1999:9

Stöt- och sinusvibrationers påverkan på fingerblodflödet

Anna Sörensson
Lage Burström
Ronnie Lundström

ARBETSLIVSRAPPORT
ISSN 1401-2928 http://www.niwl.se/arb/

Programmet för teknik
Programchef: Ulf Landström

Arbetslivsinstitutet

Innehåll

Inledning 1
Metodbeskrivning 2
  Försökspersoner 2
Undersökta variabler 2
Apparatur 3
Experimentell procedur 5
Databearbetning 5
Resultat 6
Diskussion 8
Sammanfattning 11
Summary 11
Referenser 12

Inledning

Inom industrin förekommer ett stort antal maskiner som exponerar användarens händer och armar för vibrationer. Regelbundet arbete med dessa maskiner kan leda till olika typer av besvär i användarens händer. Det är främst två typer av vibrationsskador som har konstaterats förekomma i större omfattning hos vibrationsexponerade yrkesgrupper, nämligen cirkulationsstörningar i fingerhuden och störningar i handens nervfunktion (8). "Vita fingrar" kallas de cirkulationsstörningar i fingerhuden vilket beror på att blodkärlen drar ihop sig. Nervfunktionsstörningarna i handen yttrar sig som domningar, nedsatt förmåga att känna vibrationer, värme och kyla samt försämring av handens finmotorik. Vibrationerna kan även orsaka skador på muskler och leder i hand och arm (8).

Idag bedöms risken för att drabbas av en skada utifrån den Internationella Standarden - ISO 5349 - vilken beskriver riktlinjer för mätning och bedömning av vibrationer som överförs till handen och armen (11). ISO 5349 används för bedömning av periodiska, icke-periodiska och brusvibrationer. Standarden kan däremot endast provisoriskt användas vid bedömning av vibrationer innehållande stötar.

Under senare tid har det visat sig att arbete med vibrerande maskiner vilka genererar stötar innebär en förhöjd risk för skador hos användaren jämfört med vibrationer utan stötinnehåll. Stötvibrationer genereras från olika typer av slående maskiner som t.ex. mejselhammare, slagborrmaskin och mutterdragare. Vibrationerna karakteriseras av repetitiva slag, med slagfrekvens oftast under 100 Hz. Stöten i sig alstrar vibrationer med frekvenser som väl överstiger 1000-1500 Hz. Höga amplituder under kort tid vilket genererar vibrationer med högre frekvenser.

Det finns studier vilka visar att stötvibrationer orsakar en högre förekomst av perifera blodflödesstörningar samt att vibrationerna påverkar skellettdelar i handled och armbåge (5, 7, 8, 13, 14, 22, 23). Vidare har också framkommit att det finns skillnader i påverkan på känseltrösklarna mellan stöt och icke stötvibrationer (8, 15, 21). Studier visar även att stötvibrationer leder till ett högre energiupptag i handen jämfört med vibrationer utan stötar (4).

I olika studier har fingerblodflödet experimentellt studerats i människans hand efter vibrationsexponering med olika frekvenser, accelerationsnivåer och varaktighet (1, 2, 10, 24). Fingerblodflödets påverkan av maskinens vikt, gripkraft och omgivningstemperatur har också studerats (16, 17, 18). Det finns däremot inga studier utförda på stötars akuta påverkan på fingerblodflödet och den kunskapen skulle vara av stort intresse för förståelsen av skaderisken från den typen av vibrationer.

Med bakgrund av detta är syftet med föreliggande studie att undersöka fingerblodflödets påverkan av exponering från vibrationer innehållande stötar.

Metodbeskrivning

Försökspersoner

I undersökningen har tre manliga och tre kvinnliga försökspersoner ingått (ålder 34-51 år, medel=43). Försökspersonerna hade inte någon yrkesmässig erfarenhet av vibrerande handhållna maskiner och ingen konsumerade nikotin. Samtliga försökspersoner deltog frivilligt i undersökningen vilken var godkänd av Forskningsetiska kommittén vid Umeå Universitet (§ 370/98).

