

수완진동 증후군에서 신경장해의 조기진단을 위한 객관화된 방법

울산의대 울산대학교병원 산업의학과

윤재국 · 이 현 · 최나리 · 김석환 · 박형욱 · 이지호 · 유철인

— Abstract —

Early Objectified Detection Method of Sensorineural Component in Hand Arm Vibration Syndrome

Jae-Kuk Yoon, Hun Lee, Nari Choy, Suk-Hwan Kim,
Hyoung-Ouk Park, Ji-Ho Lee, Cheol-In Yoo

*Department of Occupational and Environmental Medicine,
University of Ulsan, College of Medicine, Ulsan University Hospital, Ulsan, Korea*

Objectives: In order to determine find out the best methods for a more objective detection of neurologic abnormality in early hand arm vibration syndrome(HAVS), early with analyzing the validity of each of the detection methods was analyzed. We evaluated the relationships between the sensorineural stage of Stockholm-revised vibration syndrome classification and the results of several tests.

Methods: 497 workers were investigated for symptom, exposure duration, the types of tools used, and medical history from January 2000 to December 2007. Pain sense threshold, vibrotactile threshold, hand grasp force, finger grasp force, and a finger tapping frequency test were performed by the workers.

Results: The grinder(67.3%) was the most commonly used tool and the mean exposure duration was 14.8 years. Although the pain sense and vibrotactile threshold level tended to increase according to sensorineural stage of the Stockholm classification, there was statistically significant difference in the vibrotactile threshold of 125, 250 Hz ($p=0.006\sim 0.038$) but not in the pain sense threshold. Hand and finger grasp force tended to decrease according to the sensorineural stage of Stockholm classification and there was statistically significant difference($p=0.041, <0.001, 0.034$) only on the right hand side. The tapping frequency also generally decreased according to the sensorineural stage of the Stockholm classification and there was statistically significant difference ($p=0.002\sim 0.019$) only on the left hand side.

Conclusions: Although there is no single standardized method that can objectively diagnose the sensorineural component of early HAVS early, the combination of subjective symptoms, the sensorineural stage of Stockholm classification, the pain and vibrotactile threshold test, the hand and finger grasp force, and the finger agility (tapping) test can objectively detect sensorineural component of HAVS early.

Key Words: Hand arm vibration syndrome, Tactile sense, Grasp force, Sensorineural

〈접수일: 2009년 2월 2일, 1차수정일: 2009년 4월 8일, 2차수정일: 2009년 5월 21일, 채택일: 2009년 5월 25일〉

교신저자: 유 철 인 (Tel: 052-250-7288) E-mail: ciyoo62@hanmail.net

* 이 논문은 울산대학교병원 생의과학연구소의 연구비 지원(2007-17)에 의해 연구되었음.

서 론

그라인더와 같은 국소 진동공구에 의한 직업적인 폭로는 수완진동증후군(hand arm vibration syndrome, HAVS)이라는 말초신경, 말초혈관, 근골격계의 복합적인 장애를 유발한다. 과거에는 직업적 원인에 의한 Raynaud's phenomenon, 진동유발성 창백지(vibration induced white finger) 등의 용어들이 사용되었는데 1983년 영국 런던에서의 국제 학회에서 순환 장애, 감각 및 운동신경 장애, 근골격계 장애 등의 세 종류 장애로 정의 내리며 HAVS란 용어로 통일하였고, 1986년 스톡홀름에서 있던 워크샵에서 이전에 사용하던 Taylor-Pelmeur 분류를 혈관과 신경의 분리된 체계로 전개한 스톡홀름 워크샵 분류(Stockholm-revised vibration syndrome classification system)를 정립하여 현재까지 사용되고 있다(Table 1)^{1,2)}.

조사에 의하면 미국에서 145만 명의 근로자가 진동 기구를 사용하며 그 이환율과 진동 노출 기간은 조사에 따라 다양하다³⁾. 중국에서는 약 200만명의 근로자가 진동 기구를 사용하는 것으로 조사되었으며 진동기구를 사용하는 근로자 중 HAVS의 유병율은 2.5%에서 82.8%로 조사되었다⁴⁾. 한편, 영국의 설문지 조사에서는 전체 남자 근로자의 420만 여명과 전체 여성 근로자의 66만 여명이 수부 진동에 노출된다고 하였다⁵⁾. Bovenzi 등⁶⁾은 이탈리아 투스카니 지역의 채석장에 근무하는 근로자를 조사하여 HAVS의 유병률이 35.5%이고 평균 잠복기간이 10년이었다고 하였다.

우리나라에서의 HAVS에 관한 연구는 1981년 착암기 근로자의 진동증후군 유병율 조사에서 당시 Taylor-Pelmeur 분류에 의한 stage 1이상이 12.6%였으며 저림과 자통을 포함하면 그 유병율은 28.9%였다는 것⁷⁾을 시작으로 몇몇 연구들이 있었다⁸⁻¹²⁾. 한편, 2005년 노동부의 근로자 건강진단 결과 보고¹³⁾에 의하면 특수건강진단

실시자 646,892명 중에 진동 노출자는 19,335명으로 조사되었으며, 또한 최 등¹²⁾의 보고에 의하면 조선업을 중심으로 실제로 많은 수의 근로자들이 진동에 노출되는 것으로 추정된다.

