:

- den innehöll neurologiska komponenter (stadierna O_T och O_N) som inte längre ansågs vara en del av den cirkulatoriska symptombilden;
- den omfattade kriterier på funktionsnedsättning som är för subjektiva och alltför mycket beroende på faktorer som inte har med sjukdomen att göra;
- graderingen var på ett olämpligt sätt kopplad till klimatfaktorer, vilket försvårade jämförelser mellan länder med olika klimat.

Tabell 1. Stockholm Workshop-skalan för klassificering av vibrationsinducerade Raynaud-fenomen utlösta av kyla. Översättning från originalet (78).

Stadium	Svårighetsgrad	Beskrivning
0	-	Inga anfall av vita fingrar
1	Mild	Anfall då och då, omfattande endast ytterfalangen på ett finger eller flera fingrar
2	Medelsvår	Anfall då och då, omfattande ytter- och mellanfalangerna (sällan också den proximala falangen) på ett finger eller flera fingrar
3	Svår	Anfall ofta, omfattande alla falanger på de flesta fingrar
4	Mycket svår	Som i stadium 3 men med trofiska hudförändringar i fingertopparna

Antalet drabbade fingrar i olika stadier anges för vardera handen för sig, t.ex. "2L(2), 1R(1)". Det innebär att 2 fingrar på vänster hand är drabbade av Raynaud-fenomen i stadium 2, och att skadan berör 1 finger på höger hand, med svårighetsgraden "mild", dvs. stadium 1.

Även den reviderade skalan (Tabell 1) är relativt grov, och kravet att den skall vara lättanvänd gör att kriterierna inte kan omfatta mångfalden i symptombild eller variationer i skadeutveckling. Icke desto mindre är den numera i relativt allmänt kliniskt bruk och har fått stor användning inom vibrationsskadeforskningen. Den är därmed ett instrument, som tillåter jämförelser av cirkulationsstörningsfrekvenser mellan olika länder och yrkesgrupper, och den är ett användbart hjälpmedel för tidsuppföljning av skadeförekomst inom en och samma undersökningsgrupp.

Tabell 2. Tidigare symptomklassificering för Raynaud-fenomen hos vibrations-skadade, den så kallade Taylor-Pelmear-skalan. Översättning från originalet (209).

Stadium	Fingertillstånd	Inverkan på social aktivitet och yrkesverksamhet
0	Ingen avblekning.	Inga besvär.
0 _T	Intermittenta stickningar ("tingling").	Ingen inverkan på aktiviteter.
0 _N	Intermittent domning.	Ingen inverkan på aktiviteter.
1	Avblekning av en fingertopp eller flera fingertoppar med eller utan stickningar och domning.	Ingen inverkan på aktiviteter.
2	Avblekning av ett helt finger eller flera fingrar, med domning. Vanligen begränsat till vintertid.	Lätt inverkan på sociala aktiviteter. Ingen inverkan i arbetet.
3	Utbredd avblekning. Ofta förekommande attacker, sommar såväl som vinter.	Klar inverkan på yrkesverksamhet och sociala aktiviteter. Inskränkning i hobbyverksamhet.
4	Utbredd avblekning på de flesta fingrar. Ofta förekommande attacker sommar och vinter.	Symptomens svårighetsgrad har lett till arbetsbyte för att undvika ytterligare vibrationsexponering.

Det har rapporterats av Palmer och Coggon (168) att tolkningsosäkerheter beträffande symptomfrekvens ("anfall då och då" respektive "ofta") försvårar inplaceringen av patienter i stadium 2 eller 3. Detta har visat sig vara ett problem i England, författarnas hemland, där Health and Safety Executive kräver, att exponering skall upphöra för personer som uppnått stadium 3 och anbefaller exponeringsreduktion vid snabb progress av besvär i stadium 2. Den nämnda tolkningsosäkerheten gör att det uppstår vanskligheter, när det gäller att för sådana personer utfärda rekommendationer om medicinskt relevanta åtgärder.

Författarna har klassificerat 92 symptomatiska personer och funnit en betydande överlappning i åkommans utbredning (mätt som antalet vitnande falanger) mellan personer med hög respektive låg besvärsfrekvens. De hävdar därför att utbredning och attackfrekvens inte bör bedömas i kombination. De efterlyser också en utförligare besvärsbeskrivning, som tar hänsyn till klimatvariationer och den tid som tillbringas utomhus. Detta sistnämnda önskemål är emellertid delvis tillgodosett i skalan, eftersom den gäller enbart besvär utlösta av kyla.

En japansk rapport (100) kritiserar den vaskulära Stockholms-skalan av två skäl: (1) den fångar inte upp tidiga stadier av vita fingrar; (2) den tar inte tillräcklig hänsyn till utvecklingen av vibrations-skador – definierade enligt japanska Ministry of Labor (ML) (99) – under en period av tre år med fysikalisk terapi. Författarna konstaterar, att effekten på inplacering i olika stadier inte stämmer överens med den, som följer av de japanska kriterierna.

Den bristande tillämpbarheten på japanska förhållanden förefaller sammanhånga med att ML tycks lägga stor vikt vid upplevelse av "coldness in fingers" som ett tidigt stadium av vita fingrar, en teori för vilken det saknas epidemiologisk dokumentation. Detta begrepp betecknar möjligen en onormal köldkänsla i fingrarna – en individrelaterad upplevelse med mindre stringens än Stockholms-

skalans attacker av avgränsad, köldutlöst fingerhudsavblekning enligt bestämda kriterier (78). Det är också oklart i vad mån subjektivitet i bedömning enligt ML-definitionerna spelar en roll vid graderingen av förbättring under terapiperioden.

En källa till osäkerhet beträffande validiteten av författarnas kritik är att finna i det behandlingsbatteri som används för nästan alla personer med diagnosen "vibrationssyndrom". Det består nämligen av olika slag av fysioterapi och varma bad under en 4-6 veckor lång vistelse en eller två gånger årligen på rehabiliteringsklinik (3), och det är därför är möjligt, att psykologiska faktorer har stor betydelse för upplevelsen av förbättring. Några rapporter som analyserar behandlingsresultaten i en yrkesgrupp i jämförelse med en kontrollgrupp utan sådan terapi har inte påträffats.

I Storbritannien används Stockholm-skalorna för såväl cirkulatoriska som neurologiska störningar för klassificering av patienter som söker ersättning för vibrationsskada och för rekommendationer om begränsning av vibrationsexponering (144). I en undersökning av 31 män, som själva ansåg sig lida av hand-arm-vibrationssyndrom, gjorde två läkare var för sig en diagnostisk bedömning på grundval av en detaljerad medicinsk och exponeringsanamnes samt en undersökning som omfattade bl.a. bestämning av vibrations- och temperaturtrösklar samt köldprovokation med registrering av återhämtningstid. Båda läkarna var överens om att samtliga patienter led av HAVS. De cirkulatoriska och neurologiska störningarnas svårighetsgrad klassificerades enligt både den tidigare Taylor-Pelmear-skalen och Stockholms-skalorna. Överensstämmelsen mellan undersökarna i fråga om patienternas stadietillhörighet enligt Stockholms-skalen var relativt god (samma stadium för 73%, skillnad i ett skalsteg för 14% och två skalsteg för 13% av patienterna). Resultaten ansågs visa, att Stockholms-skalen har egenskaper som medger tillfredsställande reproducerbarhet, då erfarna läkare utför klassificeringen.

3.3.2. Symptomobjektivering

Objektivering av symptom på vita fingrar kan ibland erhållas genom en undersökning av systoliskt fingerblodtryck i samband med köldprovokation. Denna metod – som också kallas "critical opening pressure" (COP) – består av lokal fingerkylning (vanligen ett finger som uppvisar symptom på VF-typisk cirkulationsstörning) med cirkulerande vatten vid olika temperaturer (30, 15 och 10 grader) och med samtidig avkylning av hela kroppen. Under fingerkylningen åstadkoms också ett blodflödesstopp genom en tryckmanschett placerad längre upp på mätfingret. Den rekommenderade metodiken har beskrivits utförligt av Nielsen och Lassen (156) liksom av Olsen (167).

Metodens sensitivitet är i varje fall sommartid för låg för att detta test skall vara kliniskt användbart men kan under kallare månader förbättras. Resultaten härvidlag varierar mellan olika laboratorier. Japanska forskare har rapporterat så höga siffror vintertid som 90% (117).

En minskning av blodtrycket i testfingret med mer än 40% av trycket i ett referensfinger använts (16), som tecken på att reaktionen på kyla är patologisk. Gränsen har inte tillräcklig epidemiologisk validitet, eftersom de yrkesarbetare eller andra personer, som använts vid jämförelsen med de vibrationsexponerade, inte är representativa för det breda spektrum av maskiner och arbetsprocesser som förekommer i industrin. Detta är därför ett område med stort behov för standardise-

ring. En grupp (TC108/SC4/WG11) inom den internationella standardiseringsorganisationen (ISO) är också i färd med att uppställa riktlinjer för hur fingerblodtrycksmätningar, liksom andra mätningar av cirkulationsändringar vid avkylning, bör gå till för att resultaten av olika studier skall kunna bli jämförbara. Sådan standardisering är viktig för forskning om grunderna för rimliga gränsvärden och om värdet av andra åtgärder i preventivt arbete.

3.3.3. Vita fingrars reversibilitet och prognos i vibrationsexponerat arbete

Flera studier antyder att vita fingrar är åtminstone delvis reversibla. Frågan har länge diskuterats, bl.a. vid ett internationellt symposium i Stockholm 1994 (70). I ett konsensus-uttalande formulerade deltagarna vid detta möte läget på följande sätt: "Om vibrationsexponeringen minskas eller upphör, kan symptomen vid vita fingrar vara partiellt eller helt och hållet reversibla. Denna utveckling är avhängig av personens ålder, symptoms svårighetsgrad, exponeringens varaktighet och den typ av maskiner som använts."

I en kommentar till detta uttalande (75) framhölls det, att hos personer med vissa konstitutionella egenskaper en allt starkare tendens till otillräckligt blodflöde i fingrar och tår (blekhet och samtidigt köldkänsla) liksom till blodtrycksökning kan följa med ökande ålder även i den friska, icke-vibrationsexponerade befolkningen. Hos en person med vibrationsinducerade vita fingrar kan sådana tendenser leda till att tillbakagången av Raynaud-symptomen efter det att vibrationsexponeringen upphört inte blir så stor som förväntats med tanke på besvärens svårighetsgrad. Även svårare grader av vibrationsinducerade vita fingrar torde i vissa fall kunna avklinga sedan vibrationsexponering upphört. Det kan vara så att det finns ett inslag av konstitutionell Raynaud eller att exponering för andra kärksammandragande faktorer (t.ex. nikotinkonsumtion, medicinering, kyla, buller, sinnesrörelser och annan stressorinverkan) fortfarande finns i patientens totala miljö. Symptom av typ vita fingrar som debuterar en tid efter det att vibrationsexponering upphört torde bero på något annat än vibrationer (75).

Det kan tillfogas att det under alla omständigheter är rimligt, att återgången stoppar upp vid det cirkulatoriska tillstånd som rådde innan vibrationsexponeringen började, och att denna slutnivå också modifieras av de nämnda konstitutionella tendenserna. Det följer av detta resonemang, att det är vanskligt att göra epidemiologiskt valida studier på vita fingrars reversibilitet, eftersom det finns en rad interagerande faktorer (av vilka några nämnts här) i tillägg till yttre påverkan i form av kyla och olika andra stressorer än vibrationer. Även om det för närvarande råder brist på epidemiologiska undersökningar som kan ge fullgott svar på frågan om vita fingrars tillbakagång efter upphörd exponering, har vissa studier gjorts som belyser frågan.

En undersökning av Petersen och medarbetare (171) har följt upp 102 fall av vibrationsinducerade vita fingrar 13 år efter det att diagnosen hade ställts, men flera av de confounding-faktorer som behandlats i föregående stycke har inte medtagits i studieuppläggningsen. De erhållna data är ändå av allmänt intresse. En redogörelse skall ges här, eftersom den ger en viss belysning av möjliga källor till osäkerheter i resultaten.

Uppgifter om symptom, sysselsättning, vibrationsexponering och sjukdomar under mellantiden inhämtades vid uppföljningstillfället med hjälp av enkät och

intervju. Samtliga deltagare hade ansökt om ersättning för vita fingrar som yrkes-skada. Förändringen i systoliskt fingerblodtryck vid köldprovokation mättes i samma finger vid båda tillfällena. Vid andra undersökningen uppgav 22 % minskad attackfrekvens. Förbättringen var mest uttalad hos personer med liten eller ingen vibrationsexponering under de senaste två åren före undersökningen, liksom hos icke-rökare och personer utan andra cirkulationsrelaterade åkommor (högt blodtryck, hjärtsjukdom, kärlkramp i benen och diabetes). I 32 % av fallen hade frekvensen ökat mest hos rökare och personer med andra cirkulatoriska sjukdomar. Antalet falanger med typisk avblekning var vid första tillfället i medeltal 16, vid det andra 14. Ett ökat antal avbleknande falanger observerades hos personer som under de två senaste åren av uppföljningen arbetat med starkt vibrerande maskiner eller som hade andra cirkulatoriska åkommor. Antalet avbleknande falanger hade minskat hos icke-rökare. Fingerblodtrycket hade förbättrats hos 43 % och försämrats hos 12 %. Förbättring var mer uttalad hos äldre personer, och försämring var relaterad till yngre ålder och kort uppföljningstid. Det spekulerades att detta avspeglar en större känslighet för cirkulatorisk påverkan hos yngre, något som dock inte har dokumenterats i epidemiologiska studier.

Slutsatsen var att förbättringen, under 1-13 års observation, hos nära hälften av de undersökta tydde på att vibrationsinducerade Raynaud-fenomen har god prognos hos personer med vibrationsinducerade vita fingrar av graden "moderate to severe" (moderat till mycket stark). Det uppgavs att symptomklassificering enligt Taylor-Pelmear-skalan (Tabell 2) hade gjorts vid båda undersökningstillfällena. Förändringarna i fråga om fingerblodtryck har objektiv karaktär och bör därför tillmätas betydelse, allra helst som de utförts av personer som varit med och utvecklat tekniken. Däremot måste slutsatserna beträffande den subjektiva förändringen av tillståndet karakteriseras som något osäkra, eftersom samtliga undersökta hade intresse av att uppge VF-symptom. Dessutom bygger data på de undersökta egna uppgifter, något som alltid innebär risk för bias pga. svårigheter att noggrant minnas tidigare förhållanden i fråga om besvär och deras tidsmässiga uppträdande.

Kivekäs och medarbetare gjorde 1985 en uppföljningsstudie beträffande vita fingrar (114) hos 213 skogsarbetare (av ursprungliga 279 undersökta första gången 1978) och 140 oexponerade kontroller (av ursprungliga 178). Resultaten, grundade på en enkät och medicinsk undersökning, visade en fortsatt VF-prevalens på 25 % hos skogsarbetare och ca 6 % hos kontroller jämfört med 18 % respektive 3 % år 1978. Risken för nya fall av VF ökade med ökande antal exponeringsår för arbetare som exponerats 25 år eller längre, med riskkvoten 8.9 (95 % CI, 2.5-28.9), och det konstaterades, att vita fingrar fortfarande är ett problem hos skogsarbetare som började i yrket före 1970.

I en rapport från en studie av svetsare (228) konkluderas, att vibrationsinducerade vita fingrars svårighetsgrad förblir densamma eller i någon utsträckning minskar efter upphörd exponering.

En italiensk uppföljningsstudie av skogsarbetare åren 1990-1995 (18) visar, att begränsning i vibrationsexponering eller upphörd exponering minskar både frekvensen av vita fingrar och förekomsten av abnorm blodkärlsreaktion på kyla mätt i laboratorieundersökningar.

I de här nämnda studierna har man inte tagit hänsyn till nikotinkonsumtion. VF-symptom har visats förekomma oftare hos personer som röker eller snusar (55).

Nikotin är därmed en confounding-faktor, som bör beaktas i epidemiologiska undersökningar av VF-symptomens återgång efter avslutad exponering.

3.3.4. Primär Raynaud och andra cirkulationsstörningar

Vibrationsinducerade vita fingrar liknar, men skiljer sig också i vissa viktiga avseenden från den s.k. Raynauds sjukdom, som uppkallats efter den franske läkaren Maurice Raynaud. På 1860-talet beskrev denne en typ av vitnande fingrar hos kvinnor i Paris (122, 179). Den markanta vitheten kommer anfallsvis, vanligen med början i fingertopparna som resultat av exponering för kyla men också utlöst av sinnesrörelse. Den omfattar ofta samtliga fingrar och föregås i en del fall av cyanotisk missfärgning. Anfällen åtföljs av sensibilitetsnedsättning i de drabbade fingrarna. Eftersom man vid Raynauds sjukdom inte har kunnat identifiera någon specifik sjukdomsframkallande faktor benämns denna åkomma också "primär Raynaud" (till skillnad från "sekundär Raynaud", som orsaksmässigt kan kopplas till bl.a. vibrationer). I Sverige har en genomsnittlig prevalenssiffra för Raynauds sjukdom hos kvinnor på c:a 16% nämnts (121). Förekomsten i Japan har angetts till mellan 10 och 20% av icke-vibrationsexponerade män (106).

Raynaud-fenomen hos vibrationsexponerade, liksom primär Raynaud, måste noga åtskiljas från en allmän blekhet av fingrarna, ofta också tårna, som är vanlig hos normalbefolkningen, såväl män som kvinnor. Denna tendens till blekhet beror på nedsatt blodcirkulation som samtidigt ger upphov till köldkänsla. Den är en medfödd benägenhet och kan därför, om man så vill, kallas "konstitutionell Raynaud". I en japansk undersökning (186, 187) har det visats att förekomsten av vita fingrar är starkt korrelerad till nedsatt cirkulation (bedömd genom temperaturmätningar) också i tårna. Detta kan tyda på att en sympatisk reflex aktiveras, som gör att vibrationsexponering av handen i längden leder till att också blodkärlen i tåhudens kontraheras onormalt starkt. En annan, och kanske enklare, förklaring är emellertid att en del av de personer, som drabbas av vita fingrar under arbete med vibrerande maskiner, har en konstitutionell benägenhet till generellt lägre perifer blodcirkulation. Förekomsten av "konstitutionella vita fingrar" hos icke vibrationsexponerade gruvarbetare i Storbritannien har angetts vara 5-6% (44), men det är troligt att uppgiften avser primär Raynaud. I en annan engelsk undersökning angavs prevalensen för primär Raynaud och konstitutionell Raynaud tillsammans vara 5% (211). Av flera skäl är det alltså viktigt att i diagnostiken av vibrationsinducerade vita fingrar särskilja de typiska symptomen, deras uppkomstsätt och förlopp (att de uppträder i attacker utlösta av kyla) liksom den fläckvisa utbredningen på vibrationsexponerade ställen, från symptomen vid de andra cirkulationsstörningar som nämnts här.

Det är välkänt i klinisk erfarenhet, och det framgår också allmänt av litteraturen, att tummen sällan uppvisar Raynaud-fenomen hos vibrationsskadade. Ett exempel på detta även hos mycket kraftigt exponerade ges i en rapport av Agate et al. (2) från en undersökning av stativslipare. Bland 17 personer med VF fanns Raynaud fenomen i tummen hos endast fyra, trots att arbetsstyckena enligt beskrivning pressades mycket hårt mot slipskivan med detta finger. Exponeringstiden för dessa personer var i genomsnitt c:a 5 år.

Det s.k. hypothenara hammarsyndromet, som lokaliseras till den proximala delen av handens lillfingersida (hypothenar), består av aneurysm och trombos i arte-

ria ulnaris. Dessa förändringar har satts i samband med mekaniskt trauma mot blodkärlen från vibrerande maskiner, eftersom de observerats hos vibrationsexponerade arbetare (223, 227), men åkommans förekomst som en specifikt vibrationsinducerad skada är inte tillräckligt belyst i epidemiologiska undersökningar.

3.3.5. "Vita tår"

Det finns rapporter, t.ex. (215), som antyder att personer som exponeras för vibrationer mot foten (t.ex. bergborrhare) kan drabbas av Raynaud-fenomen i tårna (oftast med samtidiga vibrationsinducerade vita fingrar). I vissa fall har man emellertid inte skilt tillräckligt noga mellan den symptombild, som bör förekomma hos vibrationsframkallade vita tår, och en kraftig blekhet i fot och tår av det slag som också förekommer hos många icke-vibrationsexponerade. Det har inte heller kunnat avgöras om omgivningskyla i arbetet har bidragit till utvecklingen av besvären. Precis som i fall med vita fingrar, krävs det att Raynaud-fenomen på tårna med vibrationsrelation skall uppträda fläckvis och med tydligt markerad färgskillnad i förhållande till omgivande hud. Symptomen bör dessutom vara begränsade till de delar av foten, där vibrationsexponeringen varit kraftigast. Den andra typen – ett uttryck för en konstitutionell köldbänägenhet perifert i extremiteterna – omfattar vanligen samtliga fingrar och uppträder som en allmän blekhet över hela handen men utan fläckighet. Den är förenad med en allmän köldkänsla i händer och fötter men uppträder inte alltid tillsammans med så uttalat känselbortfall som i fingrarna hos personer med vibrationsinducerade vita fingrar.

Hedlund (89) undersökte 27 gruvarbetare i LKAB, som använde bergborrhare och som utsattes för fotvibrationer pga. att de stödde borrhaskinen med benen. Man fann sex fall av "vita tår", som tolkades som vibrationsrelaterade. Även om mekanismen inte har klarlagts, kan uppkomsten av en sådan störning vara rimlig, eftersom cirkulationsfysiologin i både fingrar och tår är i stort sett identisk vad beträffar det sympatiska nervsystemets roll och blodkärlens funktionella egenskaper.

Liksom vibrationer vid exponering av den ena handen kan leda till vasokonstriktion i den andra handen, har det hävdats att hand-arm-vibrationer kan ge upphov till kärlsammandragning i foten (184), men det finns epidemiologiska brister i denna studie, som gör att orsakssambandet måste betraktas som osäkert.

3.4. Nervfunktionstörningar i hand och fingrar

3.4.1. Neuropati

Det är vanligt att man hos vibrationsexponerade personer finner symptom på att nervfunktioner förändrats. Det kan vara fråga om parestesier, dvs. tex. stickningar eller ett surrande obehag ("sockerdrickskänsla") i fingrarna liksom smärtor utan yttre påverkan. Ett annat vanligt symptom är en partiell nedsättning av en sinnesförmåelse (när det gäller beröringssinnet kallar många personer detta "domningar") eller t.o.m. totalt bortfall av känsel- eller temperatursinne. Symptomens utbredning är ofta "diffus", dvs. den överensstämmer inte med innervationsområdet för någon enskild av de tre nerver till handen som förmedlar dessa sinnes-

funktioner, men störningen kan också vara klart lokaliserad till de delar av hand och fingrar, från vilka sinnesimpulser leds till centrala nervsystemet av en specifik nerv, t.ex. medianusnerven.

Tröskeln för en stimulering (dvs. den grad av stimulusintensitet som måste överskridas för att upplevelse av t.ex. värme skall äga rum) är ofta förhöjd, och det tycks vara så att graden av sensibiliteitsnedsättning varierar med hur stor exponeringen varit (52). Förekomsten av denna åkomma, som här kallas diffust utbredd neuropati, har inte bestämts i epidemiologiska undersökningar, men den torde vara tillräckligt stor för att utgöra en av de kritiska effekterna av vibrations-exponering från handhållna maskiner. Andra ergonomiska faktorer än vibrationer spelar emellertid också en betydelsefull etiologisk roll.

Den inverkan på dagliga göromål eller arbetsförmåga som de neurologiska besvären medför är till en början obetydlig och inskränker sig till mer eller mindre kraftiga obehag. I mera uttalade fall kan de emellertid vara förenade med nedsatt sensibilitet ("domning") samt tendens till fumlighet och försämrad finmotorik, vilket kan utgöra ett betydande handikapp. Liksom vita fingrar kan neuropatibesvär nedsätta livskvalitén avsevärt.

En gradering av de sensoriska störningarnas symptom (Tabell 3) har föreslagits (29). Denna skala är f.n. inte optimal, eftersom dess parallellitet med objektiva fastslagbara funktionsnedsättningar förefaller mindre god. Graderingen bygger på att individen till en början uppger besvär med intermittenta domningar, som successivt ökar, och att andra symptom därefter tillkommer. Individer med kraftigt förhöjda vibrationströsklar upplever inte nödvändigtvis domningar, vare sig under dagen eller på natten (133). Sådana fall kan inte strikt klassificeras efter den föreslagna symptomskalan, som bland annat därför måste modifieras. Vilken skala som än används behöver den valideras med objektiva tester, t ex mätning av perceptionströsklar och andra neurologiska parametrar hos vibrationsexponerade liksom, inte minst, personer utan sådan exponering.

Tabell 3. Gradering av symptomen vid neuropati hos vibrationsexponerade (Stockholm Workshop-skalan för sensorisk funktionsnedsättning). Översättning från originalet (29).

Stadium ^a	Symptom
0SN	Exponerad för vibrationer men inga symptom
1SN	Intermittent domning, med eller utan stickningar (tingling)
2SN	Intermittent eller varaktig domning; nedsatt sensorisk perception
3SN	Intermittent eller varaktig domning; nedsatt taktil diskriminationsförmåga och/eller nedsatt finmotorik

^a Graderingen skall anges separat för båda händerna.

McGeoch och medarbetare (143) har från en undersökning av 490 vibrations-exponerade personer i tung industri hävdatt att informationsvärdet hos denna skala ökar om man samtidigt använder flera olika neurologiska testmetoder. De drog slutsatsen att testningen bör göras på mer än ett finger, samt att tvåpunktsdiskri-

mination och bedömning av temperaturkänslighet diskriminerade mellan skalans stadier 0 och 1.

3.4.2. Karpaltunnelsyndrom

Karpaltunnelsyndrom (KTS) förekommer i yrken som också omfattar arbete med vibrerande maskiner (43, 160, 222) liksom i yrkesgrupper med repetitiva rörelser (8, 9, 12, 60, 139, 141, 191, 222) innebärande handledsflexion. Åkomsten beror på kompression av medianusnerven då den tillsammans med de nio fingerböjse-norna passerar ut till handen genom en tunnel i handleden. Denna nerv ger främst motoriska impulser till ett par muskler i tummen och förmedlar nervimpulser till centrala nervsystemet från de sinnesorgan, som finns i fingerhuden på tummen, pek- och långfingrarna samt den radialis (mot tummen vettande) halvan av ring-fingret. Karpaltunnelns volym kan inte utvidgas, eftersom den begränsas av mellanhandens ben och en mycket stram, oelastisk bindvävshinna på insidan av handleden. Vid ett ökat generellt tryck i denna kanal eller vid en minskning av utrymmet för medianusnerven kan en långvarig skada på nerven uppkomma. Den yttrar sig i att fingrarna domnar, dvs. känsligheten för beröring minskar, vilket leder till kraftiga obehag. Typiskt sker detta nattetid och leder till sömnstörning eller uppvaknande. Besvären försvinner först efter det att handen och armen hållits i rörelse en stund. I mera uttalade fall uppstår i handen och t.o.m. underarmen smärtor, som tillsammans med motorisk funktionsnedsättning kan försvåra eller t.o.m. omöjliggöra normalt arbete.