Undersökta variabler

Varje försöksperson deltog i fyra delförsök och exponerades för två olika typer av vibrationer, stöt och icke-stöt vibrationer. I ett av delförsöken förekom ingen exponering. Vibrationsexponeringen hade en frekvensvägd accelerationsnivå på 6,0m/s^2, enligt ISO 5349 (11), i frekvensområdet 1,6-5000 Hz. I Tabell 1 visas kombinationen av exponeringarna samt exponeringsordningen för varje försöksperson enligt den så kallade balanserade försöksordningen (9). Försökspersonens inplacering i försöksschemat var slumpmässig.

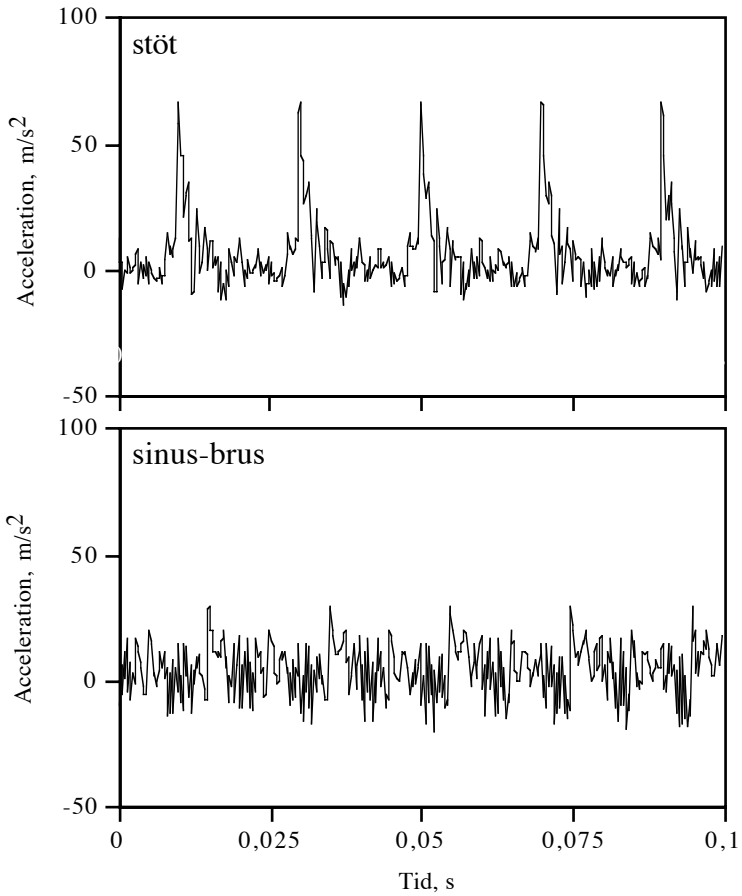
Tabell 1. Kombination av exponeringarna samt exponeringsordningen för varje försöksperson enligt balanserad försöksordningen (A=stötvibration, B=icke-stöt vibration, C=ingen vibration).

Försöksperson	Försöksordning			
	1	2	3	4
1	A	B	A	C
2	B	C	A	B
3	C	C	B	A
4	C	A	C	B
5	A	B	A	C
6	B	C	A	B

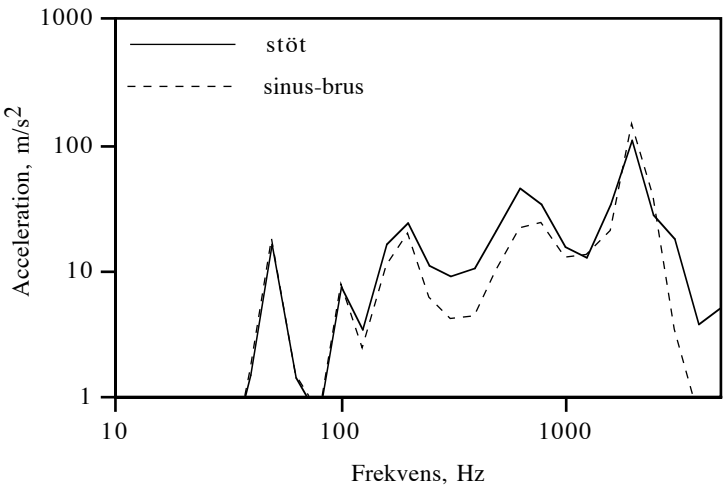
Fingerblodflödet (FBF) registrerades kontinuerligt i tre punkter, långfingrets 1:a falang på höger respektive vänster hand samt mitt på högra handens ovansida vid metacarpala. Hudtemperaturen registreras även kontinuerligt på högerhandens pekfinger vid 2:a falangen.