HAVS 진단에 있어 의학적 진찰 그리고 직업력은 진단에 매우 중요하며 결정적인 정보를 제공해준다. 또한 설문 조사와 혈관 및 신경에 대한 간단한 임상적 검사가 필요하다. 혈관의 이상을 증명하는 검사로 차가운 물에서 수지혈관의 반응(냉각부하검사)을 검사할 수 있으며 신경장애에 대한 검사는 피부의 촉각과 통증, 그리고 온도와 진동에 대한 민감도를 검사한다. 이학적 검사 시에 수지와 손바닥, 아래팔의 특이사항을 인지해야 하고 영양변화, 피부변화, 열상반흔 등을 인식해야 한다. 2006년 우리나라 근로자 건강진단 실무지침¹⁴⁾에 의하면 진동노출 작업을 하는 근로자에게 다음과 같은 특수건강진단을 하도록 정하고 있는데, 1차 건강진단항목으로 작업경력조사, 사지의 말초순환기능(손뚝압박), 신경기능(통각, 진동각), 운동기능(악력) 등을 검사하여 좀 더 정밀한 검사가 필요하다고 판단되는 경우는 2차 건강진단을 실시하도록 하고 있으나 구체적인 도구나 검사방법에 대한 지침, 참고치 등은 없고 검사법만 나열하고 있어 실제로 사용하기가 어려운 실정이다.

HAVS의 진단 방법은 이와 같이 의학적인 진찰과 주관적인 증상, 의학적 검사, 그리고 직업력 등으로 진단할 수 있으나, 객관적이고 선별적인 조기진단 방법에 대한 연구가 부족하여 직업병 관리와 진단 및 산재요양과 보상 시에 문제가 되고 있다. 그 중에서 혈관장애에 대한 객관적인 검사방법에는 여러 가지가 있으며 최근에는 수지 냉각부하검사를 통해 객관화된 피부온도의 회복율을 많이 사용하고 있다. 그러나 신경장애에 대해서는 신경전도속도, 근전도 등을 수행하고 있지만 이는 신경장애의 조기진단과 확진에는 적합하지 않아 신경장애를 진단하는 객관화된 조기검사 방법을 확립하기 위한 많은 연구들이 진

Table 1. The Stockholm Workshop classification of hand arm vibration syndrome

Stage	Vascular component
0	No attack
1	Occasional blanching attacks affecting tips of one or more fingers
2	Occasional attacks distal and middle phalanges of one or more fingers
3	Frequent attacks affecting all phalanges of most fingers
4	As in stage 3, with trophic skin changes in the finger tips
Stage	Sensorineural component
0SN	Vibration exposed but no symptoms
1SN	Intermittent numbness with or without tingling sensation
2SN	Intermittent or persistent numbness, reduced sensory perception
3SN	Intermittent or persistent numbness, reduced tactile discrimination and/or manipulative dexterity

행되고 있으나^{15,16)} 아직 확실한 검사법은 없는 실정이다. 자자들은 그 동안 시행했던 검사들 중 통각과 진동감각 검사 및 수부와 수지의 악력, 그리고 수지의 운동기능검사(태핑) 등과 근로자들이 호소했던 증상에 대해 오래전 합의되었고 현재 가장 널리 통용되고 있는 HAVS의 스톡홀름 워크샵 분류와의 관련성을 통해 좀 더 객관화된 신경학적 조기검사 방법을 찾고 각각의 방법에 대한 타당성을 검증하고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

연구대상은 2000년 1월부터 2007년 12월까지 특수건강진단 시 수부진동에 폭로되고 수부의 불편함을 호소하여 한 대학병원 산업의학과에서 수부 진동장해 2차 정밀 검사를 시행한 497명의 근로자를 대상으로 하였다. 일차적으로 문진을 통해 직업력 및 폭로시간을 알아보고 과거 병력을 조사했다. 문진표에 기입된 내용을 토대로 자각증상을 확인하고 수부의 말초 순환기능(손톱압박, 수지피부 온도), 신경기능(통각, 진동각), 운동기능(악력, 태핑) 등을 검사하고 골관절염과 류마티스성 질환 등 다른 질병이 있는지 이학적 소견과 증상을 통해 감별했으며 필요하다고 판단되는 경우는 혈액검사와 방사선 검사를 실시했다. 대상자 중에 진찰 시에 스톡홀름 워크샵 분류가 기록되지 않은 87명과 당뇨의 과거력이 있는 9명 그리고 진동감각 검사 결과가 완전하지 않은 7명이 제외되어 총 394명이 최종적인 연구대상으로 포함되었다.

2. 연구 방법

1) 수지 통각역치 검사 및 진동감각역치 검사

두 가지 검사는 양측 손 중에 증상이 있는 쪽에 시행했으며 양쪽에 모두 증상이 있으면 증상이 심한 쪽에 검사를 실시했다. 수지 통각검사는 상온에서 실시했으며 통각기(Algometer T.K.K. 1335, Takei Kiki Kogyo, Tokyo, Japan)로 감염의 위험을 고려하여 적절히 소독한 후, 양손 중 증상이 가장 심한 손가락 등쪽의 정중신경 피부분절 또는 척골신경 피부분절의 손톱 근위 인접부위에서 검사를 시행했다. 통증이 오는 것을 대상자가 호소할 때 통각기에 있는 눈금의 수치를 읽었으며 2, 3회 반복하여 결과를 기록했다. 눈금은 0~10 까지 나타내어져 있으며 수치가 클수록 통증의 역치가 크다. 진동감각은 증상이 심한 쪽 수부를 수평으로 하고 증상이 가장 심한 손가락을 펴고 손가락 끝을 가볍게 진동자에 접촉시켜 진동계(Vibrometry System type 9627, Brüell &

Kjaer, Copenhagen, Denmark)와 자가 조정기를 사용하여 검사하였다. 진동기는 진동 증폭기를 통해 접촉면으로 진동이 전달되고, 시간의 경과에 따라 자동으로 강도가 커지고 조정기를 수검자가 누르고 있으면 진동의 강도가 감소하였다. 최초로 감각되는 진동자극을 감지하면 조정기 스위치를 눌렀다가 진동감각이 없어지면 다시 스위치를 떼었다. 피검자가 진동을 감지한다는 것에 대한 객관성을 위하여 반복방식으로 평균 진동자극의 강도를 측정하였다. 진동 주파수는 125, 250 Hz를 이용하였고 진동의 강도는 데시벨(dBA)로 나타냈다.