Den relativa betydelsen av vibrationer respektive andra faktorer (speciellt repetitiva rörelser och flexion av handleden) för uppkomsten av KTS har ännu inte klargjorts men det är sannolikt att de sistnämnda faktorerna spelar en dominerande roll i många yrkesgrupper. Detta antagande stöds av resultaten av en genomgång av litteraturen på området (86). I 15 tvärsnittstudier av 32 olika yrken eller exponerade grupper samt 6 fall-kontroll-studier varierade den rapporterade KTS-prevalensen mellan 0.6% och 61%. Den högsta prevalensen noterades för sliparbetare och plåtslagare liksom för andra grupper, där det förekom kraftigt manuellt arbete och mycket repetitiva rörelser. På grundval av epidemiologiska och andra data drogs slutsatsen att exponering för fysiska belastningsfaktorer som repetitivt och kraftigt grepp troligen är den dominerande orsaken till KTS i flera yrkesgrupper, och 50-90% av alla KTS-fall i de undersökta populationerna förefaller kunna hänföras till fysisk arbetsbelastning.

Strömberg och medarbetare (203) har undersökt 100 vibrationsexponerade män (plåtslagare, svetsare, mekaniker, betongarbetare, stenarbetare, elektriker, snickare och truckförare) som under tiden 1991-1993 utretts vid en handkirurgisk klinik för olika handbesvär (neurologiska symptom, cirkulationsstörning, värk och muskelsvaghet). Förutom att de gav en bekräftelse på att neurologiska och cirkulatoriska störningar kan uppträda oberoende av varandra visade resultaten, att 28% av patienterna hade karpaltunnelsyndrom. Orsakerna till övriga neurologiska besvär (med eller utan samtidiga vita fingrar) ansågs vara troligen lokaliserade i distalare delar av medianusnervens innervationsområde (mellanhand och fingrar) snarare än i handleden (183).

Sammanfattningsvis kan man konstatera, att karpaltunnelsyndrom inte kan betraktas som en kritisk effekt som motiverar preventivt arbete riktat mot enbart vibrationsexponering.

3.4.3. Laboratorieundersökning av neurologiska störningar

Vid utredning av patienter med misstänkt neurologisk vibrationsskada utförs i de flesta fall både en basal klinisk undersökning och en testning med olika laboratoriemetoder. Vid läkarundersökningen prövas t.ex. temperatursinnet (med varma och kalla föremål) och beröringssinnet (med mjuka och hårda, trubbiga och spetsiga föremål, samt med vibrationer från stämgaflar). Den kliniska undersökningen är summarisk och oftast inte tillräckligt informativ och måste i de flesta fall kompletteras med laboratorietester.

Dessa syftar till att avslöja funktionsförändringar hos de receptorer eller nerver, som förmedlar sinnesintryck till centrala nervsystemet. Vanligen används metoder som går under samlingsnamnet kvantitativ sensorisk testning (Quantitative Sensory Testing, QST), nämligen känslighetstester för värme, kyla och mekanisk stimulering, vilkas syfte är att bestämma den lägsta intensitet ("tröskeln") för ett stimulus, som framkallar en upplevelse av värme, kyla, beröring och vibration.

Diagnostik av vaskulära och neurologiska störningar hos vibrationsexponerade har behandlats vid ett internationellt symposium i Stockholm 1994 (6, 166). Det råder enighet om att mycket få laboratorietester har en sådan sensitivitet, specificitet och prediktivt värde att de kan användas för orsakdiagnostik av HAVS för enskilda patienter. En viktig orsak till detta är att det i stor utsträckning saknas epidemiologisk validerade normalvärden för de olika testerna. QST har använts i stor utsträckning i screening-undersökningar med syfte att fastställa prevalenser eller incidens av olika vibrationsinducerade åkommor, men även i detta avseende förhindrar de nämnda nackdelarna epidemiologiskt säkra data, och möjligheterna att använda dessa data vid internationella jämförelser är mycket begränsade. Däremot är de väl användbara t.ex. när det gäller att i prospektiva studier jämföra neurologiska störningar inom en viss yrkesgrupp vid olika tidpunkter. Flodmark och Lundborg (61), har rapporterat minskad vibrotaktil känslighet hos vibrationsexponerade personer i en stenkrossningsanläggning. Resultaten ansågs visa, att en sådan undersökning är ett hjälpmedel för symptomdiagnostik vid neuromuskulära besvär orsakade av vibrationsexponering. Det är emellertid troligt att den stora interindividuella variabiliteten gör den mest värdefull för att följa utvecklingen av neuropati hos enskilda personer över en längre tid. Det optimala är att använda tekniken som ett led i en utredning, där man bedömer kombinerad exponering för vibrationer och andra biologiska faktorer.

Problem beträffande specificitet, sensitivitet och prediktivt värde för enskilda QST-tester när det gäller diagnos av vibrationsskador har påtalats i en undersökning av Kent och medarbetare (112). Detta baseras på en klassificering enligt Stockholms-skalorna, klinisk undersökning och testning av den vibrotaktila perceptionströskeln (131) hos 40 slipare vid ett skeppsvarv och tio personer utan vibrationsexponering. Författarna hävdar dock, att möjligheten att diagnosticera "vibrationsskada" ökar, om de nämnda procedurerna används i kombination. Det var bara den kliniska undersökningen som visade normala förhållanden hos alla kontroller utom en, medan alla vibrationsexponerade var onormala i dessa avse-

enden. Resultatets värde, och därmed slutsatsens validitet, minskas emellertid av att undersökningen av kontrollerna inte lyckades särskilja personer med och utan symptom. Detta ansågs kunna bero på att den fysiologiska störningen inte hade överskridit symptomtröskeln eller att det kliniska undersökningsbatteriets specificitet och prediktiva värde var för låga.

De påtalade problemen sammanhänger med hur man fastställer specificitets- och sensitivitetsvärden för olika testmetoder, exempelvis. registrering av tröskeln för vibrationskänslighet, tvåpunktsdiskrimination och temperaturtester. Höga värden kräver att andelarna "falskt positiva" och "falskt negativa" resultat av testningen är små. Bedömningen om testutfallet skall kallas "falskt" eller "sant" bygger på en jämförelse med en diagnos (en "golden standard"), som ställts från början på grundval av vissa kriterier. Jämförelsen blir meningsfull endast om denna diagnos är korrekt. Chansen för att så är fallet ökar genom att det görs en samtidig utvärdering av vibrationsexponeringen. Det krävs också att man vet något om var gränsen mellan normala och onormala testresultat går. Det är möjligt endast om det finns normalvärden som säkerställts i epidemiologiska undersökningar. Diagnosen är oftast grundad på en sannolikhetsbedömning av huruvida (a) det i den undersöktes arbetsmiljö har funnits faktorer, som kan innebära skadlig inverkan (också detta avhängigt av existensen av epidemiologiska data) och (b) att denna skadliga inverkan har resulterat i de aktuella besvären. Det är alltså en rad faktorer som kan påverka resultatet av specificitets- och sensitivitetsanalysen. Om diagnosen ställs på grundval av otillräcklig kännedom om förutsättningarna, kan analysresultatet ha mycket låg validitet.

Det finns behov av internationell standardisering av metodik vid neurologisk utredning av vibrationsexponerade. Som ett led i detta har en arbetsgrupp inom ISO (TC108/SC4/WG8) utarbetat ett förslag till internationell standard för mätning och utvärdering av känseltrösklar för vibrationer som registreras på fingertoppar (ISO/DIS 13091-1, 1999) (104).

3.5. Störningar i rörelseapparaten

De vanligaste besvär i händernas och armarnas muskler, senor och leder (värk och rörelseinskränkning) som beskrivits hos personer i vibrationsexponerade arbeten är sådana som kan sammanhånga med en kraftig belastning genom tungt, repetitivt eller statiskt arbete. I en japansk undersökning av gruvarbetare som använde mejselhammare (188) fann man att förekomsten av VF mest rörde den hand som höll i mejseln, medan rörelseinskränkning förekom mest i den arm som förde maskinen mot arbetsmaterialet.

Muskelsvaghet har också nämnts som en följd av vibrationsexponering. Det har inte kunnat bestämmas i epidemiologiska undersökningar hur vanlig en sådan nedsättning är, och inte heller har det kunnat avgöras i hur hög grad den har specifikt samband med vibrationsexponering. En möjlig orsak till denna brist på kunskap är att jämförelsesiffror för muskelstyrkan hos de enskilda individerna före vibrationsexponeringens början vanligen saknas i de undersökta grupperna.

Nuvarande kunskap om vibrationsinducerade skador på ben och leder har beskrivits i en översikt baserad på 1900-talets litteratur (79). Det framgår att artros i

handled och armbågsled förekommer i en lätt ökad omfattning hos personer som länge arbetat med slående maskiner. I undersökningar av kolgruvearbetare i Ruhrområdet (där sambandet mellan vibrationspåverkan och ben- och ledbesvär blivit mest grundligt analyserat) har stötar från slående maskiner av typ mejselhammare ansetts kunna öka den naturliga förekomsten av leddegeneration, dock inte med mer än c:a 1%.

Benskadorna i handskelettet, främst cystbildningar, har i många undersökningar, bl.a. svenska (49, 59), nämnts som orsakade av vibrationer, men epidemiologiska belägg finns för att manuellt arbete som sådant är en troligare förklaring till förändringar av detta slag (79, 107)

I en undersökning (113) av betongarbetare, lastbilmontörer, elektriker, verkstadsarbetare i tung mekanisk industri, och motorsågarbetare gjordes en uppföljning av 312 personer efter fem år. Efter hänsynstagande i analyserna till ålder, antal år i yrket och rökvanor konstaterades det, att handledsbesvär var vanligare hos arbetare som använde slående maskiner, som alstrade högfrekventa vibrationer, jämfört med icke-slående maskiner. Vid jämförelse med den sistnämnda maskintypen fann man också, att arbete med lågfrekventa slående maskiner var mer associerat med besvär i armbåge och skuldra. En möjlig förklaring ansågs vara att stöttingar med lägre frekvens transmitteras till överarmen medan intensiteten hos vibration från högfrekventa slående maskiner har i stort sett avklingat redan i hand och handled.

3.6. Sammanfattning av skadliga effekter av vibrationsexponering

De åkommor som kan orsakas av vibrationsexponering är cirkulationsstörning i form av vita fingrar, diffust utbredd neuropati i handen samt i viss mån (för vibrationer av stötcharakter) artros i handled- och armbågsled. Sambandet mellan vibrationer och utvecklingen av karpaltunnelsyndrom är osäkert, men troligen dominerar repetitiva rörelser och handledsflexion som etiologiska faktorer. Störningar i rörelseapparaten i form av nedsatt muskelkraft kopplad till vibrationsexponering har ännu inte kunnat etiologiskt dokumenteras i epidemiologiska undersökningar. Bencystor är inte en specifik vibrationskada.

4. Hand-arm-vibrationssyndromets patofysiologi

Uppkomst- och utvecklingsmekanismer för olika skador hos vibrationsexponerade behandlas i en svensk publikation (53) och i en mängd artiklar i olika internationella tidskrifter samt i omfattande kunskapsöversikter (69, 185) Nedan lämnas en kortfattad redogörelse för väsentliga patofysiologiska mekanismer.

4.1. Vita fingrar

Det sympatiska nervsystemet reglerar hudblodkärlens vidd genom att upprätthålla en viss grad av kontraktion i kärlväggarnas muskulatur (tonus). Flera arbeten under senaste årtiondet, främst av Olsen och medarbetare (164), har hävdade att den patofysiologiska mekanismen för Raynaud-fenomen hos vibrationsexponerade är en onormalt hög tonus i de artärer som förser fingrarna med blod (digitalartärerna). Andra undersökningar har emellertid föranlett samme författare att i ett arbete (165) föreslå att mekanismen består av en kombination av hög sympatisk aktivitet och lokala faktorer som deltar i regleringen av blodkärlens vidd. En obalans mellan de parasympatiska och sympatiska delarna av det autonoma nervsystemet har också diskuterats som orsak till såväl vita fingrar som störningar i andra autonomt styrda organfunktioner, t.ex. hjärtat (15, 66, 90). Den troliga mekanismen för sådana autonoma funktionsstörningar är stressorinverkan från vibrationer och andra faktorer i arbetarnas totala miljö (66).

Det är troligt att en väsentlig orsak till vibrationsinducerade vita fingrar (sannolikt tillsammans med ökad sympatisk aktivitet) är en funktionell störning lokaliserad till fingerhuden (69). Avblekningen vid Raynaud-attacker kan vara sådan att ett hudområde med normal rodnad ligger längre ut på fingret än det vita partiet. Redan detta gör det troligt, att inte bara fingerartärerna utan också deras minsta förgreningar i huden deltar i den patologiska kärlsammandragningen, något som är svårt att förklara enbart på grundval av en generellt ökad käriltonus genom en förhöjd sympatisk aktivitetsnivå. Antagandet om en lokal defekt förklarar också att det perifera motståndet i fingrarnas blodkärl tycks vara förhöjt hos personer med vibrationsinducerade VF (77) och att de oscillationer som beror av normala kärlväggsmekanismer är onormalt starka hos dessa personer (174).

Som säte för en lokal patologisk funktion vid hudstimulering med kyla kan en mängd nervfunktioner i komplexa interagerande receptorsystem komma ifråga (14). Av stort intresse därvidlag är det system som styrs av katekolaminer (noradrenalin och adrenalin) och som studerats av Ekenvall och medarbetare (54, 56, 126). Vid försöken i dessa arbeten tillfördes olika kärlaktiva ämnen med iontofores. Resultaten tydde på att det hos vibrationsexponerade personer med vita fingrar förelåg en relativ övervikt för en starkare kärlsammandragande typ av receptorer i det adrenerga systemet (s.k. alfa₂-receptorer) än de mindre kraftigt konstriktoriska alfa₁-receptorerna. Någon förklaring till att den ena receptortypen skulle påverkas mer av vibrationer än den andra har inte framlagts.

Det är möjligt att det innersta lagret av celler i blodkärlsväggen (endotelet) mekaniskt kan skadas av vibrationer. Detta skulle kunna leda till en störning i de kärlviddsreglerande mekanismer som kräver ett intakt endotel, t.ex. den mekanism som styrs av den endotelberoende blodkärlsutvidgande faktorn (endothelium-derived relaxing factor, EDRF). I försök på skogsarbetare, exponerade för vibrationer från motorkedjesågar, med tillförsel till huden av vissa kärlaktiva ämnen genom iontofores har det antytts att så skulle kunna vara fallet (76). Acetylkolin, som verkar via receptorer på endotelcellen, har en kärlutvidgande effekt medierad av EDRF. Dilatation framkallas också av kvävemonoxid (NO) på två vägar: en via prostacyclin (prostaglandin I₂) i endotelcellen och en direkt på de glatta muskelcellerna i kärlväggen. Den vasodilaterande effekten av iontoforerat metakolin (som har acetylkolins verkan) var mindre i en kombinerad grupp av skogsarbetare med nuvarande vita fingrar och tidigare anamnes på vita fingrar än hos personer som aldrig haft Raynaud-fenomen. En sådan skillnad fanns inte vid iontofores av nitroprussidnatrium, som avger NO. Den sistnämnda observationen stämmer med det förhållandet att NO inte är lika beroende av ett oskadat endotel utan också kan verka direkt på muskelcellen.

Även om orsaken till vibrationsinducerade vita fingrar alltså kan vara att söka i fingerhudens många blodkärlsreglerande strukturer, behövs det ytterligare forskning för att avgöra vilken eller vilka av dessa funktioner som är primärt skadade.

Man vet inte om primär eller "konstitutionell Raynaud" ökar känsligheten för skadlig inverkan av hand-arm-vibrationer. Det är fysiologiskt rimligt, men det saknas epidemiologiska data om i vad mån det är så. Dessa individuella faktorer kan därför ännu inte tas med i överväganden om exponeringsbegränsning. De har dock i den svenska föreskriften för hand-arm-vibrationer antytts som en skäl till att rekommendera medicinsk undersökning av vibrationsexponerade personer.

Det finns publikationer (205, 219) som rapporterar att blodkärlen i fingerhuden hos personer med vibrationsinducerade VF är förtjockade, vilket ökar benägenheten hos kärlen att bli så snäva att de vid exponering för kyla sammandrar sig helt. Epidemiologisk information saknas dock för hur allmänt förekommande detta är.

Histologisk undersökning har gjorts av Takeuchi och medarbetare (205) av fingerhudsbiopsier från personer, som arbetat med motorkedjesågar och pneumatiska hammare, samt från kontroller utan vibrationsexponering. Typiska förändringar hos de vibrationsexponerade, men inte hos kontrollerna, var förändringar i små artärer och arterioler i form av perivaskulär fibros och förtjockning av kärlväggens muskelceller. Den sistnämnda antogs ha uppkommit genom ofta upprepad kärlkontraktion, och fibrotiseringen föreslogs vara en följd av tidigare ödembildning orsakad av vibrationsexponering.

Med tanke på några av de kärlreglerande mekanismer, som förekommer i fingerhuden, är det troligt att blodets viskositet är en faktor, som på något sätt har att göra med Raynaud-fenomenet i kyla hos vibrationsexponerade. Arbeten som berör detta är dock få. Greenstein och Kester (80) har funnit att akut vibrationsexponering ledde till viskositetsökning i handens venösa blod hos såväl män med vita fingrar (antaget vibrationsinducerade) som personer utan tidigare vibrationsexponering. Denna undersökning har lika litet som andra studier kunnat belysa med vilka mekanismer sådana akuta viskositetsförändringar skulle kunna antingen framkalla åkomman eller enbart vara en symptomutlösande.

Vibrationsexponering av underarmen och handen med låga frekvenser kan också leda till en blodflödesökning i fingrarna (192, 193). Mekanismen för detta har ansetts vara en reflektorisk hämning av kärllonus åstadkommen av signaler från mekanoreceptorer i huden.

Den skadliga inverkan på blodkärlen förefaller vara frekvensberoende, men det är oklart vilka frekvensområden som är mest effektiva i detta avseende. Arbetet vid yrkesmässig exponering skiljer sig oftast avsevärt från det som förekommer vid laboratorieförsök genom att vara mera dynamiskt eller mera statiskt. Experimentell vibrationsexponering ger också ibland ett annorlunda frekvensinnehåll än exponering i yrket.

4.2. Nevfunktionsstörningar

4.2.1. Diffust utbredd neuropati

Den mekanism som leder till de vanliga sensoriska funktionsstörningarna som hos många vibrationsexponerade kan drabba handens fingrar, har inte klarlagts. Det är möjligt att mekanisk påverkan på receptorer och andra nervstrukturer i fingerhuden är en skadeframkallande faktor vid uppkomsten av denna diffust utbredda neuropati (med begreppet menas att besvärens utbredning inte svarar mot innervationsområdet för en specifik nerv).

En annan mekanism, ödem kring nervfibrer, har också föreslagits på grundval av djurstudier. Vibrationer på bakbenet hos råttor har nämligen rapporterats leda till ödembildning kring nervfiberbuntar i ischiasnerven (129, 130). Detta har sedan ansetts antyda, att nervfunktionen hos människa skulle kunna skadas av vibrationer från handhållna maskiner på grundval av samma mekanism. Förhållandena under djurförsöken har emellertid varit sådana att andra ergonomiska faktorer än vibrationer kan ha inverkat till ödembildningen, bland dem förändringar i blodcirkulationen pga. att benet är fastspänt under exponeringen. Det är också ogörligt att bedöma i vad mån den använda vibrationsdosen är till verkningsätt och verkningsgrad ekvivalent med den såväl dynamiska som statiska exponering, som sker av människans hand under normalt arbete. Definitivt stöd för denna teori i data från humanexperiment eller epidemiologiska studier av vibrationsexponerade yrkesgrupper saknas.

I en histologisk undersökning (205) av fingerhudsbiopsier från personer, som arbetat med motorkedjesågar och pneumatiska hammare, iaktogs demyelinisering och perineural fibros i betydligt större utsträckning hos de vibrationsexponerade än hos kontrollerna. Fibrotiseringen antogs vara en följd av tidigare ödembildning orsakad av vibrationsexponering. För de vibrationsexponerade som uppvisade perineural fibros finns det emellertid inga uppgifter om ålder, en faktor som kan ha samband med de beskrivna förändringarna. Inte heller anges det huruvida biopsierna hade tagits just i den del av fingerhuden, där Raynaud-fenomen uppträdde.

4.2.2. Karpaltunnelsyndrom

En troligen väsentlig orsak till karpaltunnelsyndrom är ergonomiska arbetsfaktorer, främst repetitiv handledsböjning och -sträckning av handleden, som på olika vägar leder till en nervpåverkan (8, 9, 86). Inflammation av höljet till fingerböjse-norna (synovit) och därav följande ödem kan framkallas genom långvarigt arbete med sådana rörelser. Ödemet och synoviasvullnaden ger upphov till en tryckökning i karpaltunneln. Detta åstadkoms emellertid också redan genom böjning och sträckning av handleden. Möjliga orsaker till att nerven får minskat utrymme vid sådana rörelser, och därmed kan komprimeras, har angetts (182) vara att (a) den just proximalt om handleden inte så lätt kan förskjutas vid handledsflexion; (b) karpaltunneltaket (retinaculum flexorum) har en skarp proximal rand som trycker mot nerven när handleden är böjd; (c) främre delen av os lunatum ett av mellanhandsbenen, roterar under handledsflexion och skjuter i riktning mot handflatan in i karpaltunneln, som därvid blir trängre. Det är vidare naturligt, att en snävare kanal ökar risken för mekanisk påverkan och tryckökning. Man kan därför också tänka sig, att personer med konstitutionellt snävare tunnel (och därmed större känslighet för tryckökning) löper större risk att utveckla KTS, men hittills utförda studier av personer med denna åkomma har inte kunnat bekräfta detta.

I en utförlig översikt av den roll, som ergonomiska faktorer spelar för uppkomsten av KTS (218), konstateras att repetitivt arbete mot motstånd ("forceful repetitive work"), vibrationer och extrema handledsställningar – liksom vissa individrelaterade faktorer som ålder, kön och kraftig övervikt – har associerats med KTS i flera epidemiologiska undersökningar. Experimentella studier har visat att vissa underarms-, handleds- och fingerställningar, även måttlig belastning på handen och yttre tryck kan öka trycket i karpaltunneln och därvid potentiellt åstadkomma skada på medianusnerven. Även om det behövs ytterligare forskning, ansågs det finnas tillräcklig information för att föreslå en minskning av exponeringens varaktighet och intensitet liksom hur ofta den förekommer i repetitivt arbete mot motstånd, extrema handledsställningar och vibrationer för att åstadkomma en minskning i KTS-förekomsten. Det hänvisas också till elektrodiagnostiska fynd i en svensk undersökning av verkstadspersonal i tung mekanisk industri (159), som visat att effekterna av grepp kring maskinhandtaget och andra belastningsfaktorer inte kan skiljas från effekten av vibrationer. Med anledning av dessa data görs därför antagandet, att det kanske är fingrarna som primärt påverkas av vibrationer och att karpaltunnelfynden är resultatet av exponering för andra faktorer.

Data från den amerikanska National Health Interview Survey för 1988 har analyserats (207) med avseende på betydelsen av yrkesfaktorer och en rad individrelaterade faktorer för uppkomsten av KTS. Undersökningen lider av vissa epidemiologiska brister, men resultaten har ändå ett visst intresse, eftersom de inte motsäger de rapporter, som diskuterats i föregående stycke.

Undersökningen baserades på uppgifter i enkäter från c:a 30000 personer över 18 år som var i yrkesarbete eller hade varit det någon gång under det senaste året. Svarsfrekvensen var 88 %. En del av dessa hade genomgått medicinsk undersökning och fått uppgifter från läkare, som tydde på ett tillstånd som liknade eller antogs vara karpaltunnelsyndrom. Frågor ställdes i enkäten om arbete med vibrerande maskiner och om arbete som innebar böjning och vridning i handleden flera gånger i timmen. Av de 30000 personerna hade 441 (1.5 %) tillstånd som kunde

vara KTS enligt deras egna uppgifter och 145 (0.5 %) som byggde på uttalande från läkare. Det fanns en övervikt i dessa kategorier av bl.a. personer som hade utfört arbete med upprepad böjning och vridning i handleden. Detsamma gällde för kvinnor och åldersgruppen 35-54 år. Oddskvoter bestämda med logistisk regression var för KTS-fall baserade på uttalanden från läkare 1.86 (95 % CI, 1.23-2.80) ifråga om vibrationsexponering (svar "ja" på den ovan citerade frågan) och för upprepade handledsrörelser med böjning och vridning 5.50 (3.21-9.42).

I diskussionen poängterades att det kan ha förekommit en betydande bias i svaren eftersom undersökningen hade gjorts under en period då intresset för karpaltunnelsyndrom var stort i USA. Bias i uppgifter från medicinska instanser som rör de svarande kan också ha påverkat prevalenserna på ett okänt sätt. Författarna menade emellertid att fel som kunde ha orsakats av detta var små, bl.a. eftersom översikten hade lagts upp så att ledande frågor undveks.

De enda ergonomiska faktorer som visade sig ha starkt samband med KTS var upprepad böjning/vridning av handleden och vibrationsexponering. Inga slutsatser kunde dras om de två faktorernas relativa betydelse för uppkomsten av KTS.

Ergonomiska och individrelaterade faktorer eventuella KTS-framkallande effekt har diskuterats av Vikarii-Juntura och Silverstein (218). Dessa författare hävdar nödvändigheten av att reducera vissa typer av repetitivt arbete och extrema handledsställningar liksom vibrationer för att KTS-förekomsten skall kunna minskas. Inte heller i detta arbete har de olika faktorernas relativa betydelse kunnat bedömas.

Vibrationer har sagts kunna åstadkomma förändringar i medianusnerven just ovanför handleden (202). I prov från samtliga 10 vibrationsexponerade patienter med handledssmärta konstaterades myelinnedbrytning och fibros i den vävnad som omger nerven, medan endast en av 12 kontroller hade sådana förändringar. De nämnda myelinförändringarna ansågs kunna vara den primära skadan vid karpaltunnelsyndrom hos vibrationsexponerade. Om detta är fallet, skulle det kunna förklara att den konventionella operationen vid KTS (klyvning av tunneltaket) hos en del patienter inte leder till förbättring.

Det kraftiga grepp, som hanteringen av vibrerande maskiner ibland kräver, och därmed stark spänning av fingerböjsenorna i karpaltunneln, kan möjligen också ge mindre utrymme för medianusnerven (194). Liksom ifråga om diffust utbredd neuropati har det vidare antagits (130) att vibrationer kan leda till vätskeutgjutning kring nervfibergrupper och därmed ökat tryck på nerven.

4.3. Vibrationsrelaterad nervfunktionsstörning vid andra hand-arm-åkommor

4.3.1. Skada på en redan nedsatt nervfunktion

I många yrkeskategorier förekommer arbete som medför en ergonomisk kompression av det nätverk av nerver som i nack- och skulderregionen går ut till armen (plexus brachialis). Enligt en teori kan detta kan leda till att sensoriska nerver, som engageras vid vibrationsexponering, blir känsligare för skada ("multiple crush"-syndromet). I en prospektiv studie med uppföljning efter fem år av an-

ställda i pappersmasseindustri (217) undersöktes nervfunktion med "abduction external rotation" (AER)-test, en metod som innebär att armen förs utåt och vrids i skuldran ("hands-up"-ställning). Personer med positiva tester (tecken på nervfunktionspåverkan) hade nedsatt nervledningshastighet i handleden. Positivt utfall vid den första undersökningen var relaterat till nytillkomna störningar i nacke och överarm och till tecken på nervkompression i handen. Resultaten gav alltså stöd åt teorin om "multiple crush"-relaterad nervkompression och att man därför vid bedömning av nervfunktionen i en speciell del av hand-arm-systemet också bör uppmärksamma störningar i andra delar.