Apparatur

Vibrationsexponeringen som försökspersonerna utsattes för var fältmätningar från en slående handhållen maskin (Mejselhacka, Atlas Copco RVM 06B). Med ett oscilloskop kunde ett karakteristisk slag från den uppmätta signalen väljas ut och därefter överföras till en dator. En motsvarande signal utan stötinnehåll kunde därefter konstrueras med hjälp av ett dataprogram (signalen kallas framledes för sinus-brus). Den skapade signalen bestod av adderade sinus signaler med olika frekvens (Figur 1). De båda typerna av vibrationer hade en grundfrekvens av 50 Hz och ungefär samma frekvensspektrum (Figur 2). Den totala accelerationen för stötsignalen var 141 m/s^2 och för sinus-brus signalen 158 m/s^2. Båda signalerna lagrades i en funktionsgenerator och levererades därefter till en vibrator.

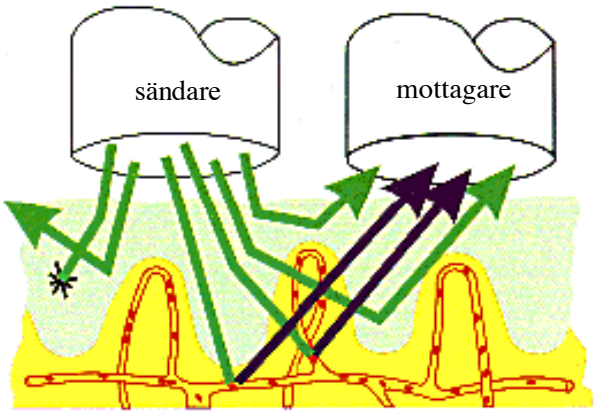


Figur 1. De två typerna av vibrationsexponering, stöt och sinus-brus som funktion av tiden.



Figur 2. Frekvensinnehållet presenterade i 1/3-dels oktavband för signalerna i Figur 1.

Fingerblodflödet registrerades med ett tre-kanaligt laser-doppler instrument (Peri-Flux System 5000). Genom en kabel av optisk fiber överfördes laserljus med en våglängd på 780 nm till fingerhuden. När ljuset tränger ner ett par millimeter i huden och träffar blodkroppar i rörelse förändrades våglängden, så kallat dopplerskift. Vid stillastående objekt sker ingen våglängdsförändring. Storleken och frekvensförändringen på våglängden står i direkt relation till antalet och hastigheten på blodkropparna, dvs blodflödet, men är oberoende av rörelseriktningen. Förändringen av våglängden registreras och återsändes till huvudenheten av den optiska fiberkabeln, vilken konverterar signalen till en elektronisk signal.



Figur 3. Förenklad beskrivning över funktionen hos laser-doppler instrumentet. Figuren är hämtad ur Perimed:s produktkatalog.

Mätsignalerna är uttryckta som flödesenheter vilket är produkten av hastigheten och koncentrationen av de röda blodkropparna i mätvolymen. Mätvolymen i huden är ca 1 mm^3.
Mätsignalerna från laser-doppler instrumentet överfördes därefter kontinuerlig till en dator med ett AD-kort. Med signal- och analysprogrammet Labview lagrades mätsignalerna från både blodflödes- och temperaturmätningarna i tidsdomänen med en samplingsfrekvens på ett mätvärde i sekunden, för senare efterbehandling och statistisk analys.