2) 수부와 수지 악력 검사 및 운동기능(태핑) 검사

통각 및 진동감각 검사와 마찬가지로 양측 손 중에 증상이 있는 쪽에 시행했으며 양쪽에 모두 증상이 있으면 증상이 심한 쪽에 검사를 실시했다. 수부 악력 검사에서 피검자는 서있는 상태로 팔을 자연스럽게 밑으로 펴서 1, 2회 정도 간단한 연습을 한다. 악력계(Grip strength dynamometer T.K.K. 5101, Takei Kiki Kogyo, Tokyo, Japan)를 교정시킨 후 최대값을 5초 간격으로 2회 측정하고 두 값의 평균을 구한다. 수지 악력은 엄지 손가락을 아래로 하고 제 2지와 제 3지를 차례대로 위로 하여 모든 수지의 관절을 편 상태로 악력계를 누르도록 한다. 손가락은 겹치지 않도록 하고 값은 최대치를 기록한다. 악력의 단위는 킬로그램(kilogram)으로 나타냈다. 운동기능 검사는 피검자로 하여금 태핑측정기(Tapping tester model No. 1347, Takei Kiki Kogyo, Tokyo, Japan)를 이용하여 제 2, 3지 한 손가락씩 30초간 최대한 빨리 센서를 치도록 하고 태핑 횟수는 10초 단위로 기록했다. 손은 전체적으로 손바닥을 측정 고정대 위에 놓이도록 하고 손가락은 3~4 cm거리를 상하로 움직이도록 한다. 단위는 10초당 센서에 접촉시킨 횟수로 하였다.

3) 의학적 검사

진료실에서 산업의학과 전문의가 검사 대상자를 상담하며 문진표를 확인하고 이학적 검사를 하여 수부의 상태를 확인하고 다른 질환을 감별하였다. 이학적 검사 시에는 좌우 수부 및 혈관계통, 신경계통을 구분하여 스톡홀름 워크샵 점수(Table 1)에 따른 분류를 통해 대상자의 단계(stage)를 평가하였다. 상담과 이학적 검사에서 타 질환이 의심되거나 검사가 더 필요하다고 판단되면 신경전도속도, 근전도, 손과 손목 방사선 촬영, 경추부 방사선 촬영, 자가면역 항체검사, 일반 혈액검사 등을 시행하였다.

4) 자료 분석

통계분석은 SPSS for Window 14.0을 이용하여 수부

의 스톡홀름 워크샵 분류에 따른 각 진동감각과 통각 역치, 수부와 수지의 악력, 운동기능(태핑) 횡수의 관련성을 비교하기 위해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 통해 분석하였다. 유의수준은 0.05를 기준으로 하였고 모든 분석은 양측 검정을 하였다.

결 과

1. 연구대상자들의 특성

연구에 포함된 대상자들 중에 좌측에 증상이 있거나 심했던 사람이 120명, 우측에 증상이 있거나 심했던 사람이 274명이었다. 연령별로 보면 50대가 155명(39.3%)로 가장 많았으며 그 다음으로는 40대가 138명(35.0%), 30대가 80명(20.3%), 20대가 20명(5.1%)이었으며 평균 나이는 45.3세였다(Table 2).

노출 연수는 전반적으로 다양하게 나타났으며 16~20년 사이가 89명(24.5%)로 가장 많은 빈도를 보였고 그 다음으로 21~25년이 74명(20.4%), 0~5년이 67명(18.5%), 6~10년이 64명(17.6%)이었으며 평균 노출

Table 2. General and occupational characteristics of subjects

	Frequency(%)
Age	
20~29	20(5.0)
30~39	80(20.3)
40~49	138(35.0)
50~59	155(39.3)
60~69	1(0.3)
Smoking	
Non-smoker	188(47.8)
Ex-smoker	23(5.9)
Current smoker	182(46.3)
Exposure duration(year)	
0~5	67(18.5)
6~10	64(17.6)
11~15	34(9.4)
16~20	89(24.5)
21~25	74(20.4)
26~30	34(9.4)
31~35	1(0.3)
Hand tools	
Grinders	265(67.3)
Grinder & hammers	47(11.9)
Grinder & impact-wrenches	17(4.3)
Grinder & others	15(3.8)
Hammers	21(5.3)
Impact-wrenches	6(1.5)
Rock-drills	4(1.0)
Others	8(2.0)

연수는 14.8년이였다(Table 2).

사용 도구는 그라인더 단독 사용이 265명(67.3%)으로 가장 많았으며 그라인더와 햄머 및 임팩트렌치 등의 다른 도구들과 함께 사용하는 경우가 그 뒤를 이었으며 다른 도구를 단독으로 사용하는 경우도 소수 있었다.

2. 스톡홀름 분류 단계에 따른 각 변수들의 평균 변화

좌측의 경우 통각과 수부 악력, 2, 3수지 악력을 제외하고 모두 스톡홀름 워크샵 분류 단계에 따른 유의한 차이가 관찰되었으나, 각 단계별로 일정한 경향을 보이지는 않았다(Table 3).

우측은 통각과 태핑 횡수를 제외하고 모두 스톡홀름 워크샵 분류 단계에 따른 유의한 차이가 관찰되었으며 각 단계별로 일정한 경향을 보였다(Table 4).