4.3.2. Samband mellan vibrationer och hörselnedsättning

Det har rapporterats att hörselnedsättning förekommer i högre utsträckning hos personer som exponeras för vibrationer, speciellt sådana av stötcharakter (97, 98, 176, 177, 198) än hos likvärdigt bullerexponerade utan samtidig vibrationsexponering. Mekanismen för detta är inte klar. Att döma av finska resultat (197) är det inte troligt att orsaken är att söka i en direkt mekanisk påverkan på hörselfunktioner i innerörat. En förklaring är möjligen att finna i en obalans mellan sympatiska och parasympatiska nervfunktioner orsakad av starkt inflöde av vibrationsutlösta nervimpulser från hand-arm-systemet eller av stressorer. En annan orsak skulle dock kunna vara en tillfällig men under många år upprepade exponering för det starka bullret från små, otillräckligt ljuddämpade maskiner. Detta buller är ofta av stötcharakter. Det finns emellertid ingen undersökning där denna hypotes studerats.

4.4. Störningar i rörelseapparaten

4.4.1. Artros

Mekanismen bakom den prevalensökning av artros, som konstaterats hos vibrationsexponerade kolgruvearbetare (se översikt av Gemne och Saraste (79)) har belysts genom stora serier av röntgenundersökningar (180). Det har antagits, som det förefaller på goda grunder, att leddegeneration kan uppkomma genom en kombination av tungt manuellt arbete och lågfrekventa vibrationer från slående handhållna maskiner. Det finns också definitiva djurexperimentella stöd för att ledbrocken kan skadas och att artrosutveckling befrämjas genom upprepade kontakt mellan brocken under långvarig exponering för kraftiga stötar (178). Broskskadan orsakar en omformning av nätverket i det underliggande benet och därmed ojämnheter i ledytan, som med röntgen kan diagnostiseras som artros.

Leddegeneration kan vara en följd av tungt manuellt arbete, som ökar belastningen på leder (4, 5, 110), oberoende av vibrationsförekomst. Det kan emellertid tänkas att den s.k. toniska vibrationsreflexen (5, 84) är ansvarig för en mindre del av artrosutvecklingen i yrkesgrupper som arbetar med maskiner av denna typ. Denna reflex leder till ökad ledbelastning genom ett något kraftigare grepp kring maskinhandtaget, utlöst av att muskulaturen kontraheras då den utsätts för vibrationer. Det kan också ske en kompensatorisk, vibrationsutlöst ökning av muskelkontraktionen. Vibrationer kring 50 Hz har nämligen i djurförsök visats leda till

minskad verkningsgrad i muskeln. Detta antas bero på att vibrationerna ökar syreförbrukningen genom att bindningen mellan de kontraktila muskelementen (aktin och myosin) försvåras (127).

Också i detta sammanhang är det skäl att nämna, att tungt manuellt arbete – och därmed stor belastning – snarare än vibrationer i sig - är en troligare förklaring till cystbildningar i mellanhandens benskelett (79, 107).

4.4.2. Vibrationsrelaterad muskelskada

Minskning av muskelkraft hos långvarigt vibrationsexponerade har rapporterats i vissa studier (64, 65, 67). Det finns ännu inte någon allmänt accepterad mekanism för uppkomsten av en sådan vibrationseffekt.

Försök (150) på åtta anesteserade råttor, vilkas bakben utsatts för sinusvibrationer vid 80 Hz fem timmar per dag under fem dagar (acceleration 32 m/s^2) har emellertid i muskelfibrer närmast vibrationskällan påvisat degeneration (men också en viss regeneration) som inte fanns i det oexponerade benet.

Senare har två liknande undersökningar gjorts. I den ena (152) åstadkom akut vibrationsexponering (80 Hz under fem timmar per dag i två dagar med accelerationen 32 m/s^2), en större ökning av muskelfiberstorlek jämfört med oexponerade kontroldjur. Författarna postulerade att dessa förändringar är det första tecknet på vibrationsinducerad muskelskada. I den andra (151) befanns det (efter samma exponeringsförhållanden) att en typ av långsamt arbetande muskelfibrer hos de exponerade råttorna hade förstörats mer än hos kontroldjuren, medan en sådan förändring av en snabbare muskelfibertyp var mindre uttalad. Efter exponering för den lägre frekvensen 40 Hz var kärnorna i muskelfibrerna relativt mer storleksökade i förhållande till kontrollerna än vid frekvensen 80 Hz. Konklusionen var att vävnadsförskjutning är en kritisk faktor för utvecklingen av vibrationsinducerad muskelskada.

I en översikt av experimentella fynd vid djurförsök (48) konkluderades att även kortvarig akut vibrationsexponering kan orsaka funktionella och morfologiska förändringar i nerver och muskler nära vibrationskällan, men att slutsatsernas tillämpbarhet på vibrationsexponerade människor kan fastställas först efter ytterligare studier av patofysiologiska mekanismer vid utvecklingen av hand-arm-vibrationssyndromet. Även om de beskrivna fynden är intressanta, påpekar författarna att deras validitet för människor kan ifrågasättas, eftersom det inte går att bedöma huruvida råttornas känslighet för vibrationskada motsvarar människans. Detta gäller också det faktum, att bakbenen i de nämnda försöken immobiliserats, vilket kan ha haft en modifierande effekt på resultatet genom att t.ex. blodcirkulationen försämrats på ett sätt som inte sker hos vibrationsexponerade människor i dynamiskt arbete.

4.5. Inverkan av andra faktorer än vibrationer

Det har inte klarlagts i vad mån andra miljöfaktorer än vibrationer eller faktorer som är bundna till individen och individens livsstil bidrar till utvecklingen av olika vibrationskador, men det är sannolikt att uppkomsten av såväl neurologiska funktionsstörningar som vita fingrar är multifaktoriell (68). Den möjligen vikti-

gaste orsaken till de stora skillnader i VF-prevalens, som kunnat konstateras inom en och samma yrkesgrupp, är dock att den *individuella känsligheten* för skadligt inflytande av vibrationer (liksom känsligheten för t.ex. kyla) varierar mycket starkt.

Åldersförändringar i blodkärl och nervvävnad kan tänkas predisponera för vibrationsskador, men åldersfaktorns betydelse är inte klarlagd i epidemiologiska undersökningar vare sig när det gäller sjukdomsframkallande mekanismer eller symptomatologi.

Kyla utlöser Raynaud-fenomen, och eftersom denna faktor funnits i arbetsmiljön hos många yrkesgrupper med överrisk för vita fingrar, kan den helt naturligt misstänkas bidra till att framkalla denna cirkulationsstörning. Detta har emellertid inte kunnat beläggas i epidemiologiska undersökningar. Det är inte förvånande, eftersom exponeringen för kyla knappast kan kvantifieras i tvärsnittsundersökningar, och prospektiva studier på detta område saknas. I en undersökning av personer, som länge arbetat utan handskar vid snittning av djupfrysta djurpreparat (221), fanns det ingen skillnad i förekomst av vita fingrar i jämförelse med en kontrollgrupp, matchad med avseende på kön, ålder och rökvanor. Under de första 15 minuterna av ett arbetspass kunde hudtemperaturen i fingrarna sjunka till mellan 10 och 20 grader, och hos sex av 15 köldexponerade var medeltemperaturen mindre än 20 grader. Symptomdiagnosen Raynaud-fenomen ställdes enbart med hjälp av personernas egna svar på ett frågeformulär. Detta minskar resultatets validitet, men undersökarna bedömde att ingen bias hade påverkat resultatet.

Huruvida *avsaknad av köldexponering* kan medverka till en lägre förekomst av vita fingrar är oklart. En undersökning av unga huggare i tropiskt klimat (regnskogsområden på Papua Nya Guinea och i Indonesien), rapporterad av Futatsuka och medarbetare (62), är intressant i detta avseende. De undersökta hade inga symptom på vita fingrar, men trots det varma klimatet visade laboratorietester i en del fall tendens till cirkulationsstörning i fingrarna.

Inverkan av *nikotinkonsumtion* pga. rökning eller snusning på uppkomsten av cirkulationsstörning i form av vita fingrar är oklar. Som har konstaterats i många studier, bl.a. i Sverige (55), kan nikotin dock utlösa kärlsammandragning och är därmed av betydelse för symptomförekomst hos vibrationsexponerade personer med vita fingrar.

Det är klart att *stressorer* kan utlösa vita fingrar. Stressorer definieras som alla de faktorer som av organismen (omedvetet eller medvetet) upplevs som potentiellt skadliga för den kroppsliga funktionella jämvikten, och sådana finns i många vibrationsexponerade yrkesgrupper. Hit kan räknas också kyla, buller och tungt kroppsarbete. Eftersom inflytandet från sådana faktorer inte kan värderas kvantitativt, saknas det information om i vad mån de bidrar till sjukdomsframkallandet. Detta försvårar naturligtvis avsevärt kartläggningen av vibrations specifika skadliga effekter. Huruvida vibrationer orsakar inte bara utvecklingen av sjukdomen vita fingrar utan också utlöser symptomet fingerhudavblekning är en fråga som fortfarande saknar entydigt svar. Det är för det första en allmän erfarenhet, att attacker av vita fingrar sällan uppträder under pågående arbete med vibrerande maskiner, inte ens i omgivningskyla. Detta antas bero på att det under muskelarbete sker en värmeutveckling som motverkar och förhindrar utlösningen av Raynaud-fenomen. För det andra finns det också gynnsamma effekter av vibrationer, som

antas kunna stimulera blodcirkulationen i skelettmuskel genom en reflektorisk blodkärlsutvidgning (192, 193).

Vissa faktorer som sammanhänger med arbetsteknik och arbetsorganisation kan inverka på enskilda individers exponering. Förhöjda prevalenser av vita fingrar har ansetts vara relaterad till en intensivare vibrationsexponering vid ackordarbete.

5. Undersökningar av det kvantitativa sambandet mellan vibrations-exponering och skadeförekomst

I de följande två avsnitten beskrivs arbeten som diskuterat prevalenser av vibrations-skador och graden av överensstämmelse mellan observerade prevalenser och "förutsägelser" med hjälp av riskbedömningsmodellen i Annex A i SS-ISO 5349 (195), i detta dokument kallad "ER 5349".

5.1. Vita fingrar

5.1.1. Äldre studier

Förhållandet mellan vibrationsexponering i sliparbete och förekomsten av vita fingrar har undersökts av en kinesisk forskargrupp (225). Vibrationsintensiteten vid stativslipning på karborundumskiva mättes enligt ISO 5349. Frekvensanalys i tersband visade att vibrationerna var minimala under 30 Hz men att de ökade med frekvensen upp till 2 kHz. Vibrationerna uppgavs vidare ha utpräglad stöt-karaktär med höga toppvärden. Med en exponeringstid om 4 timmar per dag under 6.5 år för en frekvensvägd vibrationsnivå på 10 m/s^2 var den observerade prevalensen för vita fingrar 83% och latensen så kort som 4 år. Detta skall jämföras med resultaten för personer som vid stål-godspustning använt handhållna maskiner med fenolhartsbundna slipkorn i skivan. Vid en genomsnittlig exponering för 8 m/s^2 under 1.5 timmar per dag var VF prevalensen endast 2%, och latenstiden 7 år. Denna avsevärda skillnad jämfört med stativslipningsresultaten kan sammanhänga t.ex. med att den handhållna maskinens slipskiva inte alstrar vibrationer med så höga toppvärden, och att överföringsvägen för vibrationerna från källan till händerna är längre och mer komplex. Detta är oklart. Det förefaller som om överföringsvägarna bör ha varit lika, och dessutom finns det en möjlighet att skillnader i handkraft påverkat vibrationsöverföringen.

När det gäller de rapporterade accelerationsnivåerna för de två maskinerna är mätvärdena möjligen dåligt representativa. Erfarenhetsmässigt kan stativslipmaskiner under arbete med vissa arbetsstycken ge avsevärt högre intensiteter än den här angivna (10 m/s^2), och på handhållna maskiner (som här angavs ha vibrationsintensiteten 8 m/s^2) kan accelerationsnivån variera starkt, beroende inte bara på slipskivans kvalitet, balans och montering utan också på t.ex. arbetets art och arbetsstyckets utformning och övriga egenskaper.

Även om vissa data alltså uppvisar brister, är resultaten i fråga om den höga VF-prevalensen och den korta latensen för stativsliparbetare så klara, att vissa slutsatser bör kunna dras. Det förefaller rimligt att, som författarna gör, antaga att värdena kan ha sin förklaring i den kraftiga vibrationsexponeringen vid frekvenser över 30 Hz, innehållet av höga accelerationsvärden och en ökad vibrationsöverföring till handen vid hårt grepp om godset.

I finska undersökningar har en speciell risk för vibrationsskador tillskrivits vibrationer av stötcharakter, dvs. med stor skillnad mellan topp- och effektivvärden (196, 199). Dessa frågor behandlas utförligare i det tekniska dokument som publiceras parallellt med detta dokument (41). Undersökningsgrupperna bestod av c:a 150 skogsarbetare som använde motorsåg, 16 stenarbetare och 12 stativslipare i ett gjuteri där de arbetade med små godsstycken. VF-prevalensen i dessa grupper jämfördes med den som "förutsagts" med ER 5349, och en underskattning av skadeförekomst iaktogs hos stativsliparna, medan prevalensen bland motorsågarna visade överensstämmelse. Stenarbetarna, som använde pneumatiska hammare och arbetade med vänster hand i kontakt med mejseln, exponerades för starka stötvibrationer, som var c:a sju gånger kraftigare än vibrationerna i maskinhandtaget, hållet med höger hand.

Däremot observerades ingen skillnad mellan händerna i fråga om symptomförekomst. Detta ansågs antyda dels att en icke-lineär vibrationsöverföring från maskinen till handleden äger rum vid exponering för stötvibrationer, dels att denna typ av vibrationer gör den mekaniska kopplingen, kopplingsfaktorn, mellan maskin och hand särskilt betydelsefull. Med ledning av den kumulativa frekvensen av stötvibrationer konstruerades ett impulsindex för numeriska jämförelser mellan olika vibrationer. Detta index visar att stötvibrationernas storlek varierar vid arbete med olika typer av maskiner. För att man skall kunna bedöma dess användbarhet måste man med hjälp av index för olika typer av maskiner och arbeten först kunna identifiera större grupper, där exponering för stötvibrationer sker, och medicinska undersökningar sedan utföras i dessa grupper med epidemiologiskt valid metodik. Sammanfattningsvis pekar resultaten av dessa studier på att speciella skaderisker kan vara förenade med exponering för stötvibrationer. De framlagda data kan emellertid inte användas som underlag för kvantitativa rekommendationer om exponeringsbegränsning.

Nitare vid SAAB i Linköping har studerats med avseende på förekomsten av VF i relation till exponeringskaraktäristika (49). Vibrationerna i handhållna nit-hammare och mothåll registrerades från 6 Hz till 10 MHz med hjälp av tre olika mätsystem: upp till c:a 1 kHz en lägesgivare, mellan 1 och 50 kHz en piezoelektrisk accelerometer och i megahertzområdet en ultraljudsprob. Tersbandsanalys utfördes för alla frekvenser, och mätvärdena vägdes enligt SS-ISO 5349 för det där definierade frekvensområdet (6-1200 Hz). Accelerationen för nithammarna var 10 m/s^2 och för mothållen 11 m/s^2 . Mothållen hade en grundfrekvens på c:a 4 kHz och en mycket hög accelerationsnivå också vid c:a 10 MHz. Borrmaskiner och nitmejslar med accelerationer på 2 respektive 5 m/s^2 användes också dagligen av de undersökta personerna.

En närmare analys av exponeringsförhållandena visade att den huvudsakliga exponeringen kom från nithammare och mothåll (58). Detta berodde på att den dagliga effektiva exponeringstiden för nithammare var mycket kort, högst 15 minuter med genomsnittet en minut (49), vilket gav ett mycket lågt 4-timmars ekvivalentvärde. Exponeringens varaktighet hos 340 undersökta arbetare var 1 - 44 år. Åttiosex personer (30%) hade vita fingrar med en genomsnittlig latens på 11 år (variation: 0 - 27 år). Bland arbetare med en arbetstid över 10 år var prevalensen 50%. Det ansågs att den höga prevalensen (som befanns kraftigt överstiga den som kunde "förutsägas" med ER 5349) sammanhänge med speciella risker i detta arbete, som karakteriserades av stötvågor med brett frekvensinnehåll. För vibra-

tioner av denna typ ansågs för övrigt tersbandsanalys underskatta de frekvensvägda mätvärdena, eftersom vibrationerna inte uppvisar steady-state och har mycket hög stötfaktor. Den här refererade undersökningen ger anledning till uppmärksamhet på den särskilda risk för vita fingrar som kan vara förknippad med nitningsarbete pga. högfrekvent energiinnehåll och stöt vibrationer. I vad mån vibrationer från andra maskiner kan ha bidragit till skadornas uppkomst kan dock inte bedömas.

Plåtslagare (112 personer) som arbetade med svetsning och slipning i järn och rostfritt stål i en fabrik, där maskiner för pappers- och massaindustrin tillverkas, har undersökts i en svensk studie (158). För arbetare med pågående exponering var den totala exponeringstidens medelvärde 12 år (SD 8 år). Skattningen av nutida exponering som 4-timmarsekvivalent accelerationsnivå gjordes på grundval av mätningar enligt SS-ISO 5349 på typiska maskiner och tidigare exponering med frågeformulär. Exponeringstiden per dag registrerades med hjälp av tidsstudier. Den genomsnittliga vibrationsintensiteten för slipmaskiner var 5.5 m/s^2 (observerad exponeringstid per dag 83 min) och för mejselhammare 10.3 (22 min). Den totala 4-timmarsekvivalenta accelerationsnivån var 4.7 m/s^2 . Alla deltagare genomgick medicinsk undersökning enligt standardiserad metod. Symptomgradering gjordes med hjälp av information från frågeformulär. Den observerade punktprevalensen för VF var 40% för personer med tidigare eller pågående exponering (vilket är i nivå med den som kunde "förutsägas" enligt ER 5349). Odds-kvoten, med oexponerade kontorsarbetare som referensgrupp, var 56 (95% konfidensintervall: 12 - 269). För 10% VF-prevalens var den observerade latensen 4 år, vilket var kortare än enligt ER 5349.

Det förhållandet att den observerade prevalensen hos långtidsexponerade var lägre än den "förväntade" ansågs kunna förklaras som en selektionseffekt och ett resultat av preventiva åtgärder snarare än som en överskattning enligt ER 5349. Också det sistnämnda förefaller emellertid kunna vara sannolikt, eftersom konstruktionen av ER 5349 på grundval av latenser leder till en automatisk överskattning av skaderisken i sådana yrkesgrupper där en healthy worker-effekt utesluts. Det är inte troligt att en sådan effekt spelat någon nämnvärd roll, eftersom omsättningen av arbetare varit så låg som 3-4% (159). Att preventiva åtgärder inte haft någon effekt på vibrationsexponeringen antyds också av uppföljningsresultaten.

Tominaga (216) undersökte sambandet mellan exponering och förekomst av vita fingrar i flera yrkesgrupper exponerade för vibrationer med sinsemellan liknande frekvensspektra. Det för det aktuella dokumentet intressanta i denna studie är observationen att personer som arbetat med pneumatiska maskiner för sandpackning hade en förhållandevis låg prevalens, trots att i denna yrkesgrupp exponering enligt ISO 5349 var förknippad med en lika hög förväntad skadeförekomst som arbete med slående maskiner. I undersökningen har man vinnlagt sig om att skatta effektiv exponeringstid, men rapporten ger inte tillräcklig information om studerade grupperns urval och sammansättning. Författaren påpekar, att det saknas tillräcklig kunskap om inverkan på skaderisk av faktorer som vågform, vibrationspektrum samt kontinuerlig respektive intermitterande exponering liksom att ER 5349 kanske inte har kunnat beakta sådana faktorer på rätt sätt.

I en japansk undersökning (145) av VF-prevalensens förhållande till exponeringsnivåer var den genomsnittliga 4-timmarsekvivalenta accelerationsnivån (m/s^2) och de exponerade arbetarnas VF-prevalens följande:

	m/s ²	%
– Tandtekniker (huvudsakligen elektriskt drivna slip- och polermaskiner)	2	5
– Flygindustriarbetare (i stort sett alla typer av vibrerande maskiner)	2.5	2
– Grävarbetare (diverse slående maskiner)	2	2.5
– Symaskinarbetare	1.5	2
– Skogsarbetare (motorsågar)	3 – 5	10

Av detta drogs slutsatsen att en daglig fyratimmarsexponering av motorsågarbetare för vibrationer med en genomsnittlig accelerationsnivå mindre än 2.5 m/s² möjligen skulle kunna minska förekomsten av VF från observerade 10% till nivån för övriga grupper (2-5%). Detta överensstämmer i stort med en som det förefaller utbredd, men epidemiologiskt obekräftad, uppfattning (som har kommit till uttryckt i bl.a. EU:s maskindirektiv), att en låg VF-prevalens skulle sammanhänga med exponeringsnivåer kring 2.5 m/s². Kvantitativt är dock konklusionen baserad på osäkra grunder. Det sammanhänger med de metoder för exponeringsskattning som användes i undersökningen. Vibrationsexponeringen i de nämnda yrkesgrupperna (med undantag av motorsågarbetare, för vilka tidigare publicerade mätdata användes) mättes som frekvensvägd fyra-timmarsekvivalent acceleration med en dosimeter av japansk tillverkning, monterad på handryggen med en typ av elastisk binda. Med en sådan metod kan inte skillnader i vibrationstransmissionen till handen kontrolleras, och den faktiska exponeringen varierar därmed mellan vida gränser. Skillnaden mellan de värden som erhöles på detta sätt och vibrationsnivåer mätta på en vibrationssimulator med 3, 6, 10 och 32 m/s² var också betydande, upp till 2 dB, för frekvenser upp till 250 Hz. Den dagliga exponeringstiden i flygindustrin var svåruppskattad, med en variation mellan 0.5 och 5 timmar.

Förekomsten av vita fingrar bland de vibrationsexponerade 24 procenten av de totalt 340 stenarbetarna i 10 toskanska marmorbrott har studerats av Bovenzi och medarbetare (21). Bland 76 personer, som arbetade med bergborrar och mejselhammare, hade 27 vita fingrar. Medianvärdet för latensen var 10 år. I en kontrollgrupp med i stort sett samma medelvärde för ålder, bestående av 60 marmorbrottarbetare som inte använde vibrerande maskiner, var VF-prevalensen 8%. Accelerationsvärdena mätta enligt ISO 5349 var 20-36 m/s² för två av bergborrarna och två lätta mejselhammare, medan den frekvensvägda accelerationen på handtaget till en vertikalslipmaskin och en liten mejselhammare var 2-4 m/s². Med hjälp av information om längden av maskinanvändning per dag kunde man beräkna fyra-timmarsekvivalenta frekvensvägda accelerationsvärden, som angavs vara 23 m/s². Vidare kalkylerades ett slags dosmått, den s.k. vibrationsexponeringsnivån ("vibration exposure level"), med utgångspunkt från den dagliga energiäkvivalenta accelerationen och den totala exponeringstiden. (Som referensvärde användes ett "standardår" med 180 arbetsdagar.) Det rapporterades föreligga en statistiskt signifikant korrelation mellan symptomets svårighetsgrad, klassificerad enligt Taylor-Pelmeur-skalan (211), och detta dosvärde.

Den genomsnittliga totala arbetstiden under yrkeskarriären i gruppen utan vita fingrar (n = 27, åldersmedelvärde 49 år), var 13100 timmar och i gruppen med VF

(n = 49, åldersmedelvärde 47 år) 18600 timmar. Denna skillnad var statistiskt signifikant på 5%-nivå. Detta gällde också skillnaden ifråga om genomsnittlig exponering mätt som frekvensvägd accelerationsnivå, 89 m/s² respektive 60 m/s². Det 4-timmarsekvivalenta accelerationsvärdet var däremot ungefär detsamma i båda grupperna. VF-prevalensen ökade nästan lineärt med totalantalet arbetstimmar, från c:a 18% för personer med högst 6000 arbetstimmar, medan prevalensen var drygt 50% för gruppen med mer än 26000 timmar. Den refererade studien ger anledning till slutsatserna att det i denna yrkesgrupp fanns en korrelation mellan VF-prevalens och ett dosmått, konstruerat med hjälp av det 4-timmarsekvivalenta accelerationsvärdet samt ackumulerad exponeringstid under yrkeskarriären, liksom mellan denna "dos" och symptomens svårighetsgrad.

Användbarheten av resultaten för kvantitativa rekommendationer om exponeringsbegränsning minskas emellertid av vissa epidemiologiskt-statistiska osäkerhetskällor. Skillnaden i acceleration mellan olika maskintyper var avsevärd, och inga uppgifter presenterades om den procentuella användningen av den ena eller andra typen. Inte heller diskuterades i vad mån variationer i daglig maskin användning för varje individ under gångna tidsperioder kan ha haft att göra med förekomsten eller frånvaron av VF. Det saknades också information om omsättningen av arbetare, vilket gör att jämförelser mellan total exponeringstid och nuvarande prevalens har svårbedömbart validitet. Ingen analys gjordes av eventuell samvariation mellan ålder och total exponeringstid, variabler som varierade kraftigt. Standarddeviationen för ålder var c:a 9 år i båda grupperna och för exponeringstid 10 respektive 9 år. (Även latensen varierade starkt, med SD = 8 år och en total variationsbredd från 1 månad till 26 år.) De osäkerheter som nämnts här illustrerar på ett utmärkt sätt svårigheterna förknippade med även i de flesta avseenden väl designade och väl genomförda tvärsnittsundersökningar på gruppbasis.

En studie (155) av sambandet mellan den observerade förekomsten av vita fingrar och exponeringsdosen, skattad som produkten av exponeringstid och olika vägda vibrationsintensiteter, med beaktande av skaderiskens tidsberoende, kommenteras i samband med diskussionen av olika riskbedömningsmodeller (se avsnitt 7).

Williams och Riegert (224) rapporterade från en mycket omsorgsfull undersökning av gruvarbetare i norra Kanada ett område med årsmedeltemperatur på c:a -5°C, som bröt uranmalm i mycket fuktig och mycket kylig arbetsmiljö (temperatur mellan 1 och 6°C). Noggranna mätningar av vibrationerna från två typer av bormaskiner (båda med stativ, "knämatare") gjordes, och mätvärden rapporterades med angivande av karakteristisk frekvens, förflyttning, hastighet och acceleration. Dessa var för typ 1: 30-33 Hz, förflyttning 0.26 mm, hastighet 12.4 cm/s, acceleration 1.1 m/s², samt för typ 2: 39-41 Hz, förflyttning 0.38 mm, hastighet 10.5 cm/s, acceleration 2.9 m/s². Omsättningen av gruvarbetare var stor, och i medeltal stannade en arbetare i jobbet endast 9-12 månader. Undersökningen omfattade 4 personer i åldern 28-40 år, med pågående Raynaud-fenomen av sekundär typ, som hade använt bormaskiner i 5-10 år, samt 7 personer med tidigare VF. För dessa 11 personer var latensen 2-7 år. Den genomsnittliga exponeringstiden per dag var 3 timmar.

Av beskrivningen kan inte säkert bedömas i vilket symptomstadium arbetarna befann sig, men det är uppenbart att svårighetsgraden var betydande och kan uppskattas till stadierna 2-3 enligt Stockholm Workshop-skalen. Vibrationsmät-

ningsmetoden är oklart beskriven och värdenas tillförlitlighet så svårbedömbart att det inte är möjligt att skatta något exponering-respons-samband, vilket också försvåras av att en mycket stor healthy worker-effekt kan ha funnits. Författarna rekommenderade preventiva åtgärder i form av höjning av arbetsplatsens temperatur och handskar av lämpligt slag samt vibrationsdämpande material på maskinhandtagen.