Experimentell procedur

Undersökningen utfördes i ett laboratorium med en medeltemperatur på 22˚C (sd=1.0˚C). Experimentet inleddes med att försökspersonen fick acklimatisera sig temperaturmässigt samt minska den mentala belastningen genom att under 30 minuter sitta i ett klimatrum med en temperatur av ca 30˚C. Hudtemperaturgivaren och de tre probhållarna (fastsättningsanordning för den optiska kabeln på huden) för blodflödesmätningarna monterades med hjälp av dubbelhäftande tejp på respektive finger och hand. Därefter fick försökspersonen sitta i en bekväm ställning på en stol med den högra armen avlastad och med handflatan vilande på en vibratorplatta (diameter 220 mm) monterad på en vibrator. Den vänstra handen var placerad på en motsvarande platta i samma höjd vilken inte vibrerade. Handflatan och alla fem fingrar var i kontakt med plattan under vibrationsexponeringen. När försökspersonen erhållit en bra sittställning startades mätningen av FBF och hudtemperatur. När mätvärdena stabiliserats, dvs när initialvärdena erhållits påbörjades experimentet. Under vibrationsexponeringen, som varade i tre minuter, använde försökspersonerna hörselkåpor. Varje försök tog cirka en timme att genomföra. För att undvika eventuella trötthetseffekter deltog varje försöksperson i endast ett försök per dag.

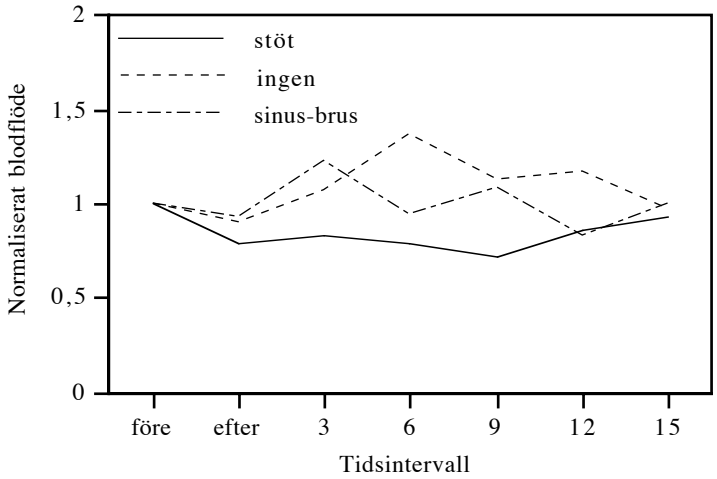
Databearbetning och statistik

Som tidigare framgått överfördes signalerna till en dator för bearbetning och statistisk analys. Medelvärden beräknades för ca 10 sekunders intervall för följande avsnitt, just före exponering, mitt under exponering, 0, 3, 6, 9, 12 och 15 min efter exponering. För det exponerade handen kunde inget medelvärde beräknas under exponeringen.
Eftersom FBF varierar beroende på probens placering för respektive person har värdena normaliserats. Detta har gjorts genom att medelvärdet av FBF just före ex-

poneringen använts som normaliseringsvärde. FBF har även kompenserats med avseende på personernas hudtemperatur, eftersom studier har visat att FBF påverkas av hudtemperaturen (12, 17). Kompensationen har utförts dels för temperaturskillnaden mellan olika försökssituationer och dels som funktion av försökstiden. Resultaten från mätningarna av FBF har därefter analyserats med variansanalys för upprepade mätningar (19). Totala antalet observationer för höger hand uppgick till 168 (6 fp, 4 exponeringar, 7 tidsintervall). För vänster hand var totala antalet observationer 192 (6 fp, 4 exponeringar, 8 tidsintervall). Den använda signifikansnivån var α=0.05.

Resultat

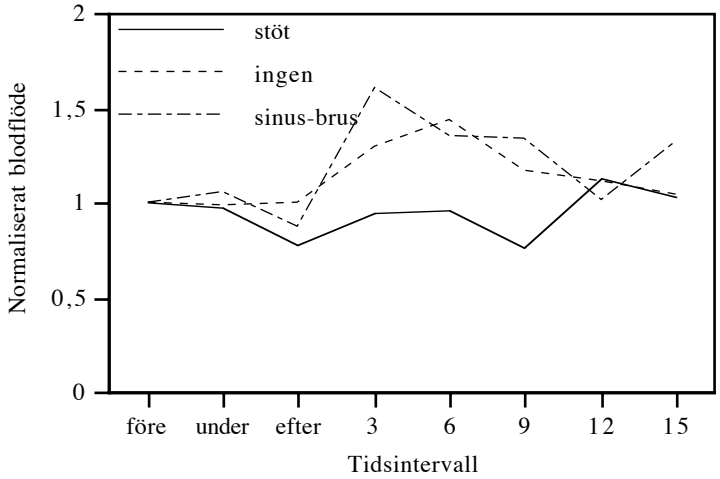
I Figur 4 visas medelvärden av FBF i det exponerade högra långfingret vid olika tidsintervall före och efter de tre olika exponeringarna. Stötexponeringen är signifikant skild från sinus-brus och ingen exponering ($F_{1,5}$=7,49; p=0,041 respektive $F_{1,5}$=11,19; p=0,020). Mellan sinus-brus och ingen exponering finns ingen skillnad ($F_{1,5}$=1,06; p=0,351).