1) 통각과 진동 감각

통각검사에서 좌측의 경우 스톡홀름 워크샵 분류 단계 1에서 통각에 대한 역치가 감소하였다가 다시 단계 2, 3으로 갈수록 역치가 증가하였고 우측의 경우 단계가 올라갈수록 역치가 증가하는 경향을 보였으나 양측 모두 통계적인 유의하지 않았다(각각 $p=0.161, 0.130$). 125 Hz의 진동감각에 대한 역치 중 좌측에서는 단계 1을 제외하고 단계에 따라 증가하는 경향을 보였고 우측에서도 단계에 따라 역치가 증가하는 경향을 보였으며 양측 모두 통계적으로 유의했다(각각 $p=0.006, 0.037$). 250 Hz에서도 양측모두 단계에 따라서 역치가 증가하는 경향을 보였으며 차이가 통계적으로 유의했다(각각 $p=0.008, 0.038$). 우측의 stage 3은 1명이었으므로 통계에 포함시키지 못하였다(Table 4).

2) 수부와 수지의 악력

좌측의 단계 1에서 수부의 악력이 증가하다가 다시 단계가 올라갈수록 감소하는 경향을 보였지만 통계적으로 유의하지 않았고 우측에서는 단계에 따라 악력이 감소하는 경향을 보였으며 통계적으로 유의했다($p=0.041$, 표 4). 수지악력에서도 유사한 결과였는데 좌측에서 제2, 3수지 모두 단계에 따라 악력이 감소하는 경향을 보였지만 통계적인 유의성은 없었고 우측에서도 제 2, 3수지 모두 마찬가지로 경향을 보였으나 스톡홀름 워크샵 분류에 따른 악력 감소가 통계적으로 유의했다(각각 $p<0.001, p=0.034$).

3) 운동 기능 검사(태핑)

좌측에서는 제 2, 3수지 모두 각 시간대마다 공통적으

로 단계 1에서 태핑 횟수가 증가하다가 다시 단계가 올라가면서 태핑 횟수가 감소하였으며 스톡홀름 위크샵 분류에 따른 태핑 횟수의 감소가 통계적으로 유의했다

($p=0.002\sim 0.019$, Table 3). 우측에서는 제 2, 3수지 모두 단계가 증가함에 따라 태핑 횟수가 감소했으나 통계적인 유의성은 없었다(Table 4).

Table 3. Result of pain and vibrotactile sensation threshold(left hand)

Method	Sensorineural Stage	N	Mean(SD)	p-value	Rank by Tukey's post-hoc test
Pain sense	0	21	7.48(2.68)	0.161	
	1	77	6.53(2.36)		
	2	14	7.64(2.17)		
	3	2	8.50(2.12)		
Vibrotactile sense (125Hz)	0	22	115.86(7.27)	0.006	3 > 0, 1, 2
	1	82	115.10(7.35)		
	2	14	119.07(10.22)		
	3	2	133.50(16.26)		
Vibrotactile sense (250Hz)	0	22	123.82(9.90)	0.008	3 > 0, 1
	1	82	123.87(8.50)		
	2	14	130.14(12.32)		
	3	2	142.50(23.33)		
Grasp strength	0	22	30.00(8.05)	0.559	
	1	81	31.11(7.47)		
	2	14	28.21(9.76)		
	3	2	27.00(19.09)		
Finger grasp strength (2nd)	0	22	6.14(1.73)	0.535	
	1	81	6.13(1.39)		
	2	14	5.65(1.93)		
	3	2	5.00(1.13)		
Finger grasp strength (3rd)	0	22	5.35(1.44)	0.494	
	1	81	5.11(1.32)		
	2	14	4.62(1.74)		
	3	2	4.80(1.55)		
Tapping number during 0~10 second (2nd finger)	0	22	37.77(7.56)	0.002	0, 1 > 3
	1	81	38.11(6.45)		
	2	14	32.00(6.70)		
	3	2	25.00(21.21)		
Tapping number during 10~20 second (2nd finger)	0	22	34.32(8.30)	0.008	0, 1 > 3
	1	82	34.70(5.84)		
	2	14	29.35(6.98)		
	3	2	23.50(19.09)		
Tapping number during 20~30 second (2nd finger)	0	22	30.59(7.39)	0.006	1 > 3
	1	81	31.99(5.57)		
	2	14	26.79(5.22)		
	3	2	22.00(18.38)		
Tapping number during 0~10 second (3rd finger)	0	22	37.90(7.76)	0.002	0, 1 > 3
	1	81	38.76(5.95)		
	2	14	32.64(10.79)		
	3	2	24.50(19.09)		
Tapping number during 10~20 second (3rd finger)	0	22	34.77(6.95)	0.019	0, 1 > 3
	1	82	35.15(5.78)		
	2	14	31.21(7.45)		
	3	2	23.50(19.09)		
Tapping number during 20~30 second (3rd finger)	0	22	31.14(5.81)	0.011	0, 1 > 3
	1	81	32.57(5.57)		
	2	14	28.93(6.62)		
	3	2	20.50(20.51)		

고 찰

손과 팔의 저림과 이상 감각은 HAVS에서 흔하게 볼

수 있고 이들 증상은 임상 검사에서 명확하게 나타나지 않을 수 있으나 보통 피부감각의 저하, 약력의 감소, 그리고 때로는 손동작의 민첩성이나 정밀한 작업의 불능과

Table 4. Result of pain and vibrotactile sensation threshold(right hand)

