

ARBETSMILJÖ

FONDENS

SAMMANFATTNINGAR

1028

Lokala vibrationer och dess inverkan på handen

För innehållet i sammanfattningen svarar Ronnie Lundström, Arbetarskyddsstyrelsen, Forskningsavdelningen, Tekniska enheten, Box 6104, 900 06 Umeå, tel 090-16 50 95.

Pnr 78-1560 Vibrationer (33)

Januari 1987

Inledning

Vibrerande verktyg och maskiner ger upphov till huvuddelen av de vibrationer som överförs till människan via handen och armen. Uppskattningar gjorda av Arbetarskyddsverket visar att det enbart i Sverige finns över åttahundratusen el-, bensin- eller luftdrivna handverktyg. Antalet nya verktyg samt nya tillämpningsområden tenderar också att öka.

Det är känt att vibrationer i handhållna verktyg kan medföra skador eller symtom på skador som har ett direkt samband med vibrationsexponeringen. Skadesymtomen härrör sig främst till en påverkan på perifera nerver och blodkärl samt till ben, leder och muskulatur, vilka alla sammanfattas i begreppet vibrationsskadesyndromet. Det mest uppmärksammade och bäst dokumenterade skadesymtomet i detta avseende är så kallade "vita fingrar". Tidiga tecken på begynnande vibrationsskada är över-

gående besvär såsom stickningar, domningar och känselnedsättningar i händerna. I senare stadier blir ett eller flera fingrar bleka och kalla. Underliggande mekanismer bakom detta vibrationsskadesymtom är fortfarande inte kända.

Vid användandet av vibrerande handverktyg kommer all mekanisk energi som överförs till handen och armen att transmittas och/eller absorberas av huden i kontakt med den vibrerande ytan. Föreliggande undersökning har mot denna bakgrund haft till syfte att studera samspelet mellan den vibrerande ytan och huden på handens insida. Undersökningarna har främst riktats mot att 1; studera hudens mekaniska egenskaper, 2; att genom nervexperiment studera hur våra känselorgan dels svarar på och dels akut påverkas av en vibrationsstimulering samt 3; genom känseltröskelstudier utredna ifall en yrkesmässig exposition för vibrationer med höga frekvenser kan påverka oss människor.

Hudens mekaniska egenskaper

Fysikaliskt sett kan handen och armen betraktas som ett mekaniskt system, bestående av ett stort antal mer eller mindre homogena delmassor av varierande storlek och utseende (benstrukturer, muskelgrupper, känselkroppar, sensor m m) sammanbundna av fjädrande och dämpande element. Människans hand-arm system är sammansatt av ett mycket stort antal sådana element. Att konstruera en mekanisk modell är därför mycket svårt, inte minst beroende på stora individuella variationer.

När det gäller att karakterisera vibrationsresponsen hos mekaniska system utgör den så kallade "mekaniska impedansen" ett bra mått på hur välvilligt systemet svänger med i en påförd vibration. Ju lägre impedansen är desto lättare blir systemet att sätta i svängning. För de flesta mekaniska system finns i allmänhet någon eller några frekvenser där impedansen är speciellt låg. Dessa brukar kallas för resonansfrekvenser. Vid resonans krävs vanligtvis mycket små energimängder för att sätta igång eller bibehålla en svängning i systemet.

Syftet med föreliggande undersökning har mot ovannämnda bakgrund varit att beskriva hudens mekaniska egenskaper på handens insida under några olika situationer. Eftersom huden vanligen utgör det direkta kontaktstället mellan handen och den vibrerande ytan är självfallet denna typ av kunskap av stor betydelse för ökad förståelse för handens vibrationsrespons samt för de biologiska effekter som visat sig uppstå. Vidare kan resultaten vara av betydelse vid införandet av vibrationsisolerande material eller andra dämpande åtgärder.

Hudens mekaniska impedans har studerats inom frekvensområdet 20–10 000 Hz på 10 olika punkter på handens insida. Vid mätningarna användes ett speciellt mät huvud (impedanshuvud). Effekten av olika kontaktytor ($0.5-1 \text{ cm}^2$), statiska belastningar ($0.5-1 \text{ N}$) samt amplituder ($0.1-31 \text{ m/s}^2_{\text{rms}}$) på 3 kvinnor och 3 män har undersökts.

Resultatet visade för alla testpunkter att impedansen avtog med frekvensen ned till

en miniminivå varefter den ökade. Frekvensen vid impedansminimat anger hudens resonansfrekvens och det var främst dess läge som skiljde sig mellan testpunkterna. Högst resonansfrekvensen, ca 200 Hz, uppmättes på fingertoppen och den lägsta, ca 80 Hz, på tumvalken. Små skillnader förelåg dels mellan män och kvinnor och dels mellan de övriga experimentella variablerna. Impedansen visade sig dock vara olinjär vid de högre vibrationsamplituderna.