Figur 4. Medelvärdet för sex personers fingerblodflöde i det exponerade högra långfingret, direkt före, mitt under, direkt efter, 3, 6, 9, 12 och 15 minuter efter exponeringen.

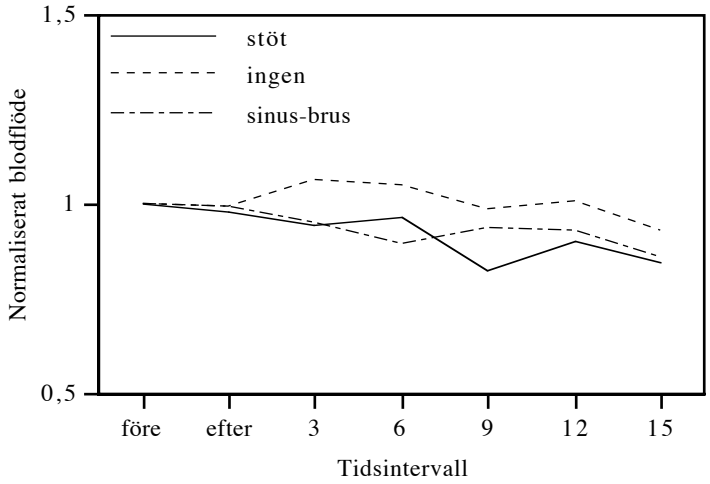
I Figur 5 visas medelvärden av FBF i det vänstra och ej exponerade långfingret för de tre olika exponeringarna vid respektive tidsintervallen. Resultaten visar även här att stöt är signifikant skild från sinus-brus och ingen exponering ($F_{1,5}$=6,63; p=0,048 resp. $F_{1,5}$=7,01; p=0,045). Mellan sinus-brus och ingen exponering finns ingen skillnad ($F_{1,5}$=1,21; p=0,329). Vidare framgår att en interaktion föreligger för både fingrarna mellan exponering och tid där stöt avviker från de övriga två

($F_{5,25}$=11,64; p<0,001 resp. $F_{6,30}$=10,56; p<0,001). Mellan sinus-brus och ingen exponering finns ingen skillnad ($F_{5,25}$=1,76; p=0,159 resp. $F_{6,30}$=1,21; p=0,329).



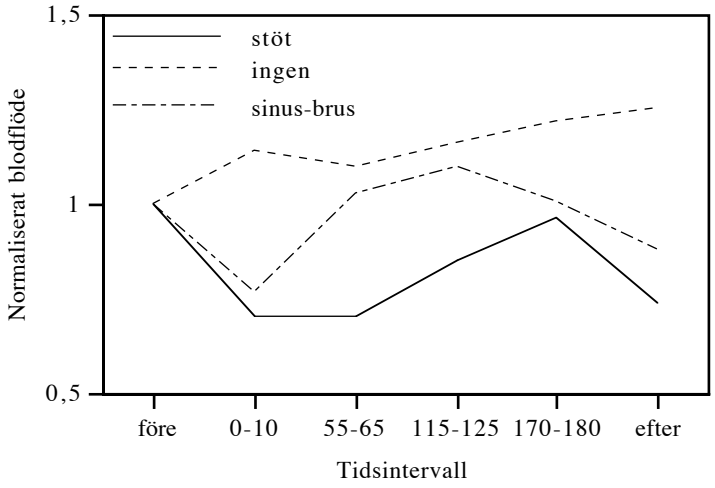
Figur 5. Medelvärdet av fingerblodflöde i det ej exponerade vänstra långfingret, direkt före, mitt under, direkt efter, 3, 6, 9, 12 och 15 minuter efter exponeringen.