Method	Sensorineural Stage	N	Mean(SD)	p-value	Rank by Tukey's post-hoc test
Pain sense	0	71	6.38(2.56)	0.130	
	1	154	7.05(2.45)		
	2	36	7.14(2.52)		
	3	1	4.00*		
Vibrotactile sense (125Hz)	0	72	112.58(8.53)	0.037	2 > 0
	1	161	115.07(8.11)		
	2	40	116.28(7.53)		
	3	1	124.00*		
Vibrotactile sense (250Hz)	0	72	120.96(10.17)	0.038	2 > 0
	1	161	124.06(10.00)		
	2	40	125.43(9.63)		
	3	1	142.00*		
Grasp strength	0	72	34.07(8.05)	0.041	0 > 2
	1	160	32.17(7.47)		
	2	40	27.96(9.76)		
	3	1	31.00*		
Finger grasp strength (2nd)	0	71	7.05(1.56)	0.000	0 > 2
	1	161	6.45(1.53)		
	2	40	5.87(1.60)		
	3	1	6.30*		
Finger grasp strength (3rd)	0	71	5.65(1.55)	0.034	0 > 2
	1	161	5.17(1.36)		
	2	40	5.05(1.35)		
	3	1	4.00*		
Tapping number during 0~10 second (2ndfinger)	0	72	42.21(7.49)	0.592	
	1	161	41.27(6.27)		
	2	40	41.10(8.62)		
	3	1	39.00*		
Tapping number during 10~20 second (2nd finger)	0	72	34.32(7.61)	0.926	
	1	161	34.70(6.25)		
	2	40	29.35(7.75)		
	3	1	30.00*		
Tapping number during 20~30 second (2nd finger)	0	72	33.40(8.09)	0.728	
	1	161	33.92(7.52)		
	2	40	34.60(7.47)		
	3	1	20.00*		
Tapping number during 0~10 second (3rd finger)	0	72	42.71(7.21)	0.064	
	1	161	40.61(6.46)		
	2	40	40.21(7.20)		
	3	1	43.00*		
Tapping number during 10~20 second (3rd finger)	0	72	39.51(6.34)	0.0521	
	1	161	37.80(5.75)		
	2	40	36.92(6.14)		
	3	1	39.00*		
Tapping number during 20~30 second (3rd finger)	0	72	36.01(6.73)	0.138	
	1	161	34.58(6.27)		
	2	40	33.61(6.97)		
	3	1	30.00*		

*: excluded in analysis.

함께 나타날 수 있다. 진동 노출이 길어지면 손상이 비가역적으로 되는데 HAVS가 있는 사람들은 평균적으로 10년 이상의 직업력이 있는 것으로 보인다. 피부 감각 장애와 증가된 진동감각 역치는 말초신경계와 감각신경 말단의 기능적 이상을 반영하고 발현된 증상은 결국 손가락의 조합능력과 손기술의 상실로 이어지고¹⁷⁾ 그것은 근로능력 상실을 초래할 수 있다.

수지 감각의 변화는 수부 국소 진동노출 근로자들에게 가장 먼저 나타나는 증상 중에 하나일 것이다. 외국 문헌에서 수지진동에 의해 보상을 받은 여성 근로자들의 평균 증상 발현 잠복기가 신경학적인 증상은 6.8년, 혈관증상은 9.2년이었고 저림증의 유병율은 91%, 창백지의 유병율은 54%였다¹⁸⁾. 우리나라에서 시행한 유 등⁹⁾의 연구에서도 진동에 노출된 근로자들의 스톱홀름 워크샵 분류에 의한 유병율이 말초신경장애는 좌, 우가 각각 53.4%, 63.8%였고 말초혈관장애는 좌, 우가 각각 44.8%, 48.3%로 혈관장애보다 신경장애의 빈도가 더 높았다. 비록 손가락의 창백지가 수년간 진동에 노출된 근로자들이 호소하는 가장 흔한 불편함이었지만 HAVS에서의 감각신경계통은 혈관계통보다 더 많은 비율로 발병한다¹⁹⁾.

그리고 진동노출은 부신 수질과 말초 교감신경 말단에서 분비되는 신경전달물질인 노르에피네프린을 증가시키고 이것에 의한 수부의 혈관 수축은 창백지에 기여하며 신경의 허혈에 영향을 미칠 수 있고 이러한 반응은 진동의 강도와 빈도에 비례 한다^{20,21)}. 결국 진동노출에 의한 신경장애와 혈관장애는 서로 연관되어 있고 신경계통이 혈관계통보다 더 취약한 것으로 보이나, 또한 혈관장애와 무관하게 독립적으로 발생할 수 있다¹⁾.

한편, 상지의 운동 장애는 혈관계통보다는 신경계통과 주로 연관이 있다²²⁾. HAVS에서의 신경 손상은 운동신경보다 감각신경에서 더 자주 관찰되고 특히 팔보다는 수부의 감각신경이 더 심하며 정중신경과 척골신경이 모두 이환될 수 있다²³⁾. 진동 감각의 저하와 민첩한 손기술 같은 운동기능의 저하가 함께 나타날 수 있는데²⁴⁾ 운동신경의 이상에 의하기 보다는 감각이상에 의한 피드백(feed-back) 장애가 운동기능 이상에 기여할 수 있다²⁵⁾.

수부에서 진동감각의 변화와 같은 감각신경에 대한 증상은 신경생리학적인 이상이 나타나기 전에 항상 나타나는 조기 증상의 하나이다^{26,27)}. 그러한 증상 중에서도 손가락 말단 부위 같은 가장 원위부는 가장 초기에 증상이 나타나는 부위일 것이다. Sakakibara 등에 의한 한 연구에서 진동 노출자들의 손가락 신경 전도의 감소가 수부 및 손목부위의 감소보다 더 자주 발견되었다²⁸⁾. 또한 HAVS가 있는 그룹은 정상 대조군에 비해 유의하게 신경전도속도가 감소되었는데 그 부위는 손가락 부위였으며 주관절과 손목부위에서는 그 차이가 유의하지 않았다²⁹⁾는

점은 병적 변화가 우선적으로 손가락 같은 가장 말단 신경에서 시작한다는 것을 시사한다. 그러므로 수부에서도 수지에 대한 감각 검사가 초기 HAVS를 진단하는 적절한 부위라 할 수 있고 역치 상승은 진동에 노출된 근로자들에게 초기에 나타날 수 있는 징후라 볼 수 있다.