Hudens resonansfrekvens överensstämmer rätt väl med det varvtalsområde som förekommer i en stor andel av de handverktyg som används idag. Inom resonansområdet kan stora mekaniska belastningar på hudens vävnader uppkomma med risk för både övergående och bestående skador på främst perifera nerver och blodkärl som följd. Vid nykonstruktion eller vid eliminationstekniska åtgärder bör således hudens mekaniska egenskaper beaktas så att för handen speciellt känsliga frekvensområden undviks.

Vibrationer och handens taktila känsel

Handen har en mycket central roll vid så gott som all yrkesutövning och löper därför också en stor risk att skadas. För full kontroll av handens rörelser krävs att hjärnan och ryggmärgen hela tiden får signaler från sinnesorgan i handen. En i detta sammanhang viktig grupp av sinnesorgan utgörs av taktila (känsl) receptorer belägna i huden på handens insida. Det är därför viktigt att dessas funktion inte blockeras eller störs.

Det är väl känt att vibrationer överförda till handen kan påverka känselsinnet. Vi upplever vibrationer. Vi vet också att en vibrationsexposition kan orsaka såväl en akut och övergående känselnedsättning som en permanent skada vid mer kraftfull exposition. Mekanismerna bakom detta är emellertid i stort sett okända. Avsikten med denna del av undersökningen har varit att studera hur våra sinnesorgan svarar och påverkas av vibrationer.

Organisationen och funktionen hos de taktila sinnesorganen i huden på handens insida beskrivs utifrån studier genomförda

med nervregistrering på människa. Fyra olika typer av sinnesorgan definieras och deras funktionella roller för vår upplevelse beskrivs. Även vissa aspekter på deras roll för vår kontroll av handens rörelser diskuteras.

Enskilda sinnesorgans svar på sinusformade vibrationer studerades inom frekvensområdet 0.5 till 400 Hz med amplituder varierande från 0.001 till 1 mm. Resultatet visade att distinkta skillnader föreligger mellan de olika typerna av sinnesorgan vad beträffar det frekvensområde inom vilket känsligheten är störst. En typ, så kallade Meissner-kroppar, var lättast aktiverade inom ungefär frekvensområdet 5–50 Hz. Högre frekvenser aktiverade lättast Pacinian-kroppar. Merkel-cellerna samt Rufini-kropparna svarade i huvudsak vid låga frekvenser. Detta förhållande gäller främst vid låga stimuleringsintensiteter. Vid högre intensiteter förekommer emellertid en stor överlappning mellan de olika sinnesorganen med avseende på frekvensområdet vid vilka de svarar. Det är sålunda osannolikt att endast en typ av sinnesorgan aktiveras under naturliga förhållanden, eller när handen utsätts för vibrationer såsom vid arbete med vibrerande verktyg.

Vidare visade resultatet att en akut men övergående nedsättning av sinnesorganens känslighet uppkommer till följd av en kraftfull vibrationsexponering. Storleken på denna nedsättning samt den tid och det sätt som de olika sinnesorganen återhämtade sig liknar i stora stycken de iakttagelser som tidigare gjorts med subjektiva känseltröskelmätningar. Med andra ord är det mycket som talar för att de känselnedsättningar som subjektivt upplevs i samband med en vibrationsexponering kan förklaras av en nedsättning i sinnesorganens funktion. En centralnervös mekanism inom hjärna och ryggmärg kan annars vara en möjlig förklaring. Resultatet utesluter emellertid inte att sådana ändå kan uppkomma.

Effekter av vibrationer med höga frekvenser

I slutet på 1970-talet kom till vår kännedom att några tandläkare efter mångårig verksamhet blivit tvungna att upphöra med

sitt yrke på grund av nedsättning av känseln i den hand som de i huvudsak arbetade med. Besvären var av subjektiv karaktär och den starkaste upplevelsen bestod i att fingrarna kändes stela, kalla och bortdomnade. Härigenom hade de svårt att upprätthålla nödvändig grad av finmotorisk förmåga i sin yrkesverksamhet. Dessa symtom och iakttagelser väckte misstanken att vibrationer i de hand- och vinkelstycken som tandläkare använder i sitt dagliga arbete kan ha orsakat besvären.

Vid en exposition för vibrationer med höga frekvenser absorberas sannolikt större delen av den mekaniska energin som överförs till handen av de ytliga delarna av huden i kontakt med vibrationskällan. Bland de vävnadsstrukturer som kan löpa en risk att påverkas återfinns våra känselkroppar. En sådan påverkan leder till nedsatt känsel och nedsatt finmotorisk förmåga. Förändringar i känseln indikerar en påverkan på vårt nervsystem och kan vara tidiga tecken på att mer allvarliga besvär håller på att utveckla sig, till exempel "vita fingrar".