Figur 6 visar FBF för mätpunkten mitt på den högra exponerade handens ovansida. Resultatet visar ingen signifikant inverkan mellan stöt, sinus-brus respektive ingen exponering ($F_{1,5}$=0,75; p=0,425, $F_{1,5}$=0,04; p=0,854; $F_{1,5}$=0,65; p=0,458). Kurvorna är inte signifikant skilda åt över tiden ($F_{1,5}$=1,33; p=0,284) och ingen samverkan mellan exponeringstyp och tidsfaktor föreligger ($F_{10,50}$=0,59; p=0,813).



Figur 6. Medelvärdet av fingerblodflöde för mätpunkten placerad mitt på den exponerade högra handens ovansida redovisat för respektive tidsintervall, direkt före, direkt efter, 3, 6, 9, 12 och 15 minuter efter exponeringen.

Figur 7 visas FBF i det ej exponerade vänstra långfingret just under exponeringstillfället. Från början är FBF lika men när vibrationsexponeringen startar sänks flödet både vid stöt och sinus-brus. Därefter ökar sinus-brus medan stöt ligger kvar på en lägre nivå. Stöt är skild från ingen exponering ($F_{1,5}$=12,99; p=0,015) och även från sinus ($F_{1,5}$=6,65; p=0,047). Däremot är sinus-brus inte skild från ingen exponering ($F_{1,5}$=4,41; p=0,090). Analyserna visar vidare att all kurvor har ett signifikant olika tidsutseende ($F_{5,25}$=34,55-72,33; p>0,0001).



Figur 7. Medelvärdet av fingerblodflöde i det ej exponerade vänstra långfingret under exponeringstillfället redovisat för respektive tidsintervall, direkt före, 0-10, 55-65, 115-125, 170-180 sekunder och direkt efter exponeringen.

Diskussion

Resultatet från exponeringen av det högra långfingret visar att exponeringarna påverkar fingerblodflödet (FBF) olika. Kärlsammandragningen efter exponeringen är betydligt mer påtaglig och varaktig vid stötexponeringen jämfört med sinusbrusexponering och ”ingen” exponering. Återhämtningsförloppen mellan exponeringar skiljer sig åt. FBF:s återhämtningsförlopp är ungefär detsamma för sinusbrus och ingen exponering, medan förloppet vid stötexponeringen är något långsammare. Tre minuter efter exponeringstillfället sker en kärlöppning. Kärlöppningen är kraftigare efter sinus-brus exponeringen än vid stöt- och ingen-exponering, 15 minuter efter exponeringen är FBF:et normalt igen för samtliga typer av exponeringar.

Av resultatet från det ej exponerade vänstra långfingret framgår även här att de olika exponeringarna påverkar FBF olika. Stöt- och sinus-brusexponeringarna orsakar alla en kärlsammandragning under exponeringstillfället i jämförelse med ingen ex-

ponering. Direkt efter avslutad exponering tenderar kärlsammandragningen att öka ytterligare för stöt och sinus-brusexponeringen och oförändrad för ingen exponering. Kärlsammandragningen är kraftigare vid stötexponeringen än sinus-brus. Vid tre minuter efter exponeringstillfället sker en relativt kraftig kärlöppning, kärlöppningen sker efter alla typer av exponeringar, men är kraftigast efter sinusexponeringen och ungefär detsamma för de övriga två exponeringarna. FBF:s återhämtningsförlopp är ungefär detsamma för icke-stöt och ingen exponering, medan vid stötexponeringen är förloppet något snabbare. Efter 15 minuter från exponeringstillfället är flödet åter normalt.

Händelseförloppet under själva exponeringstillfället kan studeras på det vänstra ej exponerade långfingret. Av resultatet framgår att FBF minskar i början av exponeringen för stöt och sinus-brus-exponeringen. Kärlsammandragningen är kraftigare och mer varaktig vid stötexponeringen än för sinus-brus-exponeringen. FBF:förändringen i det vänstra fingret efter exponeringen av det högra tyder på att en central vasomotor mekanism är involverad. Detta stöds även av i en studie av Lidström (12). Det finns även studier vilka visar på ett sänkt blodflöde i tårna efter en relativt kort exponering av vibrationer på händerna (6, 20).