Takeuchi 등³⁰⁾은 진동유발성 창백지에서 보이는 세 가지 병리 소견을 “혈관의 비후, 탈수초성 신경병증, 콜라겐과 증가된 결체조직”이라고 하였다. 손가락 생검 연구에서는 진동 노출자들 신경수초의 심각한 파괴와 손상이 있는 탈수초성 신경병증과 신경섬유의 두드러진 소실을 보였으며 또한 슈만 세포의 증가와 콜라겐이 있는 섬유아세포의 증식, 그리고 신경주위 섬유화도 관찰되었다^{30,31)}. 말초신경의 이러한 병적인 변화는 진동의 강한 물리력에 의한 부종 때문일 수 있다³¹⁾. 동물 실험에서는 진동 노출이 신경 주위의 부종을 유발함을 밝히고 이러한 부종이 그것 자체로 정맥 저류와 산소 공급을 방해함으로써 신경섬유에 영양공급을 방해한다는 가설을 세웠다³²⁾. 신경주위 부종은 기계적, 허혈성, 그리고 화학적 외상 후에 발견될 수 있는데 동물 실험에서 보였던 신경 주위 부종은 진동의 기계적 효과의 결과일 것이다. 한편, 국소진동은 근육에도 영향을 미치며 근골격 질환의 이환에 기여하는데 30 Hz에서 480 Hz의 진동에 노출된 쥐 실험에서 크레아틴 인산화활성효소(CPK)가 상승한 것으로 확인할 수 있었고 그들의 상승된 크레아틴 인산화활성효소는 근육조직의 파괴와 근육 세포막의 투과성 증가 때문이었다³³⁾.

현재, 진동에 노출된 사람들의 신경계통에 대해 스톱홀름 워크샵 분류 시스템으로 단계를 구분하여 HAVS의 진단과 치료 및 예방에 사용하고 있으나 단계 1, 2, 3 사이의 구별점이 명확하지 않고 증상에 의존하는 주관적인 지표이므로 다양한 검사가 말초 신경병증을 평가하는데 필요할 수 있다.

통각 검사는 다양한 부위에서 검사할 수 있는데 손을 지배하는 정중신경, 척골신경, 요골신경 부위를 검사할 수 있지만 통증을 감지하는 수준에 대한 반응이 사람마다 다를 수 있어서 제한점이 크다. 우리의 결과도 통각 역치에 대한 결과들은 모두 통계적으로 유의하지 않았다.

진동감각 검사는 문헌상으로 가장 연구가 활발히 진행되고 있는 것으로 말초신경을 검사하는 매우 유용한 방법이며 빠르고 비 침습적으로 검사할 수 있는 장점이 있다. 진동감각 역치는 손의 악력 저하, 한랭 민감도 그리고 물건을 잘 떨어뜨리는 증상 및 저린감 등과 연관이 있고 감각신경에 대한 스톱홀름 워크샵 분류와도 유의한 연관성이 있다²⁵⁾. 이러한 진동감각 역치 검사는 진동에 의한 신경과 근육 증상의 심각도와 근로자의 불편함을 평가하는 유용한 도구가 될 수 있다. 진동감각 역치 검사의 주파수는 8 Hz에서 500 Hz사이의 정해져 있는 다양한 주파수

에 대해 검사할 것을 권유하고 각 주파수대는 서로 다른 신경섬유와 소체들을 자극하지만 역치 저하가 가장 뚜렷한 주파수대는 125 Hz와 250 Hz이다²⁵⁾. 우리의 검사도 이러한 사실을 고려하여 125 Hz와 250 Hz에서의 진동 감각 검사를 시행하였다. 분석결과는 전반적으로 스톱홀름 워크샵 분류의 단계(stage)가 증가함에 따라 진동감각에 대한 역치가 상승하였고 통계적으로 유의했다(Table 3, 4). 사후검정결과 단계 0과 1에서는 차이가 없었으나 대부분 단계 0과 2, 단계 1과 2 사이에서는 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 따라서 스톱홀름 워크샵 분류와 어느 정도의 연관성을 확인하였다. 향후에 더 다양한 주파수대에 대한 검사들이 진행된다면 주파수별로 더 많은 정보를 알 수 있을 것으로 예상된다. 최근 진동감각 역치의 평균과 표준편차를 이용한 정상 기준 범위를 설정하려는 노력이 있으며 영국에서는 그러한 정상 기준치에서 표준편차의 정도에 따라 HAVS를 '가능한(possible) 장애'와 '유망한(probable) 장애' 2가지로 분류하고 있다³⁴⁾. 우리나라도 진동감각의 정상치에 대한 접근이 시급히 이루어져야 하겠다.