En studie har gjorts av 115 gruvarbetare (77% av den totala arbetsstyrkan) i fyra brittiska fältspatgruvor (44), där fuktigheten sades vara 100% och medeltemperaturen 10°C. Fältspaten utvinns ur kalk- och sandsten. Prevalensen av VF befanns vara 50%. Latensen för vita fingrar var 1-19 år (medelvärde 5.6 år). Borring av i genomsnitt 19-25 hål uppgavs äga rum under 12 timmar per dag (2 - 23 timmar per vecka), men i denna tid ingår uppenbarligen också ett icke specificerat antal timmar med borrhåsladdning. Eftersom rutinerna för ett sådant arbetsschema varierar, är den genomsnittliga (effektiva) exponeringstiden alltså inte bestämd i denna studie, vilket ger upphov till osäkerhet beträffande exponering-respons-sambandet. Det kan dock tänkas att t.ex. hälften av dagen ägnats åt borring och resten åt laddning. I så fall skulle den dagliga exponeringstiden vara c:a fyra timmar. Det återstår att veta hur mycket av denna tid som inneburit effektiv vibrationsexponering, och det finns inte heller någon uppgift om i vilken utsträckning borringen skett med stativförsedda borrar. Accelerationsvärden för de två typer av bormaskiner som användes angavs inte men kan, med en viss osäkerhet, beräknas med hjälp av de frekvensspektra för oktavband som publicerades. Mätmetoden angavs följa riktlinjerna i en tidig version av ISO-standard, och det är troligt att frekvensvägning skedde enligt samma kurva som används i SS-ISO 5349 (195). På grund av bristen på säkra uppgifter om daglig exponeringstid är det alltså svårt att bedöma de data som är relevanta för en exponering-respons-relation. Studien kan ändå sägas ha visat, att arbete av denna typ är förknippat med hög VF-förekomst.

VF-förekomst har i en svensk undersökning utförd 1974 korrelerats med energiabsorptionen i handen hos 257 vibrationsexponerade bergborrhare, slipare och personer som arbetade med mejselhammare (123-125). Deltagarnas ålder var 18-65 år, och de hade haft minst 6 månaders fulltidsarbete med den vibrerande maskinen och mer än 3 timmar daglig exponering åtminstone 4 dagar i veckan. Det hade gått högst 3 månader sedan senaste exponering. Energiabsorptionen mättes i tester, utformade som autentiskt arbete, med fyra bergborrhare, 10 slipare och 6 personer som använde mejselhammare. Vid försöken med bergborrh, som vägde 23.5 kg, var medelvärdet av 30 mätningar 2.6 Nm/s. Med vinkelslipmaskin (vikt 2.7 kg) var resultatet av 14 mätningar 0.07 Nm/s. Spektraluppgifter beträffande energiabsorptionen saknas. Det befanns att VF-förekomsten var korrelerad med ålder, daglig exponeringstid i timmar och antalet år i yrket. Därför etablerades grupper med liknande värden för dessa variabler. Vidare analys angavs visa, att det fanns en korrelation mellan VF-prevalensen och energi absorberad per tidsenhet. Prevalensen 72% hos bergborrhare uppgavs svara mot 21 Nm/s, 53% hos mejselarbetare mot 2.7 Nm/s och 21% hos slipare mot 0.07 Nm/s. Slutsatsen drogs emellertid att studiegrupperna var för små för att man skulle kunna avgöra huruvida dessa relationer var allmänt tillämpbara på vibrationsexponerade.

I en serie studier i Storbritannien, som ger en mängd intressanta och värdefulla upplysningar om exponering för vibrationer och som spelat en stor roll i befräm-

jandet av forskning om vibrationsskador, har VF-prevalens och -latens utförligt undersökts i yrkesgrupper exponerade för vibrationer från bl.a. motorsågar och stativslipmaskiner (170, 210, 211). Det är dessa studier som främst legat till grund för den tidigare använda symptomskalan för vibrationsinducerade vita fingrar, Taylor-Pelmeear-skalan (209) (se Tabell 2).

De undersökta grupperna var: 3 olika grupper av motorsågare, 12 slipargrupper, 2 grupper som använde mejselhammare och en grupp med "rördragare". Den sistnämnda yrkesgruppens arbete bestod i att med en vibrerande maskin minska diametern på rör. Röret hölls hårt med ena handen, som därmed utsattes för mycket kraftiga vibrationer. Latenserna i dessa grupper angavs variera mellan 0.6 och 27 år. För handslipare var latensmedelvärdet 15.3 år. Resultaten av vibrationsmätningar på typiska exemplar av de använda maskinerna har rapporterats av Hempstock och O'Connor (92). Exponering för 10-25 m/s² frekvensvägd acceleration från motorsågar som inte var vibrationsdämpade angavs korrelera med en latens på c:a 3 år. Motsvarande siffror för stativslipare med zirkoniumskivor angavs till 50 m/s² respektive 1.8 år, och för stativslipare med mjuka skivor 10-20 m/s² respektive 14 år. En exponering för 70 m/s² vid rördragning uppgavs ge latensen 0.6 år, och i några fall så kort tid som 6 veckor.

Mätvärdenas tillförlitlighet uppgavs vara osäker. Anledningarna till detta har behandlats av Hempstock and O'Connor (91, 92) liksom i Brammers beskrivning (24, 25) av grunderna för ER 5349.

En longitudinell studie av 46 huggare, som arbetade med motorsåg 4.5 - 5.5 timmar per dag under 5 dagar per vecka, har rapporterats av Taylor och medarbetare (208). De kom från samma skogsarbetarepopulation som undersökts i studierna beskrivna i föregående avsnitt. Deltagarna undersöktes vid sex tillfällen över en femårsperiod (1969-1974), och VF-prevalensen minskade från 85 till 73% under denna tid. Minskningen tillskrevs användningen av vibrationsdämpade motorsågar, som introducerades 1972. Inga exponeringsdata rapporterades, men undersökningen sägs ha använts vid konstruktionen av ER 5349. Det är möjligt att accelerationsvärden angivna av Hempstock och O'Connor (92) - kommenterade ovan - har utnyttjats till detta.

En del slutsatser av praktisk natur drogs av författarna till studierna i den engelska undersökningsserie som refererats här, nämligen att (a) latensen för vita fingrar minskade med ökande vibrationsexponering, men att fortsatt forskning krävdes för att säkerställa sambandet kvantitativt; (b) risken för vita fingrar i arbete med rördragning var mycket stor, samt att skivans beläggning och excentricitet i slipmaskiner spelade en stor roll för uppkomsten av vita fingrar; (c) vibrationsdämpning av motorsågar redan efter en kort tid ledde till en viss reduktion av VF-förekomsten genom regress av tidigare fall och i stor utsträckning förhindrade uppkomsten av nya fall. En begränsning av kraftig vibrationsexponering till högst 5-6 t per dag under en femdagarsvecka rekommenderades, och personer med VF i Taylor-Pelmeear-stadierna 2 och 3 råddes undvika ytterligare exponering.

5.1.2. Nyare studier av exponering-respons-samband för vita fingrar

Förekomsten av vita fingrar hos skogsarbetare med och utan användning av vibrationsdämpade motorsågar har studerats av Bovenzi och medarbetare (19). 164 personer (grupp A) hade enbart använt dämpade sågar (AV-sågar), 58 (grupp B)

hade arbetat med dämpade och icke-dämpade sågar, och 195 kontrollpersoner (grupp K) – elektriker, mekaniker, underhållsarbetare som huvudsakligen var verksamma utomhus vid skeppsvarv – hade aldrig haft någon vibrationsexponering. Samtliga blev intervjuade med avseende på hälsa och arbetsplatsrelaterade frågor. Diagnosen VF ställdes (efter uteslutning av primär Raynaud) på grundval av dels egna uppgifter om vita fingrar under de två åren före undersökningen, dels resultatet av en köldprovokationstest med registrering av systoliskt fingerblodtryck (COP-test). Vibrationer mättes på ett representativt urval av motorsågar med och utan vibrationsdämpning. Den dagliga dosen uppskattades som 8-timmars energiekvivalent frekvensvägd acceleration, A(8), enligt den brittiska standarden BS 6842 (33):

$$A(8) = \left(\frac{1}{T_8} \int_0^T (a_{h,w}(t))^2 dt \right)^{0.5} \quad (\text{ms}^{-2})$$

där T_8 är åtta timmars varaktighet, T en arbetsdags längd i timmar och $a_{h,w}(t)$ värdet i varje ögonblick av den frekvensvägda accelerationen i m/s^2 . En livsdos beräknades enligt formeln

$$\text{Lifetime dose} = \left(\sum (a_{h,w}^2 \cdot t_h)^{0.5} \cdot t_d \cdot t_y \right)^2 \quad (\text{m}^2\text{s}^{-4}\text{hd})$$

där $a_{h,w}$ är sågarnas frekvensvägda acceleration i m/s^2 , t_h är den individuellt uppskattade dagliga exponeringstiden (timmar per dag), t_d antalet arbetsdagar per år och t_y antalet år i arbete med motorsågar.

Vibrationerna mättes på främre och bakre handtagen av 27 AV-sågar, vilket var mer än 90% av alla modeller som användes av de undersökta skogsarbetarna. Accelerationsgenomsnittet för främre och bakre handtagen på AV-sågar var 3.7 respektive 6.4 m/s^2 . För icke dämpade sågar var motsvarande värden 10.5 och 15.2 m/s^2 (frekvensvägd acceleration i den dominanta vibrationsriktningen).

Den totala VF-prevalensen hos skogsarbetarna var 23.4%. Diagnosen vibrationsinducerade vita fingrar ställdes för 13 % av personerna i grupp A och 51.7% i grupp B, medan prevalensen hos kontrollerna var 2.6%. Både den observerade prevalensen och benägenheten att vid fingerblodtrycksmätning reagera starkare på köldprovokation ökade med vibrationsdosen. Prevalensen ökade nästan lineärt med A(8) vid oförändrad exponeringsvaraktighet per dag och med antalet exponeringsår vid oförändrad ekvivalent acceleration. Prevalenserna var lägre än de värden som beräknats med hjälp av ER 5349.

En viss osäkerhet är förenad med resultaten. Vid uppskattningen av den dagliga respektive den totala exponeringstiden utnyttjades olika typer av information (frågeformulär som validerades genom intervjuer med anställda och arbetsgivare, anställningslistor och den förbrukade mängden drivmedel) men det förefaller som om man inte tagit hänsyn till den dagliga effektiva exponeringstiden, dvs. den tid under vilken händerna verkligen utsätts för vibrationer. Kortare eller längre pauser kan vara av betydelse för återhämtningen från skadlig inverkan. En användning i preventivt arbete av den nämnda relationen mellan exponering och VF-prevalens kan därför leda till en underskattning av den verkliga risken. Slutsatsen att dämp-

ning av såg vibrationerna leder till en minskad VF-prevalens är emellertid väl underbyggd.

En annan slutsats som drogs av undersökningsresultaten var, att den observerade prevalensen av vita fingrar tenderade att vara ett stöd för rimligheten av de värden för exponeringsgränser, som föreslagits i EU-direktivet för fysikaliska arbetsmiljöfaktorer (46).

Bovenzi och medarbetare har också gjort en studie av 570 stenbrottsarbetare och andra stenhuggare (145 bergborrhare och 425 stenhuggare) från 42 italienska stenbrott och 99 stembearbetningsfabriker (17). En grupp på 188 stembearbetare (grupp A) bestod av vinkelsliparbetare, en annan (B) av 237 personer, som använt både denna maskin och mejselhammare. En kontrollgrupp bestod av 258 stenindustriarbetare utan vibrationsexponering (arbetare som polerade för hand och maskinskötare). Alla personerna intervjuades av speciellt tränade företagsläkare med symptomklassifikation enligt Stockholms-skalorna för vaskulära och neurologiska störningar. Maskinanvändningen var densamma på samtliga undersökningsställen. Vibrationer mättes på handtagen till ett antal representativa maskiner – bergborrhare, mejselhammare och vinkelslipar - och en kumulerad exponering, uttryckt som A(8), på samma sätt som i den ovan beskrivna undersökningen av skogsarbetare. Endast 22 personer hade haft en kort exponeringstid (0.5-2 år). Medelvärdet av daglig exponeringstid var 4.5 timmar, accelerationen 8.4 m/s^2 och det totala antalet exponeringsår 17.4. Logistisk regressionsanalys (10, 23) utfördes för att beräkna oddskvoter för förekomst av olika åkommor.

Vid jämförelse med kontrollerna var oddskvoten 9.33 (CI 95 %, 4.91-17.8) för VF-prevalens. Prevalensen var större för stenbrottsarbetare och grupp B bland stembearbetarna än för personer som använt enbart vinkelslipar. Med den sistnämnda gruppen som jämförelse var oddskvoten för vita fingrar hos stenbrottsarbetarna 4.40 (2.50-7.74) och hos grupp B 3.75 (2.22-6.33). Det var statistiskt signifikant fler personer i den vaskulära Stockholm-skalans stadier 2-3 bland stenbrottsarbetarna och grupp B än hos grupp A ($p < 0.001$). De flesta arbetarna (70 %) i samtliga grupper hade attacker av fingeravblekning i båda händerna, och hos c:a 20 % var fingrarna 2-4 mest involverade. Ingen signifikant relation mellan sensoriska och vaskulära störningar kunde konstateras.

Förväntade latenser beräknades på grundval av ER 5349, och överensstämmelsen var dålig: i detta arbete observerades latenserna 16.5 för stenbrottsarbetarna, 12.7 för stembearbetarna i grupp A och 16.1 för grupp B, medan motsvarande värden enligt ER 5349 var 3.44, 11.6 respektive 3.76 år.

Det var bara beträffande vita fingrar som det observerades en korrelation mellan prevalenserna och det kumulerade exponeringsmättet (kategorierna < 19.5 , $19.5-21.4$, $21.5-24$ och > 24). Oddskvoterna och 95 % konfidensintervallen vid jämförelse med den första kategorin var 1.60 (0.78-3.28), 4.23 (2.14-8.37) och 10.2 (4.81-21.6). Den förstnämnda gruppen bestod huvudsakligen av stembearbetare som endast använde roterande slipmaskin med låg acceleration. De inkrementella oddskvoterna (beräknade på skillnaderna mellan successiva kategorier) var 1.93 (1.07-3.45), 2.10 (1.42-5.10) respektive 2.83 (1.85-4.34). En logistisk regressionsmodell baserad på A(8) och exponeringens varaktighet hade ett högt anpassningsindex (Hosmer-Lemeshov): chi-kvadrat-värde, 2.30 och $p = 0.971$. Oddskvoten för vita fingrar befanns öka med 1.10 (95% CI, 1.06-1.15) för varje enhet av daglig exponering i m/s^2 och med 1.07 för varje enhet av exponeringsvaraktig-

het i år. Relationen mellan prevalensen (y) och det kumulerade exponeringsmättet (x) bestämdes till $y = 6.327 x^{0.2498}$.

Den genomsnittliga VF-prevalensen var 40%, vilket ansågs vara i överensstämmelse med siffror som rapporterats av flera andra forskare, och skillnader hänfördes till olikheter i undersökningarnas uppläggning och att det i många andra studier hade varit betydligt färre personer än i den här beskrivna. En annan fördel med denna sades vara att omsättningen av arbetare hade varit mycket låg under de senaste 15 åren, och de här studerade yrkeskategoriernas sammansättning hade inte varierat nämnvärt. Det hävdades att de använda exponeringsmåten var representativa för förfluten exponering, allra helst som exponeringen hade bedömts med ledning av information från intervjuer med både anställda och arbetsgivare liksom vissa data från anställningsregister. Det föreföll inte heller finnas någon betydande bias i selektionen av undersökta personer, eftersom alla aktiva arbetare deltog. Dessutom bedömdes healthy worker-effekten ha varit åtminstone delvis eliminerad genom användningen av en intern kontrollgrupp med liknande socioekonomiska karakteristika. Kategoriseringen av VF-symptomens svårighetsgrad med hjälp av Stockholms-skalan är visserligen behäftad med osäkerheter pga. att den bygger på upplysningar från arbetarna själva, men eftersom intervjuerna gjordes av tränade läkare och undersökningen omfattade ett stort antal personer kunde kategoriseringen vara adekvat.

Resultaten ansågs tyda på ett enkelt kvantitativt exponerings-respons-samband i denna yrkesgrupp sådant att en dubbling av vibrationsnivån ger samma effekt på VF-prevalensen som en fördubbling av antalet exponeringsår (dvs. vibrationsnivån och antalet exponeringsår bidrar lika mycket till VF-prevalensen). Sambandet innebär en predicerad exponeringstid på c:a 5 år för en prevalens på 10 %. Detta ligger nära det samband som finns angivet i den brittiska standarden BS 6842 (33). I konklusionen sades också att resultaten verkar indikera, att accelerationsnivån 2.5 m/s^2 är en rimlig exponeringsgräns för skydd mot vibrationsskador.

En uppföljningsstudie under tiden 1985-1991 har gjorts av VF-prevalens hos 62 marmorbrottarbetare i Italien (20), som arbetat med bergborrar och mejselhammare med en frekvensvägd accelerationsnivå på över 20 m/s^2 . Två grupper studerades: 21 fortfarande aktiva arbetare, som med en total median-exponeringstid hade använt vibrerande maskiner även under uppföljningen (grupp 1) och 41 pensionerade med total median-exponeringstid på 20 – 27.5 år utan exponering under de senaste tre - sex åren (grupp 2). I grupp 1 inträffade åtta nya fall av vita fingrar. I grupp 2 hade 24 personer vita fingrar. En hade blivit symptomfri, medan 20 var oförändrade och två hade blivit förvärrade. Gruppvärdet för återuppvärmningstiden efter köldprovokation var vid uppföljningstillfället signifikant längre än 1985, och en onormal reaktion på köldprovokation observerades i grupp 2, även hos de personer som hade förbättrats subjektivt. Det sistnämnda fyndet ansågs tyda på en låg reversibilitet för detta symptom, men eftersom resultaten gäller enbart grupper och det dessutom saknades uppgifter om fritidsexponering för vibrationer eller andra cirkulationsrelaterade faktorer är betydelsen av dessa iakttagelser osäker.

Vibrationer överförda från rattar och styren i terrängfordon och snöskotrar har undersökts av Anttonen och medarbetare (7). De uppmätta accelerationerna var $5.5 - 11.8 \text{ m/s}^2$ på terrängbilar, $6.9 - 12.7 \text{ m/s}^2$ på motorcyklar och 3.5 m/s^2 på

snöskotrar. Den observerade VF-prevalensen hos de 28 snöskoterförarna engagerade i renskötsel rapporterades visa god överensstämmelse med siffror framräknade med hjälp av ER 5349, men något avseende kan knappast fästas vid denna uppgift, av följande skäl. Den årliga exponeringstiden och totala antalet år i arbete hade nämligen bedömts på grundval av förarnas egna uppgifter om användningstid. Prevalensen uppskattades från enkäter utan uppföljande kontroll i intervjuer med medicinsk personal. Förfrågan hade gått ut till 3720 personer, av vilka endast 2705 svarade (73 %), och det fanns inga uppgifter om eventuell VF-prevalens hos de icke-svarande. Den angivna exponeringstiden visade kraftig snedfördelning (medelvärde 2840 timmar, SD 4670 timmar). Inget försök gjordes att uppskatta inverkan av kyla vare sig på utvecklingen av vita fingrar eller frekvensen för symptomuppträdande, och ingenting nämndes om de undersökta personernas hälsotillstånd i övrigt. De kritiska punkter på fordonen, där vibrationer ansågs böra dämpas, var motorfästen liksom ratten, där resonans uppkom.

5.2. Nervfunktionsstörningar

Det saknas i stort sett rapporter med data på vilka man skulle kunna basera kvantitativa rekommendationer om exponeringsbegränsning i avsikt att förhindra uppkomsten av nervfunktionsstörningar. Resultaten av en epidemiologisk undersökning publicerad 1991 antyder dock, att ett exponering-respons-samband kan föreligga (133). Prevalensen av sensoriska störningar bland 119 vibrationsexponerade plåtslagare och montörer rapporterades nämligen öka med vibrationsdosen (ackumulerad exponering i dosklasser) från c:a 25% i den lägsta till 60% i den högsta dosklassen. Det fanns emellertid individer utan symptom på sensoriska störningar trots hög vibrationsbelastning, och några lågexponerade hade kraftiga besvär. Detta gör att dessa data knappast kan läggas till grund för kvantitativa rekommendationer om exponeringsbegränsning.

Dagens tandläkarborrar, som också används av t.ex. tandtekniker, ger ultrahöga frekvenser (upp till 40 kHz), och vibrationer med höga accelerationstoppar förekommer i de högre frekvensområdena. I en grupp av tandläkare har nervfunktionsnedsättning observerats i handen (93, 94) med tecken på skada på såväl myeliniserade som omyeliniserade nervfibrer. Den enligt SS-ISO 5349 frekvensvägda accelerationsnivån var 2-4 m/s². Över 1200 Hz uppmättes avsevärt högre värden (3-500 m/s²). I en annan studie, av tandläkare långvarigt exponerade för vibrationer från högfrekvensborrar (135, 136), konstaterades en höjning av den permanenta perceptionströskeln för vibrationer i frekvensområdet 40-400 Hz. Höjningen var större i den dominanta, vibrationsexponerade handen än i den icke-dominanta. Ingen sådan skillnad observerades hos de icke-vibrationsexponerade kontrollerna.

Liknande iakttagelser har också gjorts i en grupp sjukgymnaster, som exponerats för mycket högfrekventa vibrationer från apparatur för terapeutisk ultraljudsbehandling (132). I ovan nämnda undersökningar antyds dock att andra arbetsmiljörelaterade faktorer än vibrationer också kan föranleda en försämring av känseln. Tandläkarna utför ibland med sin arbetshand kraftigt statiskt arbete, exempelvis vid användning av olika typer av handinstrument. Känselorganen, och då speciellt Pacini-kropparna, är känsliga för mekanisk påfrestning.

Att andra etiologiska faktorer än vibrationer kan ha betydelse belyses av en undersökning av tandläkare (57) med exponering för högfrekventa vibrationer. Långtidsexponerade tandläkare hade neurologiska symptom i den dominant (vibrationsexponerade) handen oftare än de korttidsexponerade tandläkarna liksom större vibrationströskelskillnad mellan dominant och icke-dominant hand. Denna skillnad observerades dock för såväl oexponerade som exponerade fingrar. Därav drogs slutsatsen att orsakerna till de neurologiska besvären var att söka i andra ergonomiska faktorer än vibrationer. Bland dessa nämndes dels repetitiva handrörelser och grepp med armbågen böjd, dels böjning och rotation i ryggraden.

En svaghet med de flesta av hittills publicerade undersökningar rörande neurologiska störningar är att de ofta inte redovisar hur uppmärksam man varit på andra medicinska tillstånd, som kan ha samband med den aktuella kliniska bilden. Bland dessa kan nämnas främst diabetes och alkoholneuropati liksom skador eller tryck på nerver i nack/skuldra-regionen och i armarna.

Lundström och medarbetare har undersökt vibrationströskeln hos 125 vibrationsexponerade verkstadsarbetare i tung mekanisk industri – samtliga som var tillgängliga för undersökning – och 45 icke-exponerade kontorister (138). Registrering av vibrationsperceptionströskeln (VPT) utfördes vid sju olika frekvenser från 8 Hz till 500 Hz. En genomsnittlig exponeringsbedömning för höger och vänster hand var för sig gjordes på grundval av vibrationsmätningar enligt SS-ISO 5349 på ett representativt urval av de maskiner som användes mest. Exponeringsnivån uttrycktes som frekvensvägt värde av accelerationen i den dominerande vibrationsriktningen. Den dagliga exponeringen bestämdes med tidsstudier. Den kumulerade exponeringen för varje individ (CVE) uttrycktes som produkten av 4-timmars-ekvivalent frekvensvägd acceleration, daglig exponeringstid över 200 arbetsdagar per år och antalet yrkesår med exponering. Mätresultaten har beskrivits mer detaljerat i andra rapporter (39, 40).

Betydliga skillnader i vibrationskänslighet observerades mellan individerna i samtliga exponeringsgrupper. Vid en individuell bedömning observerades ingen klar kvantitativ relation mellan exponering och vibrationskänslighet. Vid en jämförelse med oexponerade personer fann man emellertid en tendens till förhöjd tröskel för vibrationskänslighet bland de exponerade. Dessa indelades i två grupper: grupp 1 med högst 24 000 enheters (meter-timmar per sekundkvadrat, mh/s^2) kumulerad exponering och medelvärdet 10 200 mh/s^2 , grupp 2 med > 24 000 enheter och medelvärdet 38 200 mh/s^2). Skillnaden mellan oexponerade och grupp 2 var tydlig, speciellt för de vibrationsfrekvenser som medieras av Pacini-kroppar (63-500 Hz). Den relativa risken för den sistnämnda jämförelsen i ett poolat material av båda händerna beräknades till 4.0 (CI 95: 1.88-8.75). Slutsatsen drogs att vibrationskänsligheten var relaterad till graden av vibrationsexponering men att resultaten inte gjorde det möjligt att bestämma ett kvantitativt exponeringsrespons-förhållande.

I den tidigare nämnda uppföljningsstudien av stenbrottsarbetare (17) observerades föga förbättring av neurologiska symptom trots en exponeringsfritt intervall på 3-6 år. Oddskvoten var 3.49 (CI 95 %, 2.36-5.15) för sensoriska störningar (jämförelse med kontrollgruppen) i den stora italienska undersökningen av stenarbetare.

5.3. Diskussion och slutsatser beträffande exponerings-respons-samband

Det finns en stor variation i rapporterad skadeförekomst även inom yrkesgrupper som använder samma maskintyper. Detta beror sannolikt på skillnader beträffande yrkesgruppernas effektiva exponering för olika typer av vibrationer. En annan trolig orsak är, att exponeringsändringar över tid inte fångats upp i den sammanfattande retrospektiva skattningen. Betydande variationer beroende på skillnader i arbetsmetoder och -teknik, arbetsuppgifternas art och arbetsorganisation föreligger också mellan grupper där samma maskintyper använts. Det är därför ogörligt att med ledning av dessa och andra data identifiera en viss exponeringsnivå som speciellt riskabel i fråga om olika typer av skador.

Konsekvenserna av detta blir att riskbedömningsmodeller måste relateras inte bara till exponeringstid och accelerationsnivå utan också till karaktären hos vibrationerna och till arbets sätt. Detta gäller i hög grad vibrationer från slående maskiner, med speciella egenskaper ifråga om att framkalla skador, och denna typ av vibrationer bör begränsas så långt det går. När det gäller vibrationer med höga frekvenser är det på grund av motstridigheter i fråga om tolkningen av hittills utförda studier inte möjligt att ge kvantitativa rekommendationer om exponeringsbegränsning. Det finns anledning att när det gäller skadeprevention uppmärksamma också ergonomiska faktorer.

Dessa slutsatser överensstämmer med resultat från en litteraturgenomgång (128) gjord av Louda, som anser att separata frekvensvägningskurvor måste etableras för olika typer av vibrationsexponering. Vidare bör olika vägningskurvor studeras närmare med speciell hänsyn till inverkan av såväl stöt vibrationer som vibrationer med höga frekvenser (över 1000 Hz). Griffin och medarbetare har kommit till liknande slutsatser (se Avsnitt 7.1.1).

6. Normer och föreskrifter

Standarden för mätning av vibrationer i yrkesarbete med vibrerande handhållna maskiner är SS-ISO 5349 (195). Den är innehållsmässigt identisk med den internationella (ISO 5349 av 1986 (101)) och används i de flesta fall som referens i detta dokument.

ISO 5349 är nu under revidering. Resultatet har bland annat inneburit, att den ursprungliga standarden nu föreslås bestå av två separata delar, som för närvarande föreligger som "Draft International Standard" (ISO/DIS). Del 1 (102) ger vägledning för hur mätning och rapportering av hand-arm-vibrationer generellt sett skall utföras. På samma sätt som tidigare ges i en bilaga till del 1 information om möjlig relation mellan vibrationsexponering och hälsoeffekter i form av blodflödesstörningar i handen av typen vita fingrar. Någon sådan information beträffande andra vibrationsrelaterade skadetyper, såsom t.ex. effekter på det perifera nervsystemet, ges alltså inte. I del 2 (103) lämnas praktiska anvisningar som beskriver hur en enskild individs exponering för hand-arm-vibrationer under reella arbetsförhållanden skall mätas och kvantifieras.