Av resultatet kan konstateras att trots att den frekvensvägda nivån är lika är det en skillnad i signalernas påverkan på FBF. En förklaring till skillnaden mellan stöt och sinusexponeringen kan bero på olika frekvensinnehåll i exponeringarna. Av frekvensspektrat (Figur 2) framgår att frekvensinnehållet är något högre vid stötexponeringen än icke-stötexponeringen vid 125 Hz. Andra studier inom detta område har visat att vibrationer oberoende av varaktighet med en frekvens på 125 Hz ger en ökad reducering av fingerblodflödet (3, 10, 24).

Tidigare studier (4) har visat att energiupptaget i handen är högre vid stöt jämfört med utan stötinnehåll. En anledning till det kan bero på att stöt orsakar lägre FBF vilket ger mindre volym elastiskt blod med ökat energiupptag som följd. Vidare innebär detta att kroppens kylning, transport av vibrationsenergi avtar. Förändringen av FBF för stötexponeringen är i storleksordningen 20% jämfört med sinusexponeringen. Om FBF står i relation med skaderisken innebär det därmed att stötvibrationer ger en lika stor ökad risk för skador.

En slutsats av resultatet från den här studien visar att fingerblodflödet påverkas olika beroende på vibrationsexponering. Exponering innehållande stötar medför lägre blodflöde i det exponerade fingret genom ökad kärlsammandragningen samt längre återhämtningsförlopp till normalt flöde än vid sinusexponeringen.

ISO 5349 behandlar inte de lokala processerna i fingerhudens blodkärl vilket är den bakomliggande orsaken till vita fingrar. Med bakgrund av detta och ovanstående

resultat bör ISO standarden även i fortsättningen användas med stor försiktighet vid bedömning av vibrationer innehållande stötar och vidare studier inom detta område vore av intresse.

Sammanfattning

Sörensson A, Burström L, Lundström R: Stöt- och sinusvibrationers påverkan på fingerblodflödet.
Arbete med handhållna vibrerande maskiner vilka genererar stötar kan ge en förhöjd risk för skador hos användaren jämfört med vibrationer utan stötinnehåll.

Fingerblodflödets påverkan från olika vibrationexponeringar, stöt, sinus-brus och ingen exponering har studerats på sex försökspersoner. Blodflödet registrerades i ett antal punkter , långfingrets första falang på höger respektive vänster hand samt mitt på högra handens ovansida med ett laser-doppler instrument. Resultaten visar att blodflödet i högra långfingret påverkas olika beroende på typ av vibrationsexponering. Vibrationer innehållande stötar medför lägre blodflöde i fingret genom ökad kärlsammandragningen samt en längre tid till normalt flöde än vid sinusbrusexponeringen. Liknande händelseförlopp sker även i det oexponerade vänstra långfingret.

Om nu minskningen av FBF står i relation med skaderisken innebär det därmed att stötvibrationer ger en lika stor ökad risk för skador.
Nyckelord: energiabsorption, fingerblodflöde (FBF), hand-arm, stötar, vibrationer,

Summary

Sörensson A, Burström L, Lundström R: The shock- and sinusoidal vibration influence on the finger blood flow.
Work with hand-held vibrating tools that generate shocks has shown increase the risk for injuries.

In this study the finger blood flow influenced by different types of vibration exposures, shock, sinusoidal and non-exposures has been studied. The finger blood flow has been registered with a laser-Doppler instrument at three points, on the middle fingers first phalang on the right and left hand and on the right hands' volar side. The result show that the finger blood flow in the right hands' middle finger is influenced differetially. Shocktype vibration is associated with lower blood flow in the finger due to increased vaso-constrictor and longer recovery than for the sinusoidal and the non-vibration exposures. Similar observations have also been made in the unexposed left middle finger.