악력은 능동적인 운동에 의한 것이어서 피검자 의도가 작용할 수 있지만 최대 악력을 측정하므로 그러한 영향은 어느 정도 보완될 수 있다. 악력은 근골격계에 대한 이상과 운동신경에 대한 이상을 반영한다. 그러나 감각신경에 대한 이상은 고유수용체 및 감각 피드백 기전의 장애를 초래하여 악력의 이상으로 나타날 수 있다. 우리의 결과는 스톱홀름 워크샵 분류 단계가 올라감에 따라 악력이 전반적으로 감소함을 볼 수 있었으며 우측에서는 유의성이 있었다(Table 4). 악력의 결과는 상지 기능 장애의 유용한 예측치이며 페그보드 검사(pegboard test)와 같은 상지 운동에 대한 추가적인 검사가 있으면 그 민감도와 특이도가 높아진다³⁴⁾. 진동감각 검사와 페그보드 검사로 시행한 객관화된 정량적 수지 검사는 자각증상에 의한 신경 계통의 스톱홀름 워크샵 분류와 상당히 일치했다¹⁶⁾. 페그보드 검사는 수부 운동기능의 힘을 검사하지 않고 정밀함과 민첩성을 검사하는 것으로 앞에서 언급되었던 것처럼 다른 검사들의 결과들과 연관성이 있다. 이 검사는 실제로 젓가락질, 바느질, 단추 잠그기와 같은 일상생활에서의 불편함을 가장 잘 대변할 수도 있다. 우리는 이 검사 대신에 태핑 횟수로 대체했는데 태핑 횟수의 결과도 다른 검사 결과 및 스톱홀름 워크샵 분류와 어느 정도의 관련성을 확인했다. 태핑 검사는 단계에 따른 태핑 횟수의 전반적인 감소 경향을 보여주었으며 좌측에서 통계적인 유의성이 있었다(Table 3). 따라서 수부의 악력과 민첩함에서도 스톱홀름 워크샵 분류와 어느 정도 연관성을 확인하였다.

한편, 좌측에서 125 Hz 진동감각과 수지악력을 제외한

모든 변수들이 단계 1에서 단계 0의 평균 역치보다 낮았지만, 차이가 아주 작았고, 통계적인 의미는 없는 것으로 보아 단계 1에서 실제로 차이를 초래할 만한 신경손상은 없는 것으로 판단된다.

근전도는 침습적인 검사로 근육에 일어나는 생리적인 활동을 기록하고 휴지기에 대한 정보와 근수축시의 활동에 대한 정보를 제공한다. 결과는 경험 있는 판독자의 해석에 의해 기술되며 침습적이라는 단점이 있다. 본 연구는 다른 질환을 감별해야하는 경우가 아니면 근전도는 시행하지 않았다. 신경전도속도는 말초 운동, 감각신경을 평가하는 가장 널리 쓰이는 신경 생리학적 검사이다. 전기 자극에 대한 신경의 활동전위가 기록되고 진폭의 감소는 축삭의 소실이나 근섬유의 소실 또는 전도차단을 의미한다. 신경전도속도는 정확도와 의미 있는 결과를 위한 검사자의 세심한 주의와 기술이 필요하며 근전도와 마찬가지로 결과가 경험 있는 판독자에 의해 기술된다. 각 검사 결과들과 이학적 소견 및 환자의 증상에 따른 스톱홀름 워크샵 분류는 상호 보완적이며 연관성이 있다. 비정상적인 신경전도속도는 상승된 진동감각 역치 및 감소된 악력과 연관이 있으며³⁵⁾ 근전도의 이상은 감소된 악력과 관련이 있을 수 있고 태핑 횟수는 신경전도속도와 근전도의 이상을 모두 반영할 수 있다. 따라서 각 검사들의 장단점을 인지하고 적용 및 해석을 한다면 HAVS에 대한 정확한 진단에 접근할 수 있을 것이다.

이학적 소견 및 스톱홀름 워크샵 분류는 쉽고 빠르게 수행할 수 있지만 평가자의 숙련된 경험이 필요하고 주관적이며 피검자의 자가 보고에 의존적이다. 반면, 전기 생리학적인 검사(신경전도속도, 근전도, 전류인지역치)는 정밀한 장비와 숙련자의 경험이 필요하며 시간이 많이 걸리지만 결과가 자세하고 정량적이다³⁶⁻³⁸⁾. 이러한 검사는 검사의 특성상 선별검사로 적용하기 어려운 단점이 있다. 그리고 신경전도속도 검사에 대한 한 연구에서 유병률이 3%에서 50%로 상승함에 따라서 판독 결과의 양성 예측률이 47%에서 97%로 변하였고 음성 예측률은 99%에서 86%로 변하였다³⁹⁾. 신경전도속도 검사에 대한 또 다른 연구에 의하면 신경병증을 지칭하는 내측 발바닥의 감각 무반응이 정상인의 8%에서 나타났고⁴⁰⁾ 다른 근전도에 대한 연구에서는 족부 무지 외전근의 위성운동신경병증(length dependant motor neuropathy)을 의미하는 세동성 전위가 정상인의 20%에서 나타났다⁴¹⁾. 따라서 이러한 검사법은 최종적인 진단을 내릴 수 있는 검사라기보다는 다른 검사의 결과 및 증상을 뒷받침하거나 비교하는데 사용되는 검사라고 볼 수 있다. 그러므로 신경전도속도와 근전도는 다른 질환을 감별할 때는 유용하지만 HAVS를 초기에 확인하는 검사로써는 부족하다.

한편, 전류인지역치(current perception threshold)

는 감각신경의 손상을 측정하기 위해 임상적으로 많이 쓰고 있다. 이 검사는 0에서 10 암페어의 전류를 단계화 된 5, 250, 2000 Hz의 전기 자극 파형과 함께 만들어 내며 각 주파수는 신경섬유의 굵기 및 수초화된 상태를 구분하여 검사할 수 있는데 고주파수 자극은 촉각 및 진동감각을 전달하는 섬유를 검사하며 저주파수 자극은 온도감각을 전달하는 섬유를 검사할 수 있다⁴²⁾. 역치는 환자의 주관적인 호소에 의해 기록되며 반복적으로 시행하여 역치를 구한다. 이 검사법은 우리가 실시했던 진동감각 역치 검사와 유사한 점이 많아 향후에 전류인지역치 검사를 시행하여 결과를 비교한다면 많은 정보를 줄 수 있을 것이다.