I detta dokument angående medicinska aspekter redogörs kortfattat för vissa väsentliga skillnader mellan ISO 5349 och revisionsförslaget. För övrigt hänvisas till standarddokumenten och till det parallellt publicerade tekniska dokumentet (41).

6.1. EU:s Direktiv för Fysikaliska Faktorer

Ett förslag till direktiv angående fysikaliska faktorer diskuteras för närvarande inom EU. Detta förslag beskrivs närmare i den tekniska rapport som publiceras parallellt med detta dokument (41).

6.2. Svensk föreskrift

Den första svenska rekommendationen om vilka frekvenser, som borde beaktas vid vibrationsmätning, baserades huvudsakligen på en uppskattning av relationen mellan den observerade förekomsten av vita fingrar bland skogshuggare (11) och vibrationsexponeringens intensitet. Risken bedömdes inte föreligga under en viss exponeringsgräns men vara betydande över en annan angiven gräns (som främst gällde motorkedjesågar). I mellanområdet var den beroende av exponeringens varaktighet.

Rekommendationer om exponeringsbegränsning, som byggde på dessa resultat, publicerades 1971 av Arbetarskyddsstyrelsen. Nu gällande föreskrift om exponering för hand-arm-vibrationer är Arbetarskyddsstyrelsens kortfattade föreskrift AFS 86:7 (1). Den är utformad som allmänna rekommendationer om begränsning av vibrationsexponering och anger inte några gränsvärden. Den gäller maskiner och arbetsredskap som hålls eller stöds av handen och som ger påverkan av vibrationer (§1). Tillverkare, importör och annan leverantör skall se till att utrustningen vid leverans är så beskaffad att den ger låg vibrationspåverkan (§2). Vid anskaff-

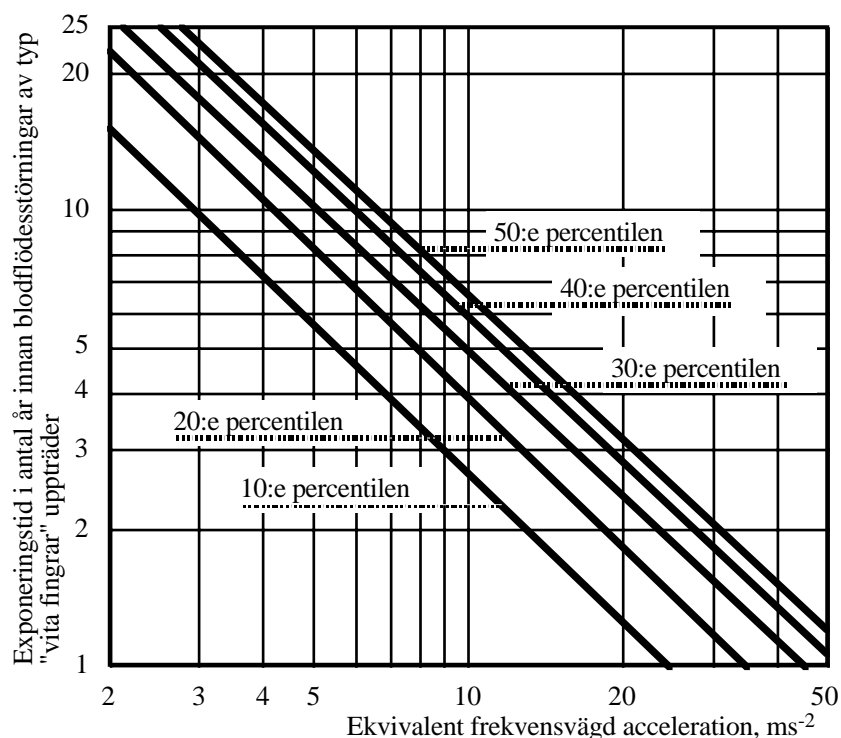
ning skall sådan utrustning väljas som ger låg vibrationspåverkan. Arbetet skall planeras och bedrivas så att skada till följd av vibrationer förebyggs. Vid misstanke om skadlig vibrationspåverkan skall arbetsförhållandena utredas och erforderliga åtgärder vidtas för att motverka skada (§3). Arbetstagare som utsätts för vibrationer skall informeras om risken för skada. Den som har symptom på vibrationskada skall underrätta arbetsgivaren och genom dennes försorg ges tillfälle att genomgå läkarundersökning (§4). När det gäller vibrationsmätning hänvisar föreskriften till SS-ISO 5349 (195).

7. Riskbedömning för vibrationsskador

7.1. Riskbedömningsmodeller för vita fingrar

7.1.1. Exponering-respons-sambandet i Annex A till SS-ISO 5349

Den nu gällande standarden innehåller i ett Annex A en modell ("ER 5349") för skaderiskbedömning konstruerad (24-28) med hjälp av litteraturuppgifter om förekomsten av vita fingrar i olika yrkesgrupper. Den har formen av ett diagram (Figur 1) över sambandet mellan latensen ("respons"-variabeln i detta sammanhang) för vita fingrar i olika yrkesgrupper och exponeringen för vibrationer uttryckt som 4-timmarsekvivalent frekvensvägd acceleration enligt SS-ISO 5349.

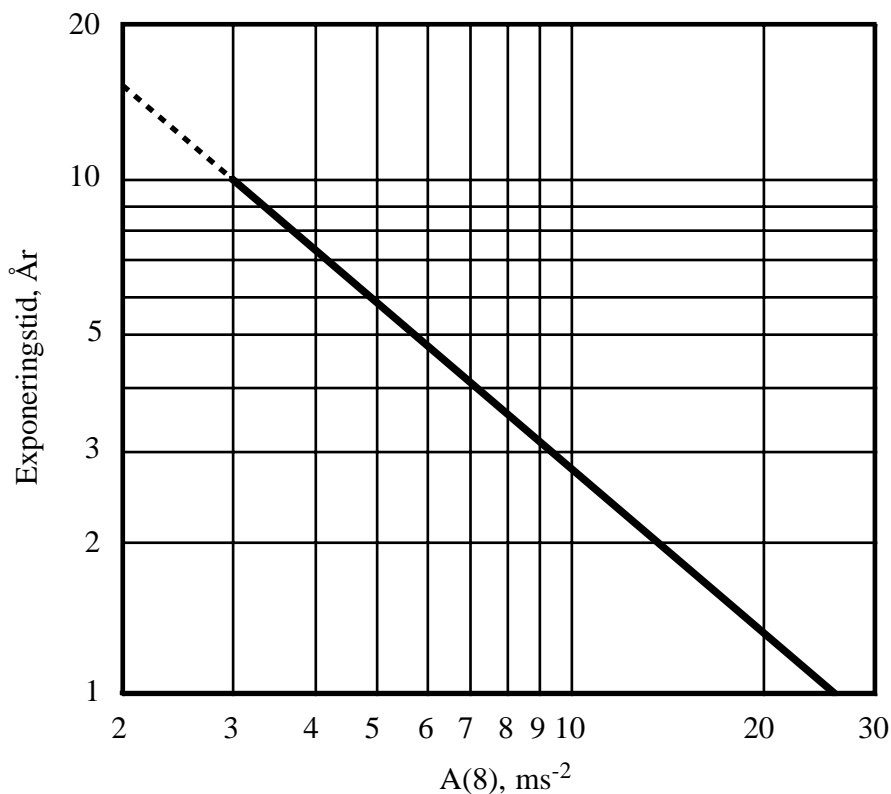


Figur 1. Modell för sambandet mellan ekvivalent frekvensvägd acceleration och latensen för vita fingrar (antalet år i yrkesarbete innan symptom på denna åkomma först visat sig) i yrkesgrupper som arbetat 4 timmar per dag med i huvudsak en typ av vibrerande maskiner (195).

ER 5349 diskuterades i det ursprungliga kriteriedokumentet (72) och har kommenterats ytterligare i senare arbeten (73, 74, 82, 83). Modellen lider av stora vetenskapliga brister, som gör den olämplig för riskvärdering. Den har trots detta spelat en betydande roll för prevention i och med att den hos maskinfabrikanter och arbetsgivare ökat medvetenheten om behovet av en strävan att minska vibrationsexponeringen så mycket som möjligt.

Diagrammet i Figur 1 har i det nya standardförslaget fått ändrat utseende (Figur 2) i och med att alla prevalenslinjer utom 10 % tagits bort. Vidare har exponeringsrespons-relationen, med utgångspunkt från ER 5349, omräknats till att gälla för ett frekvensvägt 8-timmars accelerationsvärde istället för som tidigare ett 4-timmarsvärde. Borttagningen av prevalenslinjer påverkar inte bedömningen, eftersom det enbart är fråga om en matematisk anpassning till en ny daglig exponeringstid.

Den väsentligaste skillnaden mellan de två versionerna är emellertid att skaderiskbedömningen enligt det nya förslaget skall baseras på vektorsumman av de frekvensvägda accelerationsnivåerna för alla tre mätriktningarna. (I den ursprungliga versionen baseras bedömningen enbart på frekvensvägd accelerationsnivå i den dominanta riktningen). Detta innebär att den vibrationsnivå som redovisas i enlighet med den nya versionen kan vara upp till 1.7 gånger högre än nivån för den dominanta riktningen redovisad i den ursprungliga versionen (den typiska skillnaden ligger dock inom intervallet 1.2-1.5). För att kompensera för att bedömningen i stället skall baseras på en 8-timmars-ekvivalent exponering samt vektorsummevärdet har 10%-prevalenslinjen justerats upp med en faktor på c:a 1.3.



Figur 2. Samband som enligt ISO/DIS 5349-1 (Annex A) visar procentuell risk (10%) för uppkomst av vibrationsskada i form av "vita fingrar" hos en grupp individer exponerade för hand-arm-vibrationer som funktion av 8-timmars ekvivalent frekvensvägd acceleration och antal år med exponering.

Av de skäl som redovisats i det ursprungliga kriteriedokumentet saknas en rimligt säker vetenskaplig grund för att använda ER 5349 för att skatta förväntad VF-förekomst i grupper av yrkesmässigt exponerade. Detta har avspeglats i resultaten

av undersökningar som jämfört den "förväntade" förekomsten av vita fingrar med den observerade. Överensstämmelsen har visat sig vara dålig, vilket redovisats utförligt i det ursprungliga kriteriedokumentet.

Frekvensvägningskurvan i SS-ISO 5349 baseras på en vibrationsupplevelse, som är sammansatt av komponenter i alla tre huvudriktningarna (multiaxial exponering), men i den sammanfattande rekommendationen i SS-ISO 5349 baseras accelerationsvärdet enbart på den starkast exponerade riktningen, som vanligen är z-riktningen. Huruvida detta är berättigat är en otillräckligt belyst fråga. Om det finns anledning att överhuvudtaget fästa avseende vid akuta effekter som indikatorer för skaderisk, kan en japansk undersökning (147) vara av intresse. Resultaten bekräftade visserligen tidigare observationer av att känsligheten för vibrationer var störst i z-riktningen, men samtidigt exponering i olika riktningar visades ge starkare vibrationsperception än summan av exponeringarna i vardera riktningen. En annan oklar fråga är betydelsen för vibrationsperceptionen och upplevelsen av försämrad komfort vid statisk (vidmakthållen) respektive intermitterent exponering.

Även en undersökning av Stelling och Dupuis (201) kommer till liknande resultat. De har studerat överföringen av vibrationer från ett maskinhandtag till handled och armbåge, den elektriska aktiviteten i de muskelgrupper som påverkas vid vibrationsexponering, fingrarnas hudtemperatur, vibrationskänslighetströskeln och vibrationsupplevelsen hos ett litet antal försökspersoner 17-21 år gamla. Resultaten ansågs tyda på att överensstämmelsen mellan de undersökta parametrarna och vektorsumman av den frekvensvägda accelerationen i de tre huvudriktningarna var bättre än med mätresultaten i enbart en riktning. Det rekommenderades därför att ISO 5349 revideras så att man i stället opererar med tre olika vägningskurvor med kurvan för z-riktningen identisk med vägningskurvan i ISO 5349. Det nyligen publicerade förslaget till revision av SS-ISO 5349 (102, 103) har också gått på samma linje, dock utan att berättigade i detta har belagts i epidemiologiska studier.

Griffin har nyligen publicerat en översiktsartikel (82) om *mätning* (measurement), som baseras på den tekniska proceduren, *värdering* (evaluation), dvs. en evaluering av de olika vibrationsegenskapernas relativa betydelse för ett representativt mätresultat (frekvens, riktning och varaktighet), vilket leder fram till t.ex. en frekvensvägningskurva, samt en allmän *bedömning* (assessment) av mät- och evalueringsresultatens relation till risk för besvär och skador.

Författaren redogör för det senaste förslaget till EU:s maskinsäkerhetsdirektiv (89/392/EEC) (45) – beskriven i den tekniska rapport som publiceras parallellt med detta dokument (41) – och påpekar, att de tester som specificeras där inte omfattar alla arbetssituationer och därför inte är representativa för alla yrken. Detta gäller också det förhållandet att variationer i exponeringsvaraktighet liksom förekomsten av andra vibrationsrelaterade variabler kan leda till olika skaderisker som man inte tagit hänsyn till i direktivet.

I en kommentar till EU-direktivet för fysikaliska faktorer (46) påpekar Griffin, att grundvalen till direktivet är en mätning utefter tre axlar och bestämning av en av 8-timmars-ekvivalent frekvensvägd acceleration. En mycket kort exponeringstid (minuter) kommer därför att motsvara ett "gränsvärde" vid en oerhört hög vibrationsnivå (uppåt 1000 m/s²). Att basera en tolkning av vad som är en "säker" nivå på sådana värden är naturligtvis inte realistiskt.

Effekten av mätning i tre riktningar ("root-sum square of acceleration", "vektor-summa") i stället för enbart i den accelerationsmässigt dominerande riktningen kommenteras. För många maskiner uppgår skillnaden till en faktor på c:a 1,7 ($\sqrt{3}$), och det påpekas att även om detta kan verka ganska litet så motsvarar det en skillnad med en faktor 3 i den "risk", som kan beräknas med ledning av ER 5349. I tillägg kan de tre axlarna vara olika med avseende på skaderisk. Användningen av vektorsumman kan dölja den verkliga risken och introducera fel i vissa mätningar, och det är därför rimligt att först tillämpa olika vägningar för de tre axlarna, innan deras effekter jämförs eller kombineras. Slutligen påpekas det att det inte finns några data som visar, att lång daglig exponering över några få år skulle vara mindre skadlig än samma totala exponeringsvaraktighet utspridd över fler år vilket hävdas i den teori som ER 5349 grundas på. Härtill kommer att ISO 5349 förutsätter en relation mellan accelerationsnivån och kvadratroten av exponeringens varaktighet. Det förefaller Griffin osannolikt, att en så enkel relation skulle vara giltig över den vida skala av intensiteter och varaktigheter som förekommer i arbeten med hand-arm-vibrationer.

En annan intressant fråga, som om den löstes kunde ha avgörande betydelse för all riskbedömning och för standarder, är om det finns en tröskel för vibrationsskador. Man kan, i analogi med vissa andra störningar i den mänskliga organismen, tänka sig att risken för skada först håller sig låg för att sedan vid en viss exponeringsnivå bli påtaglig. Det kan vidare vara så att risken, när en gång tröskeln överskridits, kommer att fortsätta mer eller mindre linjärt med ökande exponering för att senare plana ut. Man har därmed fått den typiska S-formade kurva som konstaterats i många medicinska sammanhang. Om en sådan relation gäller för vibrationsskador – och det finns ingenting som talar emot den möjligheten – säger det sig självt att nu existerande exponering-respons-samband (t.ex. ER 5349) visar sig vara ytterligare avlägsna från verkligheten. Det krävs emellertid omfattande epidemiologiska undersökningar för att utforska denna fråga, och inga sådana studier har ännu utförts eller påbörjats. Griffin tar emellertid upp detta spørsmål under hänvisning till ett arbete, som anses antyda förekomsten av en tröskeleffekt (155). Det är också en mycket viktig egenskap hos individer, som utsätts för påverkan av yttre faktorer, att sådana trösklar också kan variera från person till person och dessutom ha sammanhang med andra faktorer i arbetsmiljön.

Som författarna till detta dokument understrukt i olika sammanhang (72-74), är den vetenskapliga kvaliteten hos riskbedömningsmodellen i Annex A till SS-ISO 5349 mycket bristfällig, en egenskap som den enligt Griffin delar med flera andra standarder. Griffin menar, att detta kanske är ett resultat av att varken ISO 5349 eller dess Annex A baserats på upprepningsbara data som erhållits med vetenskaplig metodik utan på beslut i ISO-kommittéer, där kompromisser nödvändigtvis måste tas. Modellen har dock haft stor betydelse för att uppmärksamma riskerna för vita fingrar och har medfört förbättringar av maskinerna.

7.1.2. Alternativa riskbedömningsmodeller

Det finns en alternativ riskbedömningsmodell, som diskuterar exponerings-respons-samband och som bygger på analys av den s.k. överlevnadsfunktionen (111). Den kallas också den "proportionella riskmodellen". Metoden innebär en

uppföljning av alla de studerade personerna från den tidpunkt då de började exponeras och bestämning av den proportion som under uppföljningstiden utvecklar symptom. Denna metod är enligt författaren alltså optimalt användbar endast i prospektiva undersökningar, där olikheter och variationer i arbetsprocesser, effektiv exponering och omsättning av medlemmar i yrkesgruppen kan följas över tid. Den har fördelen att tillåta en korrektion av grupplatenser med hjälp av kunskap om vilka personer som går in i eller lämnar yrket under den tid som studien pågår. En version av denna metod har tillämpats i en undersökning av skeppsvarvsarbetare (153) där det konstaterades, att exponeringens varaktighet bättre svarade mot VF-latensen än vad exponeringsnivån gjorde.

I en uppföljning av undersökningen av skeppsvarvsarbetare (155) studerades relationen mellan observerad VF-prevalens och den beräknade exponeringsdosen (skattad som produkten av exponeringstid och olika vägda vibrationsintensiteter). Särskilt beaktades riskens tidsberoende, dvs. den relativa betydelsen av acceleration och tid, och dosmåttets linearitet. En riskbedömningsmodell med effektmått beräknat med hjälp av Griffins symptomskala (81) och exponeringsskattning utan frekvensvägning jämfördes med en modell grundad på samma exponeringsmått men med frekvensvägning enligt ISO 5349. Den senare visade sig ge sämre korrelation mellan observerade latenstider för vita fingrar och de som "förväntats" enligt ER 5349. Detta ansågs antyda att vibrationsfrekvenser i den övre delen av intervallet 6.3 - 1250 Hz kan vara relativt betydelsefullare för skaderisk än som representeras av ISO-vägningskurvan. Ingen korrelationsförbättrande effekt observerades av att använda högre värden än 1 på den faktor m , som graderar riskens tidsberoende.

Orsaken till detta diskuterades. Det ansågs möjligt att det inte föreligger någon direkt relation mellan vibrationsintensitet och risken för VF. Tanken framkastades att det i stället existerar en exponeringströskel under vilken risken är negligerbar och över vilken risken främst beror av någon funktion av exponeringstid. Om så skulle vara fallet, ansågs det troligt att tröskeln varierar med olika kombinationer av maskiner och arbetsmetoder.

Även om det finns osäkerheter i exempelvis de deltagandes minne av latenstid och maskinanvändning (recall bias) liksom i ett exponeringsmått skattat med hjälp av mätningar på nu existerande maskiner, ansågs resultaten av denna undersökning i varje fall inte ge något stöd för vare sig frekvensvägningen i ISO 5349 eller riskens tidsberoende i ER 5349. Detta förefaller vara en rimlig slutsats, som ytterligare understryker det vanskliga i att på grundval av nuvarande kunskapsnivå definiera ett säkert exponerings-respons-samband som möjliggör kvantitativa rekommendationer om exponeringsbegränsning.

7.1.3. För och emot frekvensvägning vid vibrationsmätning

7.1.3.1. Vita fingrar

Ett annat synsätt när det gäller frågan om hur risk och mätvärden hänger samman har diskuterats av NIOSH i ett kriteriedokument (161). Det föreslås där att frekvensvägning vid vibrationsmätning inte bör användas när det gäller prevention mot vibrationsskador samt att mätområdet bör utvidgas till 5000 Hz. Anledningen

till att NIOSH-dokumentet rekommenderar att vibrationsmätning skall ske utan frekvensvägning är följande.

1. Data från undersökningen av nitare i en svensk flygindustri (58) anses tyda på att användningen av ett icke-frekvensvägt accelerationsmått ger ett mera rättvisande underlag för skaderiskbedömning. Detta gäller speciellt de högre frekvenserna, där ER 5349 med utgångspunkt från frekvensvägda mätvärden angav en betydligt lägre "förväntad" prevalens av vita fingrar än den observerade.
2. Exponeringsbedömning utan frekvensvägning sägs medge enklare mätförfarande, vilket emellertid kan vara ett tveksamt påstående.

NIOSH's ställningstagande stöds av Pelmeur och medarbetare, som också ger den välbefogade rekommendationen att vibrationsmätningar i fortsättningen görs både med och utan frekvensvägning (169). Det är i detta sammanhang också viktigt att påpeka att alla hittills diskuterade bedömningsmodeller bygger på antagandet att frekvensvägningskurvan i SS-ISO 5349 återspeglar skaderisken för vita fingrar. För detta finns egentligen inte något stöd. Det är fullt möjligt att helt andra frekvensvägningskurvor, liksom ett förfarande utan vägning upp till 5 kHz enligt NIOSH-förslaget, skulle kunna ge mätdata som är bättre korrelerade till risken för kärlskador.

Griffin påpekar i en nyligen publicerad översiktsartikel (82) att all riskbedömning hittills baserats på antagen förekomst av vita fingrar, på vilket ER 5349 är ett exempel. Som också redovisats på annan plats i detta dokument, är frekvensvägningskurvan ISO 5349 inte representativ för de vaskulära skador, som vibrationer med olika frekvens och riktning kan åstadkomma. Både frekvensvägningen och ER 5349 grundar sig på ofullständig information, och de uppgifter som finns har av praktiska skäl interpolerats, extrapolerats och förenklats. Därför kommer den observerade prevalensen i olika yrkesgrupper att visa dålig överensstämmelse med de siffror som man kan räkna fram ur ER 5349. Resultaten av mätningar på olika maskintyper med användning av frekvensvägd acceleration enligt ISO 5349 respektive utan frekvensvägning jämförs också. En rad kommentarer görs med anledning av de observerade data. När det gäller frekvensvägningen i ISO 5349, påpekas det att de ursprungliga studier som vägningen baseras på (146) inte gick högre i frekvens än 300 Hz men att ISO ändå extrapolerade till 1000 Hz, samt att ISO:s vägningskurva ger 16 gånger större vikt åt frekvenser vid 1000 Hz än som skulle ha varit fallet om en linjär extrapolering hade gjorts av de ursprungliga data. Att frånga frekvensvägningen skulle reducera betydelsen av lågfrekvent vibration i förhållande till högre frekvenser. Olika iakttagelser av vibrationsskador antyder att det krävs någon form av frekvensvägning, men – som också påpekats av detta dokumentets författare (73, 74) – att det inte är sannolikt, att ett enda vägningsförfarande kan täcka alla vibrationseffekter. För att uppnå ett rimligt vägningsförfarande krävs epidemiologiska studier av skador och besvär av maskiner för vilka skillnaden mellan frekvensvägning och icke-frekvensvägning är avsevärd.

En undersökning (22) av tidigare icke vibrationsexponerade försökspersoner visade, att fingerblodflödets reaktion på vibration med olika frekvenser och accelerationer inte stod i samklang med tillämpningen av frekvensvägningskurvan i ISO 5349. Vibration med accelerationen 22 m/s^2 resulterade i en större minskning

av blodflödet (i såväl det vibrationsexponerade fingret som i motsvarande icke-exponerade finger på andra handen) vid frekvensen 125 Hz än vid 31.5 Hz. I det vibrerade fingret åstadkom vibration vid 125 Hz och accelerationen 87 m/s^2 initialt en blodkärlsutvidgning, följt av kärlsammandragning efter stimuleringens slut. I det icke-vibrerade fingret, däremot, uppträdde en vasokonstriktion under hela den 60 min långa observationsperioden. Resultaten utgör en ytterligare illustration till att frekvensvägningskurvan – som baseras på neurologiska mekanismer – saknar relevans för uppkomsten av vita fingrar. Konklusionen ansågs få stöd av fynden i en undersökning av varvsarbetare (154), där förekomsten av vita fingrar och symptomens svårighetsgrad visade bättre överensstämmelse med vibrationsmått erhållna utan frekvensvägning. Det framhölls att de här konstaterade akuta effekterna inte säger något om cirkulatoriska effekter av långvarig vibrations-exponering.

7.1.3.2. Effekter på nervfunktioner

Den teoretiska grunden för frekvensvägningen i såväl ISO 5349 som den brittiska standarden BS 6842 är konstant energi över hela det angivna frekvensområdet. Det representativa i denna hypotes har också ifrågasatts, när det gäller exponering för upprepade stötar. Denna bedömning baserades på resultatet av en undersökning (140) av tidigare icke-vibrationsexponerade försökspersoner, i vilken fem stötar per sekund åstadkom en mindre vibrationströskelhöjning än 100 stötar per sekund vid samma totala frekvensvägda energivärde.

7.1.4. Energiabsorption som kritisk faktor vid riskbedömning

Resultaten av några tidigare undersökningar (47, 125) har antytt att mängden energi, som tas upp av hand-arm-systemet, kan vara en kritisk faktor, som bör beaktas vid bedömning av risken för vibrationsskador. Denna teori har under de senaste åren belysts av forskare vid Arbetslivsinstitutet i Umeå (35, 37, 38, 42). Arbeten på detta område har emellertid gett motsägande resultat, vilket kan bero på att exponeringsmätningarna vanligen gjorts direkt på maskinhandtaget.

Den anatomiska bakgrunden till studier av energiabsorptionen är att hand och arm utgör elastiska system, som kan lagra energi – i potentiell form genom kompression av vävnaderna och som kinetisk energi genom rörelser i systemet. Under vissa förhållanden kan systemets olika komponenter ibland verka som kraftiga vibrationsdämpare, vilket i sin tur medför ett nettoupptag av energi (tillförd energi minus energi som går tillbaka till vibrationskällan). Systemets egenskaper i energiabsorptionshänseende studeras matematiskt som en komplex funktion, vars reella komponent representerar energiupptaget och den imaginära delen representerar icke-absorberad energi. Om skaderisken överhuvudtaget är relaterad till energiöverföringen är en fråga som ännu inte kan besvaras, och det är dessutom oklart huruvida det är den absorberade energin eller den icke-absorberade energin (eller båda) som är boven i dramat. Det kan också tänkas att parametern kraft har stor betydelse för uppkomsten av skador.

Absorptionen av vibrationsenergi i handen har hävdats korrelera bättre med symptom på vibrationsskada av olika slag än den frekvensvägda accelerationen (34, 123, 125). Den påverkas inte bara av accelerationen utan också av frekvens, transmissionsriktning, grepp- och matningskrafter, hand-arm-ställningar och an-

tropometriska faktorer. Av dessa förefaller accelerationen vara den mest betydelsefulla faktorn (36).