If the decrease in finger blood flow is related with the risk of injuries it could mean that shock vibration causes the same increased risk for injuries.
Keywords: energy absorption, finger blood flow (FBF), hand-arm, shocks, vibration

Referenser

1. Bovenzi M, Griffin M J, Ruffell C. Acute effects of vibration on the digital circulatory function in healthy men. Occup and Environ Med 52 (1995) 834-841.
2. Bovenzi M, Lindsell C, Griffin M J. Duration of acute exposures to vibration and finger cirkulation. Scand J Work Environ Health 24 (1998) 130-137.
3. Bovenzi M, Griffin M J. Haemodynamic changes in ispilateral and contralateral fingers caused by acuteexposures to hand transmitted vibration. Occup and Environ Med 54 (1997) 566-576
4. Burström L, Sörensson A. The influence of shock-type vibrations on the absorption of mechanical energy in the hand and arm. Int Journal of Industrial Erg 23 (1999) 585-594.
5. Dandanell R, Engström E. Vibrations from riveting tools in the frequncy range 6 Hz to 10 MHz and Raynaud's phenomenon. Scand J Work Environ Health 12 (1986) 338-342.
6. Egan C, Espie B, McGrann S. Acute effects of vibration on peripheral blood flow in healthy subjects. Occup and Environ Med 53 (1996) 663-669.
7. Engström K, Dandanell R. Exposure conditions and Raynaud´s phenomenon among riveters in the aircraft industry. Scand J Work Environ Health 12 (1986) 293-295.
8. Gemne G, Lundström R, Hansson J-E. Disorders induced by work with hand-held vibrating tools. A review of current knowledge for criteria documentation. Arbetsmiljöinstitutet (1993).
9. Girden, E.R. ANOVA repeated measurements. University paper, (1992), Sage.
10. Hyvärinen J, Pyykkö I, Sundberg S, Vibration frequencies and amplitudes in the aetiology of traumatic vasospastic disease. Lancet 14 (1973) 791-794.
11. ISO 5349. Mechanical vibration - Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration. International Organization for Standardization, Geneva (1986).
12. Lidström I.-M. Lokala vibrationers inverkan på övre extremiteterna. Arbetarskyddsverket 1974.
13. Louda L. Disease and Disorders Resulting from Hand-arm Shocks; Proceedings In 6th International Conference on Hand-Arm Vibration, (1993). Bonn: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA, Sankt Augustin.

14. Lundström R, Hagberg M, Nilsson T. Dose-Response Relationship for Hand-Arm Vibration Syndrome with Respect to Sensorineural Disturbances Among Platers and Assemblers; Proceedings In 6th International Conference on Hand-Arm Vibration, (1993). Bonn: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA, Sankt Augustin.
15. Maeda S, Griffin M J. The growth and recovery of vibrotactile TTS caused by hand-transmitted repetitive shocks of various waveforms. Central European Journal of Public Health 3 (1995) 57-61.
16. Mirbod M, et al. Finger skin temperature and laser doppler finger blood flow in subjects exposed to hand-arm vibration. Industrial Health 36 (1998) 171-178.
17. Miyakita T, Miura H, Futatsuka M. Hand-arm vibration, noise, temperature and static load - An experimental study of pheripheral cirkulation while operating chain-saws. The Kurume Medical Journal 37 (1990) 73-83.
18. Nakamura H, et al. Combined effects of local vibration and noise on peripheral circulation function - 1986. Kanazawa, Japan: Kyoei Co.
19. Norusis M. SPSS for windows. Advanced statistics. Release 6.0 (1993), Chicago: SPSS Inc.
20. Sakakibara H et al. Effects of Hand-Arm Vibration on the Feet; Proceedings In 6th International Conference on Hand-Arm Vibration, (1993). Bonn: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA, Sankt Augustin.
21. Schenk T, Heine G. Effects of Shocks on the Peripheral Nervous System. Proceedings In 6th International Conference on Hand-Arm Vibration, (1993). Bonn: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA, Sankt Augustin.
22. Starck J. High impulse acceleration levels in hand-held vibratory tools. Scand J Work Environ Health 10 (1984) 171-178.
23. Suvorov G A, Zhuravlev A B, Shinev V G. Specifity of Biological Effects due to Impulsive Hand-Arm Vibration; In 6th International Conference on Hand-Arm Vibration (1993).
24. Welsh C. The effect of vibration on the digital blood flow. Br Journal Surg 67 (1980) 708-710.