Vid yrkeshygieniska bedömningar av vibrationer i handverktyg har man sedan länge utgått ifrån de riktlinjer som angetts i den internationella standarden ISO 5349 eller dess tidigare förslag. Detta har inneburit att de flesta undersökningar som gjorts har begränsats till vibrationer med frekvenser lägre än ca 1 500 Hz. Orsaken till denna frekvensbegränsning har till viss del orsakats av att mätningar av högfrekventa vibrationer medför en hel del tekniska svårigheter. En annan bidragande orsak är också att vårt känselsinne i allmänhet inte sträcker sig lägre upp i frekvensområdet än ca 1 000 Hz. Vi har med andra ord svårt att överhuvudtaget känna att verktygen vibrerar vid dessa höga frekvenser.

Mot bakgrund av här nämnda iakttagelser har syftet med denna undersökning varit att studera ifall en exponering för högfrekventa vibrationer har en negativ inverkan på känseln. I rapporten redovisas resultatet ifrån tre olika studier. Den första avser tekniska vibrationsmätningar utförda på tandläkarverktyg och luftdrivna slipmaskiner. Den andra och tredje avser känseltröskelstudier på en grupp tandläkare och en

grupp sjukvårdspersonal vilka använt apparatur för terapeutiskt ultraljud.

Resultatet från vibrationsmätningarna visade att höga vibrationsnivåer med frekvenser över 1 kHz förekom i tandläkarnas hand- och vinkelstycken. Nivåer upp till 160 dB (relativt $10^{-6} \text{ m/s}^2_{\text{rms}}$) påvisades inom frekvensområdet 4–20 kHz. Teoretiska uppskattningar visade att ett energiflöde från verktygen till handens vävnader på i storleksordningen 100–1 000 W/m^2 kunde uppkomma. Vibrationsnivåerna inom frekvensområdet 8–30 kHz var för slipmaskinerna av samma storleksordning som för tandläkarborrarna. Detta trots att dessa maskiner roterar med avsevärt lägre varvtal (8–9 000 rpm).

I den andra undersökningen har vibrationsperceptionen i händerna på en grupp tandläkare studerats. För jämförelser studerades även en ej yrkesmässigt vibrations-exponerad kontrollgrupp. Vibrationsperceptionen testades på pek- och långfingrens toppar med avseende på både vänster och höger hand. Som testfrekvenser valdes 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 350 och 400 Hz. För varje frekvens bestämdes vibrationströskeln under ca 25–30 sekunder. Vid sammanställningen av undersökningsmaterialet kunde konstateras att samtliga tandläkare var högerhänta vilket innebar att en direkt jämförelse mellan vänster och höger hand kunde genomföras.

Resultatet visade att en skillnad på i storleksordningen 3 dB förelåg mellan tandläkarnas båda händer, dvs ca 30 % lägre perceptionströskel i den vänstra handen. Däremot förelåg ingen skillnad mellan kontrollgruppens händer. Resultatet ifrån denna undersökning stöder således misstanken att vibrationer med högre frekvenser än ca 1 000 Hz kan ha en negativ inverkan på människan. Eftersom dessa frekvenser också faller utanför gällande normer och föreskrifter känns det extra angeläget att kunskapsnivån inom detta speciella område ökas.

Med anledning av föreliggande resultat kändes det naturligt att initiera en uppföljande undersökning med motsvarande inriktning. Valet föll på den personal som yrkesmässigt exponeras för högfrekventa

vibrationer i samband med ultraljudsterapi. Ultraljudsapparatur används företrädesvis inom offentlig sjukvård och privatpraktiserande vårdgivare. De yrkeskategorier som på sjukhus handhar ultraljudsapparatur är främst sjukgymnaster, sjukgymnast-, fysioterapi- samt sjukvårdsbiträden. Även sjuksköterskor och undersköterskor använder i vissa fall apparaturen. På den privata vårdsidan är det främst privatpraktiserande sjukgymnaster, massörer, naprapater och osteopater som använder apparaturen. Det totala antalet ultraljudsbehandlingar per år har uppskattats till nära 1 miljon och antalet användare till ca 4 000 varav ca hälften inom offentlig sjukvård. Ultraljudsapparatur har i allmänhet en mycket hög arbetsfrekvens, i de flesta fall omkring 1 MHz.

Tidigare undersökningar har visat att ultraljudsstrålningen mot terapeutens hand, 10–50 mW/cm^2 , oftast understiger det förslag till rekommendation, 100 mW/cm^2 , som av många anses vara acceptabelt (WHO 1981). Under speciella omständigheter kan emellertid denna rekommendation överskridas, till exempel om terapeutens hand kommer i kontakt med ultraljudshuvudets metalldelar eller om behandlingen utförs i vatten. I dessa situationer kan strålningsintensiteten uppgå till värden 10–100 gånger högre än ovan nämnda rekommendation. Ultraljudsstrålningen kan således i de nämnda yrkesgrupperna kunna tänkas medföra skadliga effekter.