Observationen att upptaget ökar med greppkraften skulle kunna vara av betydelse för preventiva åtgärder. En annan tanke är, att frekvensvägningskurvan i SS-ISO 5349 möjligen inte avspeglar den verkliga risken för skador eftersom den inte är representativ för energiabsorptionen vid olika frekvenser och andra vibrationsrelaterade faktorer. Detta skulle kunna antyda en underskattning av skaderisk för vibrationer i z-riktningen (dvs. utmed underarmens längdriktning) under 60 Hz och över 600 Hz liksom en överskattning mellan 16 Hz och 100 Hz i x- och y-riktningarna.

Fortsatta undersökningar av energiabsorption i förhållande till olika vibrationsrelaterade faktorer är av stort värde för att etablera en mera skaderepresentativ vägningskurva.

7.2. Riskbedömning för neurologiska besvär och störningar i rörelseapparaten

Det finns för närvarande inga accepterade exponerings-respons-samband för neurologiska besvär och störningar i rörelseapparaten. Det har emellertid rapporterats (133) att prevalensen av sensoriska störningar bland vibrationsexponerade plåtslagare och montörer ökar med exponeringen. Prevalensen var c:a 25% i den lägsta och 60% i den högsta exponeringsklassen. Resultatet tyder på att ett samband kan föreligga mellan exponering och respons. I denna undersökning beräknades även den exponeringstid som gav upphov till 10 och 40% prevalens av neurosensoriska störningar i relation till frekvensvägd accelerationsnivå. Denna relation jämfördes därefter med motsvarande samband för vita fingrar som ges i Annex A till ISO 5349. Jämförelsen visade, att neurosensoriska störningar på 10-procentsnivån tycks debutera något tidigare än de vaskulära besvären. Däremot tycks risken för de vaskulära öka något snabbare, eftersom det omvända förhållandet befanns råda för den 40-procentiga risknivån.

Som ett led i detta har en arbetsgrupp inom ISO (TC108/SC4/WG8) utarbetat ett förslag till internationell standard för mätning och utvärdering av känseltrösklar för vibrationer som registreras på fingertoppar, ISO/DIS 13091-1 (105).

8. Sammanfattande värdering av kunskapsunderlaget

- Det råder ett positivt samband mellan exponering och skaderisk för vita fingrar. Sambandet kan emellertid för närvarande inte kvantifieras i valida exponerings-respons-relationer som möjliggör rekommendationer om exponeringsgränsvärden anpassade för olika maskintyper, arbetsprocesser och arbetssätt. En allmän minskning av vibrationsexponeringen måste därför eftersträvas. Även om det inte har dokumenterats i epidemiologiska studier, finns det fysiologiskt välgrundad anledning att rekommendera så många och långa avbrott i exponeringen som möjligt, eftersom organismen därmed ges tillfälle till återhämtning. Pausers betydelse har studerats i undersökningar av akut-effekter av kontinuerlig respektive intermitterent exponering, men resultaten måste tolkas med försiktighet, eftersom man inte vet vilken relevans akuta effekter har för uppkomsten av kroniska och bestående skador.
- Med tanke på risken för skada i form av åkommor ingående i hand-arm-vibrationssyndromet måste den allmänna principen vara att bland maskiner med samma prestanda föredra den som har lägre mätvärden. I avsaknad av mera specifika frekvensvägningar för olika maskiner och arbetsprocesser kan man tills vidare använda accelerationsvärden uppmätta enligt SS-ISO 5349 som utgångspunkt för rekommendationer om exponeringsminskning vid bedömning av nya och existerande maskiner.
Det saknas vetenskaplig grund för att använda modellen i Annex A till SS-ISO 5349 till bedömning av olika exponeringars skadlighet med avseende på perifer cirkulationsstörning i form av vita fingrar. Den för närvarande viktigaste frågan är om denna modell efter modifiering skulle kunna anpassas till faktiskt observerade latens- och VF-prevalenssiffror. På grund av den stora variation och osäkerhet i olika faktorer, som belastar den, förefaller det emellertid klart, att det inte finns någon möjlighet till detta.
- Även beträffande neurologiska besvär och störningar i rörelseapparaten saknas för närvarande vetenskapligt underlag för valida exponerings-respons-relationer som möjliggör rekommendationer om exponeringsbegränsning. Eftersom skaderisken förmodligen ökar med kraftigare exponering, finns det däremot anledning att eftersträva så stor exponeringsbegränsning som möjligt för att förebygga skador och besvär i dessa organsystem.
- Det krävs ökad kunskap om exponering-respons-relationer speciellt anpassade till de riskavgörande faktorer, som är förknippade med olika maskintyper, arbetsprocesser och arbetssätt samt med biodynamiska och biomekaniska faktorer. Behovet är i detta avseende stort för vibrationer av impulstyp och för vibrationer som innehåller stor energi i högre frekvenser.
Data som framkommit under senare år kan ge underlag för modifikationer av nuvarande internationella standard, som ger en bättre överensstämmelse med observerade förekomster av vibrationsskador i olika arbetsprocesser och för olika maskiner. Det kan för närvarande inte avgöras om vibrationsmätningar bör baseras på någon typ av frekvensvägning.

9. Medicinsk övervakning

Med tanke på svårigheten att utifrån exponeringsgränsvärden förebygga vibrationsskador kan istället medicinsk övervakning med exempelvis anställningsundersökning och därefter intervallvisa undersökningar av vibrationsexponerade användas i preventivt syfte. Denna bör främst ske i form av en ökad uppmärksamhet bland hälsopersonal som syftar till att identifiera tecken till en vibrationsskada under utveckling. Hälsoundersökningar, t.ex. årligen, med denna inriktning liksom anställningsundersökningar kan ge underlag för att identifiera arbeten med förhöjd risk för vibrationsskador samt för ställningstagande till lämplighet för arbete med vibrerande maskiner. En tidsplan för undersökningar av detta slag har föreslagits av Ekenvall och medarbetare (53). Den överensstämmer i stort med den medicinska övervakningsmodell ("medicinska kriterier"), som rekommenderats av NIOSH (161). I övrigt bygger den på klinisk erfarenhet.

Riktlinjer för medicinsk övervakning för förhindra och begränsa uppkomsten av skada hos vibrationsexponerade är under utarbetande inom ett EU-projekt (EU BIOMED 2 Concerted Action, BMH4-CT98-3251) med titeln "Research Network on Detection and Prevention of Injuries due to Occupational Vibration Exposure (Vibration Injury Network)". Information om detta EU-projekt kan fås från en av författarna till detta dokument (RL). Undersökning bör också lämpligen ske när anställningen upphör (även på grund av pensionering) eller vid övergång till vibrationsfri sysselsättning. Begynnande tecken på vibrationsskada kan göra det befogat att avråda från fortsatt arbete med vibrerande maskiner, speciellt för yngre personer, som annars kan riskera att få sin åkomma förvärrad under en lång yrkeskarriär. Avrådan från vibrationsexponerat arbete kan grundas på förekomsten av konstitutionell Raynaud, tecken på primär Raynaud eller sekundär Raynaud av annan orsak än vibrationer liksom neuropati av annan orsak (ex. diabetes).

10. Behov av forskning för kriterie-dokumentation

För kriterieändamål är det främst förhållandet mellan exponeringens karaktär, intensitet och varaktighet å ena sidan och skadornas grad och natur å den andra som måste göras till föremål för fortsatt forskning.

1. Det bästa sättet att erhålla användbara data är att göra prospektiva studier, som därför bör ges hög prioritet hos forskare och anslagsgivande organ. Det är en typ av undersökning som ger möjlighet till att noggrannare studera en rad olika miljöfaktors inverkan på olika organfunktioner. Detta motiveras av att uppkomsten av vibrationsinducerade vita fingrar sannolikt är multifaktoriell. Prospektiva ("longitudinella") undersökningar är mycket resurskrävande i fråga om tid och utrustning och förutsätter ett välorganiserat samarbete mellan teknisk och medicinsk personal. Sannolikt är detta anledningen till att det än så länge finns få exempel på sådana projekt. Det bästa slaget av prospektiv undersökning är att starta med en stor grupp av personer som ännu inte exponerats för vibrationer – idealiskt de som börjar sin utbildning i yrkesskola – och sedan följa gruppen medicinskt och tekniskt under så lång tid som krävs för att skador skall börja uppträda i omfattning tillräcklig för säker analys. I en annan typ av longitudinell undersökning studeras definierade grupper av yrkesarbetare med avseende på skadeförekomst och exponering vid ett utgångstillfälle och därefter under en uppföljningstid. En sådan undersökning har utförts i Sverige med utgångspunkt från en kohort, följd under tio år, av arbetare inom tung verkstadsindustri och med ej vibrationsexponerade tjänstemän från samma företag som referensgrupp (157). Samtliga personer genomgick läkarundersökning och kliniska tester med avseende på cirkulatoriska och sensoriska störningar, och parallellt med detta kartlades exponeringen genom mätningar och tidsstudier. Delar av resultaten av dessa studier har beskrivits i flera avsnitt i detta dokument.
2. Lämpliga yrkesgrupper för prospektiva studier är sådana där exponeringen är homogen, t ex äger rum från endast en typ av maskin. Tyvärr existerar sådana grupper sällan. Däremot är det tänkbart, att man med multivariat analys av data från undersökningar inom flera olika yrkesgrupper skulle kunna urskilja vissa etiologiska vibrationskaraktistika och andra arbetsmiljöfaktorer. Detta kräver dock insamling av data utan frekvensvägning på ett sådant sätt att vibrationsanalyser senare kan göras på grundval av frekvensspektra, även utanför frekvensområdet i SS-ISO 5349. Stötinnehållet i vibrationerna måste speciellt analyseras när det gäller vissa maskiner.
3. Stöd bör ges till forskning om utvecklingen av metoder för att mäta absorption av vibrationsenergi i handen. Det är viktigt att kunna studera denna parameter i prospektiva undersökningar, eftersom absorptionen varierar med grepp- och matningskrafter. Hittills gjorda experiment med olika tryckgivare har inte lett till någon säker metodik för bestämning av dessa krafter på autentiska maskiner.

4. Säker diagnostik är avgörande för resultatens kvalitet i alla undersökningar av vibrationsskadeförekomst. Det är därför angeläget med forskning kring möjligheterna till besvärsobjektivering. De symptomskalor som nu alltmer allmänt används i Sverige och andra länder för såväl cirkulatoriska som neurologiska störningar behöver valideras. Fler undersökningar bör göras av överensstämmelsen mellan symptomskalan för cirkulatoriska besvär och kliniska tester, t.ex. mätning av fingerblodtryck vid köldprovokation. Den föreslagna skalan för sensorisk funktionsnedsättning måste valideras med hjälp av ytterligare studier av olika objektiva tester, t.ex. perceptionströsklar för mekaniska stimuli och temperatur. Målsättningen om säker diagnostik innebär också att valida studier skall innefatta metoder som medger att differentialdiagnoser kan identifieras (dvs. omsorgsfull klinisk värdering av alla undersökningsfall).
5. Kunskapen är fortfarande otillräcklig om växelverkan mellan vibrationer och andra ergonomiska faktorer vid uppkomsten av vaskulära och neurologiska störningar i olika delar av hand-arm-systemet. Vi vet emellertid, att arbete med en vibrerande maskin i vissa processer innebär ergonomiska förhållanden som kan leda till belastningsskador. En sådan mekanism har diskuterats vid exempelvis diskbräck i halsryggraden. Den relativa betydelsen av vibrationer respektive andra ergonomiska faktorer för uppkomsten av denna och andra belastningsrelaterade åkommor är inte klarlagd. Man bör sträva efter att fastställa exponering-respons-relationer speciellt anpassade till de riskavgörande faktorer, som är förknippade med olika maskintyper, arbetsprocesser och arbetssätt samt med biodynamiska och biomekaniska faktorer. Behovet är i detta avseende stort för stöt vibrationer och för vibrationer som innehåller stor energi i högre frekvenser.
6. Ytterligare forskning om betydelsen av kortare eller längre avbrott i vibrationsexponeringen bör göras i epidemiologiska studier liksom i undersökningar avsedda att klarlägga vari den därav följande återhämtningen består och hur den skall befrämjas. En givande typ av forskningsprojekt därvidlag är prospektiva studier av interventionstyp, där fördelningen mellan arbete och pauser differentieras mellan olika grupper av vibrationsexponerade som arbetar med samma maskintyp.
7. Det bör ställas strikta krav på den epidemiologiska metodiken, som bör tillämpa moderna principer för design och analys. Rapporteringen bör vara sådan att resultatens validitet kan bedömas. Valet av exponerade grupper och jämförelsegrupper, diagnostiska metoder och normalvärden, använda vid analys av de studerade variablerna, bör beskrivas utförligt. Möjliga källor till snedfördelning av materialet och bias bör diskuteras och en redogörelse lämnas för hur man försökt beakta confounding-faktorer och effektmodifierare. Den multifaktoriella etiologin till vita fingrar och neurologiska störningar hos vibrationsexponerade kräver användning av multivariat analys. Anslagsstöd till epidemiologiska projekt bör ges endast under förutsättning att krav av den här diskuterade typen är uppfyllda.

Ytterligare forskning krävs också beträffande följande frågor.

- Kliniskt-diagnostisk avgränsning mellan "diffust utbredd neuropati" (t.ex. genom direkt mekanisk inverkan av vibrationer på nervstrukturer i handen) och specifik neuropati genom kompression av N. medianus (karpaltunnelsyndrom) och N. ulnaris.
- Laborrietester för dessa tillstånd (procedurer, sensitivitet, specificitet, prediktivt värde).
- Epidemiologiska undersökningar för insamling av data från tillräckligt stora referensgrupper under hänsynstagande till annan ergonomisk påverkan än vibrationer (statisk belastning m.m.)
- Vibrationers effekt på muskelfunktion (svaghet, atrofi) och vibrationers relativa roll vid uppkomsten av besvär i andra delar av arm-hand-systemet.
- Sambandet mellan utveckling av vita fingrar och exponering för kyla samt nikotinanvändning vid rökning och snusning.
- Metoder för säkrare differentialdiagnostik av vibrationsinducerade vita fingrar, Raynauds sjukdom och "konstitutionell Raynaud".
- Standardisering av tester och insamling av normalvärden för registrering av fingerblodtryck vid nerkylning (COP-test) och köldprovokation (mätning av fingerhudtemperatur i samband med nerkylning).
- Inverkan av individrelaterade faktorer (kön, ålder, andra sjukdomar, medicinering, mm.) på uppkomst och utveckling av olika vibrationsrelaterade skador och besvär.

11. Sammanfattning

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.

En kritisk litteraturgenomgång har gjorts med avseende på sambandet mellan eventuella hälsorisker och exponering för olika faktorer i arbete med handhållna vibrerande maskiner. De kritiska effekter som är aktuella i detta sammanhang är cirkulationsstörning i händerna i form av s.k. vita fingrar samt störningar i handens nervfunktioner i form av diffust utbredd neuropati. Karpaltunnelsyndrom och nedsatt muskelkraft kan på grundval av dagens kunskap inte anses vara kritiska effekter av exponering för hand-arm-vibrationer, och tillgänglig dokumentation ger inget stöd för specifika ben- och ledåkommor vid denna exponering. Artros i handled och armbågsled kan ha samband med den extra belastning som det innebär att hantera stötande handhållna maskiner.

Litteraturgenomgången har visat, att det inte föreligger valida exponerings-respons-relationer som möjliggör kvantitativa rekommendationer om exponeringsbegränsning på grundval av nuvarande kunskap.

Minskning av exponering bör eftersträvas genom att maskiner med lägre vibrationsnivå, mätt på grundval av den svenska standarden SS-ISO 5349, föredras liksom genom tekniska åtgärder på arbetsplatsen. Fortsatt forskning krävs för att fastställa kvantitativa exponering-respons-samband anpassade till de riskavgörande faktorer, som är förknippade med olika maskintyper, arbetsprocesser och arbetssätt samt med biodynamiska och biomekaniska faktorer. Sådan forskning bör bedrivas genom prospektiva studier. Det är av värde för fortsatt forskning att icke-frekvensvägda accelerationsdata insamlas för senare analys på olika sätt.

Med tanke på svårigheten att utifrån exponeringsgränsvärden förebygga mera avancerade vibrationsskador kan i stället medicinsk övervakning vara av värde. Denna bör omfatta exempelvis anställningsundersökning och därefter intervallvisa undersökningar av vibrationsexponerade användas i preventivt syfte. Detta förutsätter att arbetsorganisationen är sådan att fall av misstänkt skadlig vibrationspåverkan fångas upp och att de anställda ges tillfälle till läkarkonsultation. Formerna för dessa "medicinska kriterier" kan inte fastslås i föreskrifter, eftersom behovet, liksom också de lämpliga procedurerna, varierar med yrkesgrupp, arbetsprocesser och individuellt arbetssätt.

12. Summary

Gemne G, Lundström R (2000) Current knowledge regarding disorders in work with hand-held vibrating machines. - Medical aspects. *Arbete och Hälsa* 2000:18.

A critical review has been made of the literature with respect to the relationship between possible health risks and exposure to various factors in work with hand-held vibrating machines. The critical effects of interest in this context are disturbances in the blood circulation of the hand in the form of so-called white fingers, and disturbances of the nerve functions of the hand manifested as diffusely distributed neuropathy. Carpal tunnel syndrome and reduced muscle power in the hand cannot be regarded, on the basis of current knowledge, as critical effects of exposure to hand-arm vibration. Available information does not support the notion that disorders of bones and joints are specific to this exposure. Arthrosis of the wrist and elbow joints may be secondary to the added strain connected with the handling of percussive tools.

The review has shown that there are no valid exposure-response-relationships permitting quantitative recommendations for a limitation of exposure. The goal should be to achieve a general reduction of exposure by preferring machines with lower vibration level, as determined according to the Swedish standard, SS-ISO 5349, together with technical measures in the workplace.

Continued research is required to establish quantitative exposure-response-relationships that reflect the decisive risk factors connected with different machine types, work processes and work methods as well as with specific biodynamic and biomechanical factors. This research should be carried out through prospective studies. It is of value to collect non-frequency-weighted acceleration data for later analysis in various ways.

Considering the difficulties of preventing vibration injury with the help of threshold limit values, medical surveillance may be valuable for the prevention of advanced vibration-induced disorders. The medical surveillance should comprise an examination at the start of a job and later examinations at intervals. This requires that the work organization allows the identification of suspected cases of vibration-induced disturbances and that those employees will be given the opportunity to consult a doctor experienced in these disorders. The precise form of such "medical criteria" cannot be stated in ordinances, since the need, as well as the adequate procedures, vary between occupational groups, work processes, and individual work methods.

13. Referenser

1. AFS (1986) *Vibrationer från handhållna maskiner*. Arbetskyddsstyrelsens författningssamling 7.
2. Agate J, Druett H, Tombleson J (1946) Raynaud's phenomenon in grinders of small metal castings. *Brit J Ind Med*, 3, 167-174.
3. Agishi Y (1990) Effects of physical-thermotherapy on clinical features and endocrine functions in patients with vibration syndrome in Japan. *Hand-Arm Vibration*, Kanazawa, Japan. Kyohei Press, 1990: 353.
4. Anderson J (1971) Rheumatism in industry: a review. *Brit J Ind Med*, 28, 103-121.
5. Anderson J (1984) Arthrosis and its relation to work. *Scand J Work Environ Health*, 10, 286-289.
6. Anonym (1995) Clinical and laboratory diagnostics of neurological disturbances in workers using hand-held vibrating tools. Report from discussions in a working group. *Stockholm Workshop 94. Hand-arm vibration syndrome: Diagnostics and quantitative relationships to exposure*. Stockholm. Arbete och Hälsa 5, 187-194.
7. Anttonen H, Virokannas H, Niskanen J (1995) Hand-arm vibration and terrain vehicles. *Centr eur J Publ Health*, 3, 123-125.
8. Armstrong T, Fine L, Radwin R, Silverstein B (1987) Ergonomics and the effects of vibration in hand-intensive work. *Scand J Work Environ Health*, 13, 286-289.
9. Armstrong T, Foulke J, Bradley S, Goldstein S (1982) Investigation of cumulative trauma disorders in a poultry processing plant. *J Amer Ind Hyg Assoc*, 43, 103-116.
10. Atkinson AC (1985) *Plots, transformation and regression*. (Vol. 6) Oxford Statistical Science Series. Oxford: Oxford Sci Publ.
11. Axelsson S (1969) *Analys av vibration hos motorsågar*. Studia Forestalia Suecica. Kungliga Skogshögskolan, Stockholm. 59.
12. Barnhart S, Demers P, Miller M, Longstreth JW, Rosenstock L (1991) Carpal tunnel syndrome among ski manufacturing workers. *Scand J Work Environ Health*, 17, 46-52.
13. Beyer L, Marcus K, Sandén L, Wass K, Barregård L (1992) *Undersökning av bilmekaniker i Göteborg. Delrapport 1. Förekomst av vita fingrar orsakade av arbete med vibrerande verktyg*. Göteborg: Yrkesmedicinska kliniken, Sahlgrenska sjukhuset, Göteborg, och Motorhälsan Göteborg.
14. Bodelsson M (1990) *Vascular effects of cooling - With special reference to human serotonergic, adrenergic and endothelial mechanisms*. Doctoral thesis, Lund University, Department of Surgery. Lund.
15. Bovenzi M (1990) Autonomic stimulation and cardiovascular reflex activity in the hand-arm vibration syndrome. *Kurume Med J* 37, Suppl, 85-94.
16. Bovenzi M (1993) Digital arterial responsiveness to cold in healthy men, vibration white finger and primary Raynaud's phenomenon. *Scand J Work, Environ Health*, 19, 271-276.
17. Bovenzi M (1994) Hand-arm vibration syndrome and dose-response relation for vibration induced white finger among quarry drillers and stonecarvers. Italian Study Group on Physical Hazards in the Stone Industry. *Occup Environ Med*, 51(9), 603-611.
18. Bovenzi M, Alessandrini B, Mancini R, Cannava MG, Centi L (1998) A prospective study of the cold response of digital vessels in forestry workers exposed to saw vibration. *Int Arch Occup Environ Health*, 71(7), 493-498.
19. Bovenzi M, Franzinelli A, Mancini R, Cannava MG, Maiorano M, Ceccarelli F (1995) Dose-response relation for vascular disorders induced by vibration in the fingers of forestry workers. *Occup Environ Med*, 52, 722-730.
20. Bovenzi M, Franzinelli A, Scattoni L, Vannuccini L (1994) Hand-arm vibration syndrome among travertine workers: a follow up study. *Occup Environ Med*, 51, 361-365.

21. Bovenzi M, Franzinelli A, Strambi F (1988) Prevalence of vibration-induced white finger and assessment of vibration exposure among travertine workers in Italy. *Int Arch Occup Environ Health*, 61, 25-34.
22. Bovenzi M, Griffin MJ (1997) Haemodynamic changes in ipsilateral and contralateral fingers caused by acute exposures to hand transmitted vibration. *Occupational and Environmental Medicine*, 54, 566-576.
23. Box GEP, Cox DR (1964) An analysis of transformations (with discussion). *J R Stat Soc*, 26, 211-246.
24. Brammer A (1982) *Relations between vibration exposure and the development of the vibration syndrome*. In: Brammer A, Taylor W eds. *Vibration Effects on the Hand and Arm in Industry*. Pp 283-290, New York: John Wiley & Sons.
25. Brammer A (1982) *Threshold limit for hand-arm vibration exposure throughout the workday*. In: Brammer A, Taylor W eds. *Vibration Effects on the Hand and Arm in Industry*. Pp 291-301, New York: John Wiley & Sons.
26. Brammer A (1983) *Dose-response relationships for the hand-arm vibration syndrome, with reference to neuro-vegetative symptoms*. In: Gemne G, Taylor W eds. *Hand-arm vibration and the central nervous system*. Pp 151-162, London: J Low Freq Noise Vib (Special issue).
27. Brammer A (1984) Model for the onset of white fingers during exposure of the hands to vibration. *Arch Mal, Prof*, 315-322.
28. Brammer A (1986) Dose-response relationships for hand-transmitted vibration. *Scand J Work Environ Health*, 12, 284-288.
29. Brammer A, Taylor W, Lundborg G (1987) Sensorineural stages of the hand-arm vibration syndrome. *Scand J Work Environ Health*, 13, 279-283.
30. Breslow N, Day N (1980) *Statistical Methods in Cancer Research. Volume I - The analysis of case-control studies*. Lyon: WHO, IARC.
31. Breslow N, Day N (1987) *Statistical Methods in Cancer Research. Volume II - The design and analysis of case-control studies*. Lyon: WHO, IARC.
32. Broockmeyer R (1988) *Time and latency considerations in the quantitative assessment of risk*. In: Gordis L ed. *Epidemiology and Health Risk Assessment*. Pp 178-188, Oxford: Oxford University Press.
33. BS 6842 (1987) *British standard guide to measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to the hand*. London: British Standards Institution.
34. Burström L (1990) *Absorption of vibration energy in the human hand and arm*. Doctoral thesis, Doctoral thesis 87 D. Luleå: Luleå University of Technology, Department of Human Work Science, Division of Physical Environment Technology.
35. Burström L (1996) The influence of individual factors on the absorption of vibration energy in the hand and arm. *Centr eur J Publ Hlth*, 4(1), 50-52.
36. Burström L, Lundström R (1992) *Determination of the mechanical energy absorption in the human hand-arm whilst exposed to vibration*. In: Dupuis H, Christ E, Sandover DJ, Taylor W, Okada A eds. *Proceedings of the 6th International Conference on Hand-Arm Vibration*. Pp 885-895, Bonn: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin, Germany.
37. Burström L, Lundström R (1994) Absorption of vibration energy in the human hand and arm. *Ergonomics*, 37(5), 879-890.
38. Burström L, Lundström R (1998) Portable equipment for field measurement of the hand's absorption of energy. *Safety Science*, 28(1), 15-20.
39. Burström L, Lundström R, Hagberg M, Nilsson T (1994) Exposure to vibration among platers within a heavy engineering production workshop. A five-year follow-up. *Arbete och Hälsa* 8, 1-16.
40. Burström L, Lundström R, Hagberg M, Nilsson T (1998) Comparison of different measures for hand-arm vibration exposures. *Safety Science*, 28, 3-14.

41. Burström L, Lundström R, Sörensson A (2000) Kunskapsunderlag för åtgärder mot skador och besvär i arbete med handhållna vibrerande maskiner. Tekniska aspekter. *Arbete och Hälsa* 17.
42. Burström L, Sörensson A (1999) The influence of shock-type vibrations on the absorption of mechanical energy in the hand and arm. *J Ind Ergonom*, 23, 585-594.
43. Cannon LJ, Bernacki E, Walter S (1981) Personal and occupational factors associated with carpal tunnel syndrome. *J Occup Med*, 23, 255-258.
44. Chatterjee D, Petrie A, Taylor W (1978) Prevalence of vibration-induced white finger in fluorspar mines in Weardale. *Br J Ind Med*, 35, 208-218.
45. Council of the European Communities (1989) On the approximation of the laws of the member states relating to machinery. Council Directive 89/392/EEC. *Official Journal of the European Communities*, June, 9-32.
46. Council of the European Communities (1994) Amended proposal for a Council Directive on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risk arising from physical agents - Individual Directive in relation to Article 16 of Directive 89/391/EEC. *Official Journal of the European Communities*, No. 230, 19.8.94, 3-29.
47. Cundiff JS (1976) Energy dissipation in human hand-arm exposed to random vibration. *J Acoust Soc Amer*, 1, 212-4.
48. Dahlin LB, Lundborg G (1994) Mechanisms underlying muscular dysfunction following vibration exposure. A brief review of experimental findings. *Stockholm Workshop 94. Hand-arm vibration syndrome: diagnostics and quantitative relationships to exposure*, Stockholm. *Arbete och Hälsa* 1995:5, 1994: 17-25.
49. Dandanell R, Engström K (1986) Vibration from riveting tools in the frequency range 6 Hz-10 MHz and Raynaud's phenomenon. *Scand J Work Environ Health*, 12, 338-342.
50. Dupuis H, Scheffer M (1990) Influence of vibration and low temperature on peripheral circulation. *5th International Conference on Hand-Arm Vibration*, Kanazawa, Japan. Kyoei Press, 1990: 9-12.
51. Dupuis H, Zagorski J (1982) Akute Veränderungen der peripheren Durchblutung unter Lärm, statischer Belastung und Schwingungsbelastung. *Z Arbeitswiss*, 4, 243-246.
52. Ekenvall L, Gemne G, Tegner R (1989) Correspondence between neurological symptoms and outcome of quantitative sensory testing in the hand-arm vibration syndrome. *Br J Ind Med*, 46, 570-574.
53. Ekenvall L, Hagberg M, Lundborg G, Lundström R (1991) *Att förebygga vibrations-skador*. Stockholm: Arbetsmiljöfonden.
54. Ekenvall L, Lindblad LE (1986) Is vibration white finger a primary sympathetic injury? *Brit J Ind Med*, 43, 702-706.
55. Ekenvall L, Lindblad LE (1989) Effect of tobacco use on vibration white finger disease. *J Occup Med*, 31, 13-16.
56. Ekenvall L, Lindblad LE, Norbeck O, Ezzell B (1988) Alpha-adrenoceptors and cold-induced vasoconstriction in human finger skin. *Am J Physiol*, 255, H1000-H1003.
57. Ekenvall L, Nilsson B, Falconer C (1990) Sensory perception in the hands of dentists. *Scand J Work Environ Health*, 16, 334-339.
58. Engström K, Dandanell R (1986) Exposure conditions and Raynaud's phenomenon among riveters in the aircraft industry. *Scand J Work Environ Health*, 12, 293-295.
59. Engström K, Dandanell R, Hammerby S, Lindberg J (1990) Bone changes in the hands and exposure conditions among riveters in the aircraft industry. *5th International Conference on Hand-Arm Vibration*, Kanazawa, Japan. Kyoei Press, 1990: 31-33.
60. Falck B, Aarnio P (1983) Left-sided carpal tunnel syndrome in butchers. *Scand J Work Environ Health*, 9, 291-297.
61. Flodmark BT, Lundborg G (1997) Vibrotactile sense and hand symptoms in blue collar workers in a manufacturing industry. *Occupational and Environmental Medicine*, 54, 880-887.

62. Futatsuka M, Tsukasa I, Ryutaro O, Kazuhiko M, Tadayoshi S, Tadataka I (1992) *An epidemiological study on the occurrence of vibration syndrome in a tropical rain forest area*. In: Dupuis H, Christ E, Sandover DJ, Taylor W, Okada A eds. Proceedings of the 6th International Conference on Hand-Arm Vibration. Pp 379-386, Bonn: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin, Germany.
63. Futatsuka M, Ueno T, Kitano T, Inaoka T, Miyakita T, Wakamiya J, Wang L (1990) Cohort study of the sequence of vibration syndrome due to chain saw operation. *Hand-Arm Vibration.*, Kanazawa, Japan. Kyoei Press, 1990: 117-120.
64. Färkkilä M (1978) Grip force in vibration disease. *Scand J Work Environ Health*, 4, 159-166.
65. Färkkilä M, Aatola S, Starck J, Korhonen O, Pyykkö I (1986) Hand-grip force in lumberjacks: two-year follow-up. *Int Arch Occup Environ Health*, 58, 203-208.
66. Färkkilä M, Pyykkö I, Heinonen E (1990) Vibration stress and the autonomic nervous system. *Kurume Med J* 37, Suppl, 53-60.
67. Färkkilä M, Pyykkö I, Korhonen O, Starck J (1980) Vibration-induced decrease in the muscle force in lumberjacks. *Eur J Appl Physiol*, 43, 1-9.
68. Gemne G (1982) Pathophysiology and multifactorial etiology of acquired vasospastic disease (Raynaud Syndrome) in vibration-exposed workers. *Scand J Work Environ Health*, 8, 243-249.
69. Gemne G (1992) *Pathophysiology and pathogenesis of disorders in workers using hand-held vibrating tools*. In: Pelmeur P, Taylor W, Wassermann D eds. Hand-arm Vibration. A Comprehensive Guide for Occupational Health Professionals. Chapter 4. Pp 41-76, New York: Van Nostrand Reinhold.
70. Gemne G, Brammer AJ, Hagberg M, Lundström R, Nilsson T (1995) Stockholm Workshop 94. Hand-arm vibration syndrome: diagnostics and quantitative relationships to exposure. *Arbete och Hälsa* 5, 1-199.
71. Gemne G, Kihlberg S (1990) *Vibration-perception changes in the carpal bones after work with a grinder and a chipping hammer*. In: Okada A, Taylor W, Dupuis H eds. Hand-Arm Vibration. Pp 97-99, Kanazawa, Japan: Kyoei Press.
72. Gemne G, Lindström R, Hansson J-E (1992) Skador och besvär av arbete med handhållna vibrerande maskiner. Kunskapsöversikt för kriteriedokumentation. *Arbete och Hälsa* 49.
73. Gemne G, Lundström R (1995) ISO 5349: validity of frequency-weighting and model for white finger risk prediction. In: Gemne G, Brammer AJ, Hagberg MJ, Lundström R, Nilsson T, eds. Proceedings of Stockholm Workshop 94. Hand-arm vibration syndrome: diagnostics and quantitative relationships to exposure. Solna: National Institute of Occupational health. *Arbete och Hälsa* 5, 33-45.
74. Gemne G, Lundström R (1996) Evaluation of the white finger risk prediction model in ISO 5349 suggests need for prospective studies. *Cent Eur J Public Health*, 4(2), 137-9.
75. Gemne G, Nilsson T (1995) *Kommentar till konsensus-uttalande om vita fingrars reversibilitet*. In: Gemne G, Brammer AJ, Hagberg M, Lundström R, Nilsson T eds. Stockholm Workshop 94. Hand-arm vibration syndrome: diagnostics and quantitative relationships to exposure. *Arbete och Hälsa* 5. Pp 184-185, Stockholm: Arbetsmiljöinstitutet.
76. Gemne G, Pyykkö I, Inaba R (1992) *Finger blood flow reaction to iontophoresis of metacholine and nitroprussid in chain-sawyers with and without white fingers*. In: Dupuis H, Christ E, Sandover DJ, Taylor W, Okada A eds. Proceedings of the 6th International Conference on Hand-Arm Vibration. Pp 115-123, Bonn: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin, Germany.
77. Gemne G, Pyykkö I, Starck J, Ilmarinen R (1986) Circulatory reaction to heat and cold in vibration-induced white finger with and without sympathetic blockade - An experimental study. *Scand J Work Environ Health*, 12, 371-377.
78. Gemne G, Pyykkö I, Taylor W, Pelmeur P (1987) The Stockholm Workshop scale for the classification of cold-induced Raynaud's phenomenon in the hand-arm vibration syndrome (revision of the Taylor-Pelmeur scale). *Scand J Work Environ Health*, 13, 275-278.

79. Gemne G, Saraste H (1987) Bone and joint pathology in workers using hand-held vibrating tools. *Scand J Work Environ Health*, 13, 290-300.
80. Greenstein D, Kester RC (1997) The hemorheologic effects of hand-transmitted vibration. *Angiology*, 48(9), 813-819.
81. Griffin M (1982) *The effects of vibration on health*. I.S.V.R. Memorandum 632: University of Southampton, Institute of Sound and Vibration Research, United Kingdom.
82. Griffin MJ (1997) Measurement, evaluation, and assessment of occupational exposures to hand-transmitted vibration. *Occupational and Environmental Medicine*, 54(2), 73-89.
83. Griffin MJ (1998) Evaluating the effectiveness of gloves in reducing the hazards of hand-transmitted vibration. *Occupational and Environmental Medicine*, 55(5), 340-348.
84. Hagbarth K, Eklund G (1965) *Motor effects of vibratory muscle stimuli in man*. In: Granit R ed. *Muscular Afferents and Motor Control*. Pp 177-186, New York: John Wiley & Sons.
85. Hagberg M, Hansson-Risberg E, Jorulf L, Lindstrand O, Milosevich B, Norlin D, Thomasson L, Widman L (1990) Höga risker för besvär i händerna för vissa yrkesgrupper. *Läkartidningen*, 87, 201-205.
86. Hagberg M, Morgenstern H, Kelsh M (1992) Impact of occupations and job tasks on the prevalence of carpal tunnel syndrome. *Scand J Work Environ Health*, 18, 337-345.
87. Hamilton A (1918) *A study of spastic anemia in the hands of stone cutters*. Industrial Accidents and Hygiene Series 19, Bulletin 236. Pp 53-123, Washington: Bureau of Labour Statistics, US Department of Labour.
88. 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 Ind Ergonom*, 8, 125-134.
89. Hedlund U (1989) Raynaud's phenomenon of fingers and toes of miners exposed to local and whole-body vibration and cold. *Int Arch Occup Environ Health*, 61, 457-61.
90. Heinson E, Färkkilä M, Forsström J, Antila K, Jalonen J, Korhonen O, Pyykkö I (1987) Autonomic neuropathy and vibration exposure in forestry workers. *Brit J Ind Med*, 44, 412-416.
91. Hempstock T, O'Connor D (1975) Evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration. *Appl Acoust*, 8, 87-99.
92. Hempstock T, O'Connor D (1975) *The measurement of hand-arm vibration*. In: Taylor W, Pelmear P eds. *Vibration White Finger in Industry*. Pp 111-122, London: Academic Press.
93. Hjortsberg U, Rosén I, Ørbæk P, Lundborg G, Balogh I (1989) Finger receptor dysfunction in dental technicians exposed to high-frequency vibration. *Scand J Work Environ Health*, 15, 339-344.
94. Hjortsberg U, Rosén I, Ørbæk P, Lundborg G, Balogh I (1990) Finger receptor dysfunction in dental technicians exposed to high frequency vibration. *5th International Conference on Hand-Arm Vibration*, Kanazawa, Japan. Kyoei Press, 1990: 29-30.
95. Hochreiter N, Jewell M, Barber L, Browne P (1983) Effect of vibration on tactile sensitivity. *Phys Ther*, 63, 934-937.
96. Hutchinson J (1901) Raynaud's Phenomenon. *Med Press*, 123, 403-409.
97. Iki M, Kurumatani K, Hirata K, Moriyama T, Satoh M, Arai T (1986) Association between vibration-induced white finger and hearing loss in forestry workers. *Scand J Work Environ Health*, 12, 365-370.
98. Iki M, Kurumatani N, Satoh M, Matsuura F, Arai T, Ogata A, Moriyama T (1989) Hearing of forest workers with vibration-induced white finger: a five-year follow-up. *Int Arch Occup Environ Health*, 61, 437-442.
99. Ishida K, H I, Ohno T (1986) *Report on treatment of vibration disease*. Ad hoc Committee of Vibration Disease.

100. Ishitake T, Kihara T, Matoba T (1995) Application of Stockholm Criteria to patients with hand-arm vibration syndrome in a follow-up study. *Central European Journal of Public Health*, 3(Supplement), 31-33.
101. ISO 5349 (1986) *Mechanical vibration - Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration*. Geneva: International Organization for Standardization.
102. ISO/DIS 5349-1 (1999) *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 1: General guidelines*. Geneva: International Organization for Standardization.
103. ISO/DIS 5349-2 (1999) *Mechanical vibration – Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration – Part 2: Practical guidance for measurement in the workplace*. Geneva: International Organization for Standardization.
104. ISO/DIS 13091 (1999) *Mechanical vibration - Vibrotactile perception threshold for the assessment of nerve dysfunction - Part 1: Test methods for measurement at the fingertips*. Geneva: International Organization for Standardization.
105. ISO/DIS 13091-1 (2000) *Mechanical vibration - Vibrotactile perception threshold for the assessment of nerve dysfunction - Part 1: Test methods for measurement at the fingertips*. Draft International Standard, Geneva: International Organization for Standardization.
106. Iwata H, Makimo S (1987) Prevalence of Raynaud's phenomenon in individuals not using vibrating tools. *Sangyo Igaku*, 29, 500-503.
107. James P, Yates J, Pearson J (1975) *An investigation of the prevalence of bone cysts in hands exposed to vibration*. In: Taylor W, Pelmeur P eds. *Vibration White Fingers in Industry*. Pp 43-52, London: Academic Press.
108. Janlert U (2000) *Folkhälsovetenskapligt Lexikon*. Stockholm: Bokförlaget Natur och Kultur.
109. Johansson R, Westling G (1984) Roles of glabrous skin receptors and sensorimotor memory in automatic control of precision grip when lifting rougher or more slippery objects. *Exp Brain Res*, 56, 550-564.
110. Kellgren J, Lawrence J (1952) Rheumatism in miners: Part 2 X-ray study. *Brit J Ind Med*, 9, 197-209.
111. Kelsey J, Thompson W, Evans A (1986) *Methods in Observational Epidemiology*. (Vol. 10) Monographs in Epidemiology and Biostatistics. Oxford: Oxford University Press.
112. Kent DC, Allen R, Bureau P, Cherniack M, Hans J, Robinson M (1998) Clinical evaluation of hand-arm-vibration syndrome in shipyard workers: sensitivity and specificity as compared to Stockholm classification and vibrometry testing. *Conn Med*, 62(2), 75-83.
113. Kihlberg S, Hagberg M (1997) Hand-arm symptoms related to impact and nonimpact hand-held power tools. *Int Arch Occup Environ Health*, 69, 282-288.
114. Kivekäs J, Riihimäki H, Husman K, Hänninen K, Härkönen H, Kuusela T, Pekkarinen M, Tola S, Zitting AJ (1994) Seven-year follow-up of white finger symptoms and radiographic wrist findings in lumberjacks and referents. *Scand J Work Environ Health*, 20(2), 101-106.
115. Kleinbaum D, Kupper L, Morgenstern H (1982) *Epidemiological Research. Principles and Quantitative Methods*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
116. Koskimies K, Pyykkö I, Starck J, Inaba R (1992) Vibration syndrome among Finnish forest workers between 1972 and 1990. *Int Arch Occup Environ Health*, 64(4), 251-6.
117. Kurozawa Y, Nasu Y, Nose T (1991) Diagnostic value of finger systolic blood pressure in the assessment of vasospastic reactions in the finger skin of vibration-exposed subjects after finger and body cooling. *Scand J Work Environ Health*, 17, 184-189.
118. Kylin B, Gerhardsson G, Hansson J-E, Lidström I, Liljenberg B, Swenson Å, Åstrand I (1968) *Hälsa- och miljöundersökning bland skogsarbetare*. AI-rapport 5, Stockholm: Arbetsmedicinska Institutet.
119. Landsorganisationen i Sverige (1996) Färre och hårdare jobb? En enkätundersökning bland LO:s medlemmar om arbetsmiljön.

120. Last JM (1995) *A dictionary of epidemiology (3rd edition)*. (3rd ed.) . Oxford: Oxford University Press.
121. Leppert J (1989) *Primary Raynaud's phenomenon in women. Epidemiological, clinical and therapeutic aspects*. Uppsala: Acta Universitatis Upsaliensis, Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Medicine, 223.
122. Lewis T (1929) Experiments relating to the peripheral mechanism involved in the spasmodic arrest of the circulation in the fingers. *Heart*, 15, 7-101.
123. Lidström I-M (1974) Lokala vibrationers inverkan på övre extremiteterna. *Arbete och Hälsa* 8.
124. Lidström I-M (1976) *Vibration injury among rock drillers, chiselers, and grinders: some views on the relationship between the quantity of energy absorbed and the risk of injury*. In: Korhonen O ed. *Vibration and Work. Proceedings of the Finnish-Soviet-Scandinavian Vibration Symposium in Helsinki, 10-13 March 1975*. Pp 81-88, Helsinki, Finland: Institute of Occupational Health.
125. Lidström I-M (1977) *Vibration injury in rock drillers, chiselers, and grinders. Some views on the relationship between the quantity of energy absorbed and the risk of occurrence of vibration injury*. In: Wassermann D, Taylor W, Curry M eds. *Proceedings of the International Occupational Hand-Arm Vibration Conference*. Pp 77-83, Cincinnati, Ohio, USA: DHEW (NIOSH) Publication No. 77-170.
126. Lindblad LE, Ekenvall L (1990) Alpha₂-adrenoceptor inhibition in patients with vibration white fingers. *Kurume Med J (Suppl)*, 37, 95-99.
127. Ljung B, Hallbäck M, Sivertson R, Folkow B (1977) Oxygen consumption and contractile force during vibrations of cat soleus muscle. *Acta Physiol Scand*, 100, 347-353.
128. Louda L (1990) Assessment and standard on hand-transmitted vibration. *Hand-Arm Vibration*, Kanazawa, Japan. Kyoei Press, 1990: 341-343.
129. Lundborg G (1987) Nerve regeneration and repair. A review. *Acta Orthop Scand*, 58, 145-169.
130. Lundborg G, Dahlin L, Danielsen N, Hansson H, Necking L, Pyykkö I (1987) Intraneural edema following exposure to vibration. *Scand J Work Environ Health*, 13, 326-329.
131. Lundborg G, Sollerman C, Strömberg T, Pyykkö I, Rosén B (1987) A new principle for assessing vibrotactile sense in vibration-induced neuropathy. *Scand J Work Environ Health*, 13, 375-9.
132. Lundström R (1985) Effects of local vibration transmitted from ultrasonic devices on vibrotactile perception in the hands of therapist. *Ergonomics*, 28, 793-803.
133. Lundström R, Hagberg M, Johansson K, Lindmark A, Nilsson T (1991) Handens känsel-funktion hos plåtslagare och montörer utsatta för vibrationer. *Arbete och Hälsa* 42.
134. Lundström R, Johansson R (1986) Acute impairment of the sensitivity of skin mechanoreceptive units caused by vibration exposure of the hand. *Ergonomics*, 29, 687-698.
135. Lundström R, Lindmark A (1982) Effects of local vibration on tactile perception in the hands of dentists. *J Low Freq Noise Vibration*, 1, 1-11.
136. Lundström R, Lindmark A (1983) Känsligheten för vibrationer bland tandläkare exponerade för lokala vibrationer med höga frekvenser. *Arbete och Hälsa* 1.
137. Lundström R, Lindmark A (1991) Akuta effekter på handens känsel efter exponering för stötformade vibrationer. *Arbete och Hälsa* 22.
138. Lundström R, Nilsson T, Burström L, Hagberg M (1999) Exposure-response relationship between hand-arm vibration and vibrotactile perception sensitivity. *Am J Ind Med*, 35(5), 456-64.
139. Macdonald G, Robertson M, Erickson J (1988) Carpal tunnel syndrome among Californian dental hygienists. *Dent Hyg (Chic)*, 62, 322-327.
140. Maeda S (1994) Temporary threshold shifts in fingertip vibratory sensation from hand-transmitted vibration. *Nagoya Journal of Medical Science*, 57(Suppl), 185-193.

141. Margolis W, Kraus J (1987) The prevalence of carpal tunnel syndrome symptoms in female supermarket checkers. *J Occup Med*, 12, 953-961.
142. Matanoski G (1988) *Issues in the measurement of exposure. Epidemiology and Health Risk Assessment*. In: Gordis L ed. Pp 107-119, Oxford: Oxford University Press.
143. McGeoch KL, Gilmour WH, Taylor W (1994) Sensorineural objective tests in the assessment of hand-arm vibration syndrome. *Occupational and Environmental Medicine*, 51, 57-61.
144. McGeoch KL, Welsh CL (1995) Results of independent medical interview and examination in the diagnosis and assessment of hand-arm vibration syndrome. *Cent Eur J Pub Hlth*, 3(Supplement), 107-108.
145. Mirbod S, Inaba R, Iwata H (1992) A study on the vibration-dose limit for Japanese workers exposed to hand-arm vibration. *Ind Health (Japan)*, 30, 1-22.
146. Miwa T (1968) Evaluation methods for vibration effects. Part 4: Measurement of vibration greatness for whole-body and hand in vertical and horizontal vibration. *Ind Health (Japan)*, 6, 1-10.
147. Miyashita K, Thiede R, Stelling J, Hartung E, Dupuis H (1992) *Subjective vibration equal sensation under single or multiaxial vibration exposure*. In: Dupuis H, Christ E, Sandover DJ, Taylor W, Okada A eds. Proceedings of the 6th International Conference on Hand-Arm Vibration. Pp 86, Bonn: Berufsgonossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin, Germany.
148. Miyashita K, Tomida K, Morioka I, Sasaki T, Iwata H (1998) Health surveillance of forestry workers exposed to hand-arm vibration in Wakayama from 1974 to 1996. *Industrial Health*, 36(2), 160-165.
149. Moberg E (1962) Criticism and study of methods for examining sensibility in the hand. *Neurol*, 12, 8-19.
150. Necking LE, Dahlin LB, Fridén J, Lundborg G, Lundström R, Thornell LE (1992) Vibration-induced muscle injury. An experimental model and preliminary findings. *J Hand Surg*, 17B, 270-274.
151. Necking LE, Lundström R, Dahlin LB, Lundborg G, Thornell LE, Fridén J (1996) Tissue displacement is a causative factor in vibration-induced muscle injury. *J Hand Surg*(6B), 753-757.
152. Necking LE, Lundström R, Lundborg G, Thornell LE, Fridén J (1996) Skeletal muscle changes after short term vibration. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg*, 30(2), 99-103.
153. Nelson C, Griffin M (1990) *Investigation into vibration-induced white finger in dockyard employees*. Technical report 170: Institute of Sound and Vibration Research, Southampton, United Kingdom.
154. Nelson C, Griffin M (1992) *Comparison of predictive models for vibration-induced white finger*. In: Dupuis H, Christ E, Sandover DJ, Taylor W, Okada A eds. Proceedings of the 6th International Conference on Hand-Arm Vibration. Pp 875-881, Bonn: Berufsgonossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin, Germany.
155. Nelson C, Griffin M (1992) *Development of a predictive model for vibration-induced white finger*. In: Dupuis H, Christ E eds. Abstracts of the 6th International Conference on Hand-Arm Vibration. Pp 151, Bonn: Berufsgonossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin, Germany.
156. Nielsen SL, Olsen NA (1977) Measurement of digital blood pressure after local cooling. *J Appl Physiol*, 43, 907-10.
157. Nilsson T (1998) Neurosensory function and white finger symptoms in relation to work and hand-transmitted vibration. (Avhandling). *Arbete och Hälsa*, 29.
158. 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.

159. Nilsson T, Hagberg M, Burström L, Kihlberg S (1994) Impaired nerve conduction in the carpal tunnel of platers and truck assemblers exposed to hand-arm vibration. *Scand J Work Environ Health*, 20, 189-199.
160. Nilsson T, Hagberg M, Burström L, Kihlberg S, Lundström R (1992) *Risk assessment of impaired nerve conduction at the carpal tunnel in relation to vibration exposure among platers and assemblers*. In: Dupuis H, Christ E, Sandover DJ, Taylor W, Okada A eds. Proceedings of the 6th International Conference on Hand-Arm Vibration. Pp 395-402, Bonn: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin, Germany.
161. NIOSH (1989) *Occupational Exposure to Hand-Arm Vibration. Criteria for a Recommended Standard*. Cincinnati, Ohio: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Division of Standards Development and Technology Transfer, USA, DHHS (NIOSH) Publication No. 89-106.
162. Nishiyama K, Watanabe S (1981) Temporary threshold shift of vibratory sensation after clasping a vibrating handle. *Int Arch Occup Environ Health*, 49, 21-23.
163. Norell S (1987) *Epidemiologisk metodik. Studieuppläggning, tillförlitlighet, effektivitet*. Lund: Studentlitteratur.
164. Olsen N (1988) *Vibration-induced white finger. Physiological and clinical aspects (Thesis)*. Köpenhamn: Laegeforeningens Forlag.
165. Olsen N (1990) Hyperactivity of the central sympathetic nervous system in vibration-induced white finger. *Kurume Med J (Suppl)*, 37, 109-116.
166. Olsen N, et al. (1995) *Clinical and laboratory diagnostics of vascular symptoms induced by hand-arm vibration. Report from discussions in a working group*. In: Gemne G, Brammer AJ, Hagberg M, Lundström R, Nilsson T eds. Stockholm Workshop 94. Hand-arm vibration syndrome: Diagnostics and quantitative relationships to exposure. Vol. Arbete och Hälsa 5. Pp 181-186, Stockholm: Arbetsmiljöinstitutet.
167. Olsen N, Nielsen S (1979) Diagnosis of Raynaud's phenomenon in quarrymen's traumatic vasospastic disease. *Scand J Work Environ Health*, 5, 249-256.
168. Palmer KT, Coggon DN (1997) Deficiencies of the Stockholm vascular grading scale for hand-arm vibration. *Scand J Work Environ Health*, 23, 435-439.
169. Pelmeur P, Leong D, Taylor W, Nagaligam M, Fung D (1990) *Hand-arm vibration syndrome health effects and safety standards*. In: Okada A, Taylor W, Dupuis H eds. Proceedings of the 5th International Conference on Hand-Arm Vibration. Pp 63-66, Kanazawa, Japan: Kyoei Press.
170. Pelmeur P, Taylor W, Pearson J (1975) *Raynaud's Phenomenon in grinders*. In: Taylor W, Pelmeur P eds. Vibration White Fingers in Industry. Pp 21-30, London: Academic Press.
171. Petersen R, Andersen M, Mikkelsen S, Nielsen SL (1995) Prognosis of vibration induced white finger: a follow up study. *Occupational and Environmental Medicine*, 52(2), 110-115.
172. Pontén B (1988) *Skogsanställdas hälsa och arbete. - Resultat från undersökningar gjorda i samarbete med 24 företagshälsovårder under 1980-1987*. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för Skogsteknik, Uppsatser och resultat 125.
173. Pyykkö I (1974) A physiological study of the vasoconstrictor reflex in traumatic vasospastic disease. *Work-environm-hlth*, 11, 170-186.
174. Pyykkö I, Gemne G, Kolari P, Starck J, Ilmarinen R, Aalto H (1986) Vasomotor oscillation in vibration-induced white finger. *Scand J Work Environ Health*, 12, 389-394.
175. Pyykkö I, Sairanen E, Korhonen O, Färkkilä M, Hyvärinen M (1978) A decrease in the prevalence and severity of vibration-induced white fingers among lumberjacks in Finland. *Scand J Work Environ Health*, 4, 246-254.
176. Pyykkö I, Starck J (1982) Vibration syndrome in the etiology of occupational hearing loss. *Acta Otolaryngol* 386, Suppl, 296-300.