Mot denna bakgrund, tillsammans med resultatet ifrån de tidigare redovisade studierna, har syftet med föreliggande studie varit att genom känseltröskelmätningar söka ytterligare belägg för att högfrekventa vibrationer kan ha en skadlig inverkan på människan.

I samarbete med sjukgymnastavdelningen vid regionssjukhuset i Umeå har 10 kvinnor undersökts med avseende på känseln i deras händer. Samtliga gav så gott som dagligen ultraljudsbehandling. Gruppen bestod av företrädesvis sjukgymnaster och olika typer av biträden. Mot denna grupp ställdes en ej ultraljudsexponerad kontrollgrupp, matchad till ålder, kön och med liknande arbetsuppgifter. Den testmetodik som använts vid denna studie över-

ensstämmer till stora delar med känseltröskelstudierna på tandläkarna. Som testfrekvenser valdes 5, 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315 och 400 Hz. För varje frekvens följdes tröskeln under 20 sekunder med 1 sekunds paus emellan.

För kontrollgruppen visade resultatet att en liten och ej statistiskt signifikant skillnad förelåg mellan deras händer. En klar differens kunde däremot påvisas mellan den exponerade gruppens båda händer. Upp till ca 50 Hz förelåg en förhöjd tröskel för den högra handen på i storleksordningen 2–3 dB, och däröver ca 3–6 dB. Vid en jämförelse testgrupperna emellan kunde en uttalad differens mellan den exponerade gruppens högra hand och referenternas båda händer påvisas. Differensen i storleksordningen 5–8 dB, indikerande en tröskelförhöjning för den exponerade gruppens högra hand. Inom frekvensområdet 5–63 Hz kunde även en förhöjd tröskel för den vänstra handen påvisas. Från och med 80 Hz var differensen mindre uttalad, ca 1–2 dB.

Vid resultatsammanställningen framkom att den exponerade gruppen hade använt båda händerna vid behandlingarna. Den vänstra hade dock använts i mindre omfattning, mest för att avlasta den högra vid längre eller mer arbetssamma behandlingstillfällen. Den exponerade gruppens båda händer kan därför betraktas som mer eller mindre ultraljudsexponerad. Mot denna bakgrund har för respektive testgrupp ett medelvärde baserat på tröskeldata från både vänster och höger hand utarbetats. Resultatet visar att den ultraljudsexponerade gruppen genomgående har en förhöjd känseltröskel för samtliga frekvenser, ca 4–6 dB.

Här genomförda undersökningar har visat att en reduktion av känseln i tandläkarrespektive terapeut-gruppens "arbets-

hand" tycks föreligga. Denna hand har blivit utsatt för vibrationer av högfrekvent karaktär som kan vara en förklaring till dessa effekter. Det erhållna resultatet stöder således misstanken att vibrationer med höga frekvenser kan påverka människan. Ett fullständigt klarläggande kräver emellertid ytterligare forskningsinsatser. Sådana insatser kan anses vara nödvändiga, inte minst för att skapa ett pålitligt underlag för framtida normer och riktlinjer. Under tiden är det angeläget att undersöka ifall några vibrationsdämpande insatser kan göras för att i någon mån förebygga skador.

På senare tid har också intresset för högfrekventa vibrationer ökat markant, både i Sverige och utomlands. Även ett stort antal av andra verktyg innehåller högfrekventa komponenter. Det är då främst verktyg av slående typ såsom nithammare, mejselhammare, bildhuggerihammare m fl. Dessa verktyg innehåller såväl låga (<1000–1500 Hz) som höga frekvenskomponenter. Hög besvärshänsyn av vibrations-skadesymtom av typ "vita fingrar" är också förknippat med handhavandet av dessa verktyg. I vad mån de högfrekventa vibrationskomponenterna bidrar till skadegenereringen är ännu oklart. Det ökade internationella intresset för denna frågeställning avspeglas inte minst utav att arbetsgruppen för hand-arm vibrationer inom ISO (ISO TC 108/SC 4/WG 3) har högfrekventa och transienta vibrationer som en arbetspunkt i det kommande revideringsarbetet av ISO 5349.

Rapporten

Lundström R. (1986) Lokala vibrationer och dess inverkan på handen (90 sid). Umeå Universitet, Institutionen för Hygien och miljömedicin, 901 87 Umeå, tel 090-16 50 95. Pris: 100:–.

Arbetsmiljööfonden

Box 1122, 111 81 Stockholm
Tel 08-796 47 00 (vx)