177. Pyykkö I, Starck J, Färkkilä M, Hoikkala M, Korhonen O, Nurminen M (1981) Hand-arm vibration in the aetiology of hearing loss in lumberjacks. *Br J Ind Med*, 38, 281-289.
178. Radin E, Parker H (1973) Response of joints to impact loading - III. Relationship between trabecular microfeatures and cartilage degeneration. *J Biomechanics*, 6, 51-57.
179. Raynaud M (1862) *L'asphyxie locale et de gangrène symétrique des extrémités. (Lokal syrebrist och symmetriskt gangrän i extremiteterna)*. Paris: Ringoux.
180. Rehm S (1982) Chronische Wirkungen auf das Knochen- und Gelenksystem. Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm System. Forschungsbericht 348w. *Expertenkolloquium 1982*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund, 1982: 19-28.
181. Riddle H, Taylor W (1982) *Vibration-induced white fingers among chain sawyers nine years after the introduction of anti-vibration measures*. In: Brammer A, Taylor W eds. *Vibration Effect of the Hand and Arm in Industry*. Pp 169-172, New York: John Wiley & Sons.
182. Robbins H (1963) Anatomical study of median nerve in carpal canal and etiologies of carpal tunnel syndrome. *J Bone Joint Surg*, 45, 953-966.
183. Rosén I, Strömberg T, Lundborg G (1993) Neurophysiological investigation of hands damaged by vibration: Comparison with idiopathic carpal tunnel syndrome. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand*, 27, 209-216.
184. Sakakibara H (1994) Sympathetic responses to hand-arm vibration and symptoms of the foot. *Nagoya J Med Sci*, 57(May), 99-112.
185. Sakakibara H (1998) *Pathophysiology and pathogenesis of circulatory, neurological, and musculoskeletal disturbances in hand-arm vibration syndrome*. In: Pelmeur PL, Wasserman DE eds. *Hand-arm vibration. A comprehensive guide for occupational health professionals*. Pp 45-72, Beverly Farms, Massachusetts: OEM Press.
186. Sakakibara H, Akamatsu Y, Miyao M, Kondo T, Furuta M, Yamada S, Harada N, Miyake S, Hosokawa M (1988) Correlation between vibration-induced white fingers and symptoms of upper and lower extremities in vibration syndrome. *Int Arch Occup Environ Health*, 60, 285-289.
187. Sakakibara H, Hashiguchi M, Furuta M, Kondo T, Miyao M, Yamada S (1990) *Skin temperature of the limbs in patients with vibration syndrome*. In: Okada A, Taylor W, Dupuis H eds. *5th International Conference on Hand-Arm Vibration*. Pp 249-251, Kanazawa, Japan: Kyoei Press.
188. Sakakibara H, Miyao M, Nakagawa T, Yamada S, Kobayashi F, Ono Y, Iwata M, Hisanaga N, Momoi N (1984) Vibration hazards in quarry workers. *Jap J Ind Health*, 26, 170-176.
189. SCB OsoS (1997) *Living conditions and inequality in Sweden - a 20-year perspective 1975-1995. Statistics Sweden 91*.
190. Scheffer M, Dupuis H (1989) Effects of combined hand-arm vibration and cold on skin temperature. *Int Arch Occup Environ Health*, 61, 375-378.
191. Silverstein B, Fine L (1987) Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *Am J Ind Med*, 11, 343-358.
192. Skoglund C (1989) Vasodilatation in human skin induced by low-amplitude high-frequency vibration. *Clin Physiol*, 9, 361-372.
193. Skoglund C, Knutsson E (1985) Vasomotor changes in human skin elicited by high frequency low amplitude vibration. *Acta Physiol Scand*, 125, 335-336.
194. Smith E, Sonstergard D, Anderson W (1977) Carpal tunnel syndrome: contribution of the flexor tendons. *Arch Phys Med Rehabil*, 53, 379-385.
195. SS-ISO 5349 (1986) *Vibration och stöt - Riktlinjer för mätning och bedömning av vibrationer som överförs till handen. (Svensk översättning av ISO 5349, 1986)*. Svensk Standard, Stockholm: SIS - Standardiseringskommisionen i Sverige.

196. Starck J (1984) High impulse acceleration levels in hand-held vibratory tools. An additional factor in the hazards associated with the hand-arm vibration syndrome. *Scand J Work Environ Health*, 10, 171-178.
197. Starck J, Pekkarinen J, Chun LC (1990) Transmission of vibration from tool handle to wrist and head. *Kurume Med J* 37, Suppl, S1-S11.
198. Starck J, Pekkarinen J, Pyykkö I (1990) *Vibration as a contributing factor for the sensory-neural hearing loss*. In: Okada A, Taylor W, Dupuis H eds. Hand-Arm Vibration. Pp 23-27, Kanazawa, Japan: Kyoei Press.
199. Starck J, Pyykkö I (1986) Impulsiveness of vibration as an additional factor in the hazards associated with hand-arm vibration. *Scand J Work Environ Health*, 12, 323-326.
200. Starck J, Pyykkö I, Koskemies K, Pekkarinen J (1994) Vibration exposure and prevention in Finland. *Nagoya J Med Sci*, 57(May), 203-210.
201. Stelling J, Dupuis H (1996) Different acute effects of single-axis and multi-axis hand-arm vibration. *Int Arch Occup Environ Health*, 68(4), 236-242.
202. Strömberg T, Dahlin LB, Brun A, Lundborg G (1997) Structural nerve changes at wrist level in workers exposed to vibration. *Occupational and Environmental Medicine*, 54, 307-311.
203. Strömberg T, Dahlin LB, Lundborg G (1996) Hand problems in 100 vibration-exposed symptomatic male workers. *J Hand Surg*, 21B(3), 315-319.
204. Suzuki H, Iwasaki S (1990) Effects of the reduction of chain saw on the prevalence rates of vibration syndrome among forestry workers. *J Ind Health (Japan)*, 38, 18-25.
205. Takeuchi T, Futatsuka M, Imanishi H, Yamada S (1986) Pathological changes observed in the finger biopsy of patients with vibration-induced white finger. *Scand J Work Environ Health*, 12, 280-283.
206. Tanaka M, Nakamura K, Sato K, Tanaka K (1997) Influence of local vibration on finger functions of forest workers. *Industrial Health*, 35, 337-342.
207. Tanaka S, Wild DK, Cameron LL, Freund E (1997) Association of occupational and non-occupational risk factors with the prevalence of self-reported carpal tunnel syndrome in a national survey of the working population. *Am J Ind Med*, 32(5), 550-556.
208. Taylor W, Pearson J, Keighley G (1977) *A longitudinal study of Raynaud's phenomenon in chain saw operators*. In: Wassermann D, Taylor W, Curry M eds. Proceedings of the International Occupational Hand-Arm Vibration Conference. Pp 69-78, Cincinnati, Ohio, USA: DHEW (NIOSH) Publication No. 77-170.
209. Taylor W, Pelmear P (1975) *Vibration White Fingers in Industry*. London: Academic Press.
210. Taylor W, Pelmear P, Hempstock T, O'Connor D, Kitchener R (1975) *Correlation of epidemiological data and the measured vibration*. In: Taylor W, Pelmear P eds. *Vibration White Finger in Industry*. Pp 123-134, London: Academic Press.
211. Taylor W, Pelmear P, Pearson J (1975) *Vibration-induced white finger epidemiology*. In: Taylor W, Pelmear P eds. *Vibration White Finger in Industry*. Pp 1-13, London: Academic Press.
212. Taylor W, Wasserman D, Behrens V, Reynolds D, Samueloff S (1984) Effect of the air hammer on the hands of stone-cutters. The limestone quarries of Bedford, Indiana, revisited. *Brit J Ind Med*, 41, 289-295.
213. Thonnard J-L, Masset D, Penta M, Piette A, Malchaire J (1997) Short-term effect of hand-arm vibration exposure on tactile sensitivity and manual skill. *Scand J Work Environ Health*, 23, 193-198.
214. Tiffin J, Asher EJ (1948) The Purdue Pegboard: norms and studies of reliability and validity. *J Appl Psychol*, 32, 234-47.
215. Toibana N, Ishikawa N, Sakakibara H, Yamada S (1994) Raynaud's phenomenon of fingers and toes among vibration-exposed patients. *Nagoya J Med Sci*, 57(May), 121-128.

216. Tominaga Y (1982) *Dose-response relation for the vibration syndrome*. In: Brammer A, Taylor W eds. *Vibration Effects on the Hand and Arm in Industry*. Pp 277-281, New York: John Wiley & Sons.
217. Toomingas A, Nilsson T, Hagberg M, Lundström R (1999) Predictive aspects of the abduction external rotation test among male industrial and office workers. *Am J Ind Med*, 35, 32-42.
218. Viikari-Juntura E, Silverstein B (1999) Role of physical load factors in carpal tunnel syndrome. *Scand J Work Environ Health*, 25(3), 169-85.
219. Walton K (1974) *The pathology of Raynaud's phenomenon of occupational origin*. In: Taylor W ed. *The Vibration Syndrome*. Pp 109-119, London: Academic Press.
220. Westling G, Johansson S (1987) Responses in glabrous skin mechanoreceptors during precision grip in humans. *Exp Brain Res*, 66, 128-40.
221. Wieslander G, Norbäck D, Edling C (1996) Local cold exposure of the hands from cryosectioning work in histopathological and toxicological laboratories: signs and symptoms of peripheral neuropathy and Raynaud's phenomemo. *Occupational and Environmental Medicine*, 53(4), 276-280.
222. Wieslander G, Norbäck D, Göthe C, Juhlin L (1989) Carpal tunnel syndrome (CTS) and exposure to vibration, repetitive wrist movements, and heavy manual work: a case-referent study. *Brit J Ind Med*, 46, 43-47.
223. Willekens F, Vermeer G, Idema W, Merrelaar J (1991) Das Hypothenar-Hammer-Syndrom. *Vasa*, 20, 95-99.
224. Williams N, Riegert A (1961) Raynaud's phenomenon of occupational origin in uranium miners. *US Exec Comm of 13th Int Congr Occup Health*, 819-825.
225. Xu Z, Ding M (1990) *The characteristic of vibration on grind and the prevalence of VWF among grinders*. In: Okada A, Taylor W, Dupuis H eds. *Hand-Arm Vibration*. Pp 315-317, Kanazawa, Japan: Kyoei Press.
226. Yonekawa Y (1994) Technical preventive measures in Japan. *Nagoya J Med Sci*, 57(May), 219-228.
227. Zufferey P, Depairon M, Essinger A (1992) Syndrome hypothénarien du marteau: etiologie peu connue de phénomène de Raynaud secondaire. *Schweiz Med Wochenschr*, 122, 33-37.
228. Östman F, Lundborg G, Bornmyr S, Lilja B (1996) Is vibration-induced white finger a reversible syndrome if vibration is stopped? *J Hand Surg*, 21B(6), 750-752.

14.Index

- Abduction external rotation, 28
- acetylcholin, 24
- ackordarbete, 31
- ackumulerad exponeringstid, 36
- adrenerga systemet, 23
- AER-test, 28
- AFS 86 7, 45
- aktin, 29
- akuta effekter, 9
- akuteffekter, 55
- akutpåverkan, 4
- alfa₁-receptorer, 23
- alfa₂-receptorer, 23
- alkoholneuropati, 43
- alternativ riskbedömningsmodell, 50
- Annex A, 54, 55
- anställningsundersökningar, 56
- antropometriska faktorer, 54
- arbetets art, 32
- arbetsmetoder, 44
- arbetsorganisation, 31
- arbetsplatsens temperatur, 37
- arbetsprocesser, 51, 55, 58
- arbetsstycket, 32
- arbets sätt, 44, 55, 58
- arbetstakt, 7
- arbetsteknik, 31, 44
- armbåge, 49
- armbågsled, 6, 22
- artros, 6, 21, 28
- autonoma nervsystemet, 23
- avbrott i exponeringen, 55
- avbrott i vibrationsexponeringen, 58
- avsaknad av köldexponering, 30

- balans, 32
- behandling, 13
- beklädnad, 7
- belastning, 5, 21, 26, 28
- belastningsfaktorer, 26
- belastningsskador, 58
- ben, 21
- benskador, 22
- bergborrar, 17, 35, 41
- bergborrare, 37, 40
- beröringssinnet, 17, 20
- besvärsobjektivering, 58
- betongarbetare, 6, 19, 22
- bias, 15, 27, 41, 58
- billackerare, 6
- bilmekaniker, 5
- bilplåtslagare, 6
- biodynamiska och biomekaniska faktorer, 55, 58
- biologiska faktorer, 20
- blodets viskositet, 24
- blodflödesökning, 25

- blodkärlen i fingerhuden, 9
- blodkärlsutvidgning, 31, 53
- borrmaskiner, 5, 33, 36
- borrning, 37
- BS 6842, 39, 41, 53
- buller, 9, 14, 30
- bullerexponerade, 28
- böjning och rotation i ryggraden, 43

- cirkulationsstörning, 9
- confounding-faktorer, 14, 58
- COP, 13, 39
- critical opening pressure, 13

- degeneration, 29
- demyelinisering, 25
- diabetes, 15, 43, 56
- diagnostik, 20, 58
- diagnostiska metoder, 3, 4, 58
- differentialdiagnoser, 58
- diffust utbredd neuropati, 25, 27
- diskbräck, 58
- djurförsök, 29
- djurstudier, 25
- dominant och icke-dominant hand, 43
- dominerande riktning, 50
- domning, 10
- domningar, 6, 17, 18
- dosmått, 35

- EDRF, 24
- effektiv exponering, 3, 44, 51
- effektiv exponeringstid, 34, 39
- effektiv vibrationsexponering, 37
- effektivvärden, 33
- effektmodifierare, 58
- ekvivalent 8-timmars frekvensvägd acceleration, 49
- elastiska system, 53
- elektriker, 6, 19, 22, 39
- elektrodiagnostiska fynd, 26
- endotelet, 24
- endothelium-derived relaxing factor, 24
- energiabsorption, 37, 53
- energiekvivalent frekvensvägd acceleration, 39
- enkäter, 3, 26, 42
- enkätundersökning, 5, 6
- epidemiologisk validitet, 3
- epidemiologiska, 4
- ER 5349, 32-34, 38, 39, 42, 47, 48, 50, 52
- ergonomiska arbetsfaktorer, 26
- ergonomiska faktorer, 18, 26, 27, 44, 58
- ersättning, 13, 15

EU-direktiv
 fysikaliska arbetsmiljöfaktorer, 40
 fysikaliska faktorer, 49
 maskinsäkerhetsdirektivet, 35, 49
 excentricitet i slipmaskiner, 38
 exponeringens karaktär, 57
 exponeringens varaktighet, 51
 exponering-respons-relationer, 55, 58
 exponering-respons-samband, 3, 37, 38, 41, 42, 44, 50, 54
 exponeringsbegränsning, 55
 exponeringsdos, 36, 51
 exponeringsgränsvärden, 55
 exponerings-respons-förhållande, 43
 exponeringsskattning, 35
 exponeringströskel, 51
 exponeringsvaraktighet, 49
 exponeringsändringar över tid, 44
 extrema handledsställningar, 26, 27

falskt negativa, 21
 falskt positiva, 21
 fenolhartsbundna slipkorn, 32
 fibros, 27
 fibrotiseringen, 24
 fingerblodflöde, 52
 fingerblodtryck, 13, 15, 58
 fingerböjsenorna, 26, 27
 fingerhudsbiosier, 24, 25
 finmotorik, 10, 18
 finmotoriska arbeten, 10
 flygindustri, 52
 flygindustriarbetare, 35
 fotvibrationer, 17
 frekvensvägning, 51, 55
 fumlighet, 18
 funktionell störning lokaliserad till
 fingerhuden, 23
 fyra-timmarsekvivalent acceleration, 35
 fyra-timmarsekvivalenta frekvensvägda
 accelerationsvärden, 35
 fysioterapi, 13
 fysiska belastningsfaktorer, 19

grepp, 5, 19, 26, 27, 28, 32
 grepp- och matningskrafter, 53, 57
 greppkraft, 10
 Griffins symptomskala, 51
 gruvarbetare, 16, 17, 21, 36
 gränsvärde, 49
 gränsvärden, 14, 45
 grävarbetare, 35

hand-arm-ställningar, 53
 hand-arm-vibrationssyndrom, 13, 55
 handkraft, 32
 handled, 6, 22, 27, 49
 handledsflexion, 19
 handledssmärta, 27
 handskar, 30, 37
 handställningar, 6

hands-up-ställning, 28
 handtag, 39
 healthy worker-effekt, 34, 37, 41
 hjärtat, 23
 hjärtsjukdom, 15
 hudtemperatur, 30, 49
 huggare, 7, 30
 hypotenara hammarsyndromet, 16
 hälsoundersökningar, 56
 hälsovård, 7
 höga accelerationstoppar, 42
 höga frekvenser, 44, 52, 55, 58
 höga toppvärden, 32
 högfrekvensborrar, 42
 högfrekvent energiinnehåll, 34
 högfrekventa slående maskiner, 22
 högfrekventa vibrationer, 22, 42
 högt blodtryck, 15
 hörselnedsättning, 28

icke-absorberad energi, 53
 icke-slående maskiner, 22
 impulsindex, 33
 impulstyp, 55
 individrelaterade faktorer, 26
 individuell känslighet, 30
 innerörat, 28
 intensitet, 57
 intermittent exponering, 34
 internationell standard, 54
 interventionstyp, 58
 iontofores, 23
 ischiasnerven, 25
 ISO, 14, 21, 37
 ISO 5349, 32, 34, 35, 45, 49, 51, 52, 53
 Annex A, 54, 55
 bedömning, 49
 mätning, 49
 värdering, 49
 ISO/DIS 13091-1, 54
 ISO/DIS 5349-1 (Annex A), 48

karaktären hos vibrationerna, 44
 karborundumskiva, 32
 karpaltunnelsyndrom, 4, 6, 19, 26, 27
 katekolaminer, 23
 kinetisk energi, 53
 klinisk bedömning, 4
 klinisk undersökning, 20
 klyvning av tunneltaket, 27
 kolgruvearbetare, 6, 22, 28
 komfort, 49
 konstitutionell Raynaud, 14, 16, 56
 kontinuerlig respektive intermittent
 exponering, 55
 kontorister, 43
 kontraktilla muskelement, 29
 koordinationsstörning, 10
 kopplingsfaktorn, 33
 kraft, 53
 kritisk effekt, 6, 7, 18

KTS, 4, 6, 19, 26, 27
 kumulerad exponering, 40, 42, 43
 kumulerade exponeringsmättet, 40
 kvantitativ sensorisk testning, 20
 kvantitativa rekommendationer om
 exponeringsbegränsning, 44
 kvävemonoxid, 24
 kyla, 10, 14, 30, 42
 känsel funktion, 5
 känseln, 42
 känselnedsättning, 10
 känselsinne, 6
 känseltröskelhöjning, 9
 känseltrösklar, 54
 kärlkramp i benen, 15
 kärltonus, 25
 köldkänsla i fingrarna, 12
 köldprovokation, 13, 15, 41, 58
 köldprovokationstest, 39

laboratorieundersökning, 4, 20
 lastbilmontörer, 22
 latens, 34, 51
 vita fingrar, 37, 38, 40, 47
 latensen, 36
 ledbrocken, 28
 leddegeneration, 6, 28
 leder, 21
 ljuddämpade maskiner, 28
 LO, 5
 logistisk regressionsanalys, 40
 logistisk regressionsmodell, 40
 lokal defekt, 23
 longitudinell studie, 38
 lyftkraft, 10
 lågfrekvent vibration, 52
 lågfrekventa vibrationer, 28
 läkarundersökning, 46

manuellt arbete, 22, 29
 marmorbrottarbetare, 41
 maskinfabrikanter, 47
 maskinhandtag, 33, 37, 49, 53
 maskintyper, 55, 58
 medianusnerven, 19, 26, 27
 medicinering, 14
 medicinsk kontroll, 8
 medicinsk rehabilitering, 7
 medicinsk övervakningsmodell, 56
 medicinska kriterier, 56
 mejselhammare, 5, 8, 21, 22, 35, 37, 38, 40,
 41
 mekaniker, 19, 39
 montering, 32
 montörer, 6, 42, 54
 mothåll, 33
 motorcyklar, 41
 motorfästen, 42
 Motorhälsan, 5
 motorisk funktionsnedsättning, 19
 motorkedjesågar, 6, 24, 25, 45

motorsåg, 35, 38
 fjärrstyrning, 7
 vibrationsdämpade, 7, 38
 multiaxial exponering, 49
 multifaktoriell, 30
 multifaktoriella etiologin, 58
 multiple crush-syndromet, 28
 multivariat analys, 58
 muskelarbete, 30
 muskelfiberstorlek, 29
 muskelfibertyp, 29
 muskelkontraktionen, 29
 muskelkraft, 5, 29
 muskelskada, 29
 muskelsvagheter, 21
 muskler, 21
 mutterdragare, 5
 myeliniserade nervfibrer, 42
 myelinnedbrytning, 27
 myosin, 29

nerver i nackregionen, 43
 nerver i skuldra-regionen, 43
 nervfunktioner, 9, 17
 nervfunktionspåverkan, 28
 nervfunktionsstörningar, 42
 nervkompression, 28
 nervledningshastighet, 28
 neurologiska besvär, 55
 neurologiska mekanismer, 53
 neurologiska störningar, 5, 54
 neurologiska testmetoder, 18
 neuropati, 18, 20, 56
 diffust utbredd, 18
 nikotin, 14, 30
 NIOSH, 56
 NIOSH kriteriedokument, 51
 nitare, 33, 52
 nithammare, 33
 nitmejslar, 33
 nitroprussidnatrium, 24
 normalvärden, 20, 58

omsättning av medlemmar, 51
 omyeliniserade nervfibrer, 42
 os lunatum, 26

Pacini-kroppar, 42, 43
 pappers- och massaindustrin, 34
 pappersmasseindustri, 28
 parasympatiska nervfunktioner, 28
 patofysiologi, 4
 patogener, 4
 pauser, 55
 perceptionströskeln för vibrationer, 42
 perceptionströsklar, 18, 58
 perineural fibros, 25
 plexus brachialis, 27
 plåtslagare, 6, 19, 34, 42, 54
 pneumatiska hammare, 24, 25, 33
 polermaskin, 10

polermaskiner, 35
 potentiell energi, 53
 prediktivt värde, 4, 20
 prestationsförsämring, 9
 prevalensundersökningar, 3
 preventiva åtgärder, 34
 preventivt arbete, 3, 14
 primär Raynaud, 16, 39
 prognos, 15
 proportionella riskmodellen, 50
 prospektiva studier, 20, 30, 58
 prospektiva undersökningar, 51, 57
 prostacyklin, 24

QST, 20

rattar, 5, 41
 ratten, 42
 Raynaud
 konstitutionell, 24
 primär, 24
 Raynaud-fenomen, 10, 15, 16, 17, 23, 25, 30
 Raynauds sjukdom, 16
 Raynaud-symptom, 14
 recall bias, 51
 reglage, 5
 renskötsel, 42
 repetitiva handrörelser, 43
 repetitiva rörelser, 6, 19
 repetitivt, 21
 repetitivt arbete, 26, 27
 Research Network, 56
 retinaculum flexorum, 26
 retrospektiva skattning, 44
 reversibilitet, 14, 41
 riskbedömningsmodell, 3, 32, 36, 44, 47, 51
 root-sum square of acceleration, 50
 roterande slipmaskin, 40
 rökning, 30
 rördragning, 38
 rörelseapparaten, 6, 21, 55
 rörelseinskränkning, 21

sannolikhetsbedömning, 21
 sekundär Raynaud, 16
 selektionen av undersökta, 41
 selektionseffekt, 34
 senor, 21
 sensibilitetsnedsättning, 6, 18
 sensitivitet, 4, 13, 20
 sensorisk funktionsnedsättning, 18, 58
 sensoriska störningar, 40, 43, 54
 separata frekvensvägningsskurvor, 44
 sjukgymnaster, 42
 skaderiskbedömning, 47, 52
 skaderiskens tidsberoende, 36
 skadlig inverkan, 21
 skelettmuskel, 31
 skeppsvarv, 39
 skeppsvarvsarbetare, 51
 skivans beläggning, 38

skogsarbetare, 6, 7, 15, 33, 35, 38
 skogshuggare, 6, 45
 skruvning, 10
 skyddsingenjörer, 6
 sliparbete, 32
 slipare, 37
 slipmaskiner, 5, 35
 slående maskin, 34
 slående maskiner, 22, 28, 35
 smärta, 5
 snedfördelning, 58
 snickare, 10, 19
 snusning, 30
 snöskotrar, 41
 specificitet, 4, 20
 spikning, 10
 SS-ISO 5349, 1, 3, 33, 34, 37, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 52, 54
 Annex A, 3, 32, 55
 riskbedömningsmodell (Annex A), 50
 standardisering, 14
 statisk respektive intermittent exponering, 49
 statiskt arbete, 5, 9, 21, 42
 stativförsedda borrar, 37
 stativslipare, 16, 33
 stativslipmaskiner, 38
 stativslipning, 32
 stavvibratorer, 5
 stenarbetare, 19, 43
 stenarbetarna, 35
 stenbrotsarbetare, 8, 40, 43
 stenhuggare, 40
 stenkross, 20
 Stockholm Workshop-skalan, 11, 36
 sensorisk funktionsnedsättning, 18
 Stockholms-skalan, 41
 Stockholms-skalorna, 13, 20, 40
 stressfaktorer, 7
 stressor, 10, 30
 stressorinverkan, 14, 23
 styren, 41
 stålgodsputsning, 32
 stötar, 28, 53
 stötfaktor, 34
 stötkaraktär, 28, 32, 33
 stötvibrationer, 6, 44, 58
 svetsare, 6, 15, 19
 svetsning, 34
 symaskinarbetare, 35
 sympatiska nervfunktioner, 28
 sympatiska nervsystemet, 23
 symptomskalor, 58
 symptomstadium, 36
 synovit, 26
 systoliskt fingerblodtryck, 15
 sågning, 10

tandläkarborrar, 42
 tandläkare, 42
 tandtekniker, 35, 42
 Taylor-Pelmeare-skalan, 11, 13, 15, 35, 38

Taylor-Pelmeare-stadierna, 38
 temperaturkänslighet, 19
 temperatursinne, 6, 20
 temperaturtrösklar, 13
 temporär vibrationströskelhöjning, 53
 terrängfordon, 41
 tersbandsanalys, 34
 tidsberoende, 51
 toniska vibrationsreflexen, 28
 toppvärde, 33
 total exponeringstid, 36
 totala arbetstiden, 35
 totala exponeringsvaraktighet, 50
 transmissionsriktning, 53
 transporter, 7
 truckförare, 19
 tryckluftsspett, 5
 tröskel för vibrationsskador, 50
 tung mekanisk industri, 43
 tungt kroppsarbete, 30
 tungt manuellt arbete, 28
 tvåpunktsdiskrimination, 19, 21
 tvärsnittsstudier, 3, 5
 tvärsnittundersökningar, 30, 36

ultrahöga frekvenser, 42
 ultraljudsbehandling, 42
 underhållsarbetare, 39
 utan frekvensvägning, 51

varaktighet, 57
 vaskulära störningar, 40
 vasospasm, 10
 vektorsumma, 50
 verkstadsarbetare, 22, 43
 VF-förekomst, 37
 VF-prevalens, 41
 vibrationsdämpade motorsågar, 38
 vibrationsdämpande material, 37
 vibrationsdämpare, 53
 vibrationsdämpning, 6, 7, 38
 vibrationsenergiabsorption, 57
 vibrationsexponering, 5
 vibrationsexponeringsnivån, 35
 vibrationskänslighet, 43

vibrationskänslighetströskeln, 10, 49
 vibrationsmätningssmetoden, 37
 vibrationsriktning, 39
 vibrationsimulator, 35
 vibrationssinne, 6
 vibrationspektrum, 34
 vibrationssyndrom, 7
 vibrationstransmission, 35
 vibrationströskel
 förhöjd, 43
 vibrationströskelbestämning, 4
 vibrationströskeln, 43
 vibrationströsklar, 13
 vibrationsupplevelse, 9, 49
 vibrationsöverföring, 32, 33
 vibrotaktil känslighet, 20
 vibrotaktile perceptionströskeln, 20
 vinkelsliparbetare, 40
 vita fingrar, 3, 5, 7, 8, 10, 14, 30, 33, 35, 40,
 48, 52, 53, 55
 latens, 32, 37, 38, 40
 prevalens, 5
 VF, 7
 vibrationsinducerade, 6, 7, 39
 vita tår, 17
 vridning i handleden, 26
 värk, 5, 21
 vätskeutgjutning, 27

x- och y-riktningarna, 54

yttre tryck, 26

zirkoniumskivor, 38
 z-riktningen, 49, 54

ålder, 36
 åldersförändringar, 30
 återhämtning, 39, 55, 58
 återhämtningen från skadlig inverkan, 39

ödem, 26
 ödem kring nervfibrer, 25
 överlevnadsfunktionen, 50