본 연구는 증상이 있는 근로자를 선정하고, 그 중에 물론, 진동감각, 통각, 악력, 태핑에 대한 1, 2명의 결측치가 있었지만, 스톡홀름 워크샵 분류에 대한 기록이 불완전한 사람들과 HAVS 유사증상이 발생할 수 있는 질환을 가진 사람들을 제외한 근로자들만을 연구 대상으로 하여 신뢰성 있는 자료를 통해 감각신경 계통에 대한 연구를 하였다.

이번 연구의 결과를 통해, 비록 정상수준과 비정상수준에 대한 경계를 위해 좀 더 많은 연구가 필요하지만, HAVS 진단에 있어 최근 가장 많이 사용하고 있는 스톡홀름 워크샵 분류 시스템의 감각신경 계통에 대한 객관화된 초기 검사로 통각과 진동감각 역치 검사, 수부와 수지 악력 검사, 운동기능 검사(태핑) 등을 추천할 수 있겠다. 아울러 단추 잠그기, 물건 떨어뜨리기와 같은 일상생활에 관련된 운동기능에 대한 간단한 검사를 추가하면 HAVS 조기진단에 더 큰 도움을 줄 수 있으리라 판단한다¹⁶⁾. 각각의 검사결과에서 유의하지 않았던 부분과 연관성이 약했던 부분은 이러한 여러 검사들의 통합을 통해 충분히 보완되고 진단에 접근할 수 있을 것이다.

스톡홀름 워크샵 분류의 감각신경 계통에서 단계 3이 전체대상자 중 단지 3명이라는 점과 진동각검사를 단지 1개의 수지에서 검사했다는 점은 이 연구의 제한점으로 볼 수 있다. 물론 수지의 바닥쪽 감각을 지배하는 척골신경과 정중신경이 모두 이환될 수 있고, 어느 것이 더 취약한 지에 대한 문헌은 아직 없지만 감각신경에 대한 척골신경 부위의 수지와 정중신경 부위의 수지를 모두 검사하여 질병의 본질을 좀 더 세밀하게 파악한다면 향후 어느 쪽이 더 취약한지에 대한 연구도 가능하리라 생각된다. 그리고 단계 3이 적은 것은 연구 대상자 규모가 크지 않았던 것으로 인한 영향이 아닐까 짐작하지만 스톡홀름 워크샵 분류상 단계 2와 단계 3 사이의 차이가 지나치게 클 수도 있다는 문제에 대해서도 심각하게 고려해봐야 할 과제라고 생각한다. 또한 진동감각 검사와 유사한 전류인지역치에 대한 결과의 비교가 없던 점도 이번 연구의 아쉬운 점이라 하겠다.

결론적으로, 본 연구는 우리나라 조선업 근로자들을 포함한 수부 진동노출자들의 수부 불편함에 대한 일련의 조사를 하였으며 저자는 신경계통을 초기에 정량적으로 객관화하여 HAVS를 진단할 수 있는 단일 방법은 아직 없으나, 수지통각 역치 검사, 수지진동감각 역치 검사, 수부와 수지 악력 검사, 운동기능검사(태핑) 등이 정량적으로 진단할 수 있고 그것들의 종합을 통해 질병 초기에 객관화하여 진단하는 것이 가능할 것으로 생각한다. 또한 향후에 단추잠그기나 일상생활시 물건을 자주 떨어뜨리기 등 일상생활의 불편함을 반영한 스톡홀름 워크샵 분류¹⁴⁾ 등을 위 검사법과 함께 통합하면 말초신경장해를 좀 더 초기에 진단하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

목적: 통각과 진동감각 역치검사 및 수부와 수지의 악력, 그리고 수지의 운동기능검사(태핑) 등과 근로자들이 호소했던 증상에 대한 HAVS의 스톡홀름 워크샵 분류와의 관련성을 통해 좀 더 객관화된 신경학적 조기검사 방법을 찾고 타당성을 검증하고자 하였다.

방법: 2000년 1월부터 2007년 12월까지 수부진동에 폭로되고 수부의 불편함을 호소하여 진동 장해에 대한 검사를 시행한 497명의 근로자를 대상으로 하였다. 일차적으로 문진을 통해 직업력에 대해 알아보고 과거력을 조사했다. 대상자들의 스톡홀름 워크샵 분류에 따른 소견을 확인하고 수부의 말초 순환기능 검사(손톱압박, 수지피부 온도), 신경기능 검사(통각과 진동각 역치), 운동기능 검사(악력, 태핑) 등을 시행하였다. 다른 질환의 감별을 위한 몇 가지 이학적 검사를 실시하고 스톡홀름 워크샵 분류에 따른 검사 결과들을 분석하였다.

결과: 사용 도구는 그라인더 단독 사용이 265명(67.3%)으로 가장 많았으며 평균 노출 연수는 14.8년이 었다.

통각과 진동감각에서 스톡홀름 워크샵 분류 단계에 따른 역치가 증가하는 경향을 보였으나 통각은 양측 모두 통계적인 유의성이 없었고, 진동감각은 125와 250 Hz에서 양측 모두 유의했다($p=0.006\sim 0.038$). 수부와 수지의 악력은 단계가 올라갈수록 감소하는 경향을 보였지만 수부와 수지 모두 우측에서만 통계적으로 유의했다($p=0.041$, $p<0.01$, $p=0.034$). 태핑 횟수는 단계가 올라가면서 전반적으로 태핑 횟수가 감소하였으며 좌측에서만 통계적으로 유의했다($p=0.002\sim 0.019$).

결론: 본 연구는 수부 진동 노출자들의 수부 불편함에 대한 신경계통을 초기에 정량적으로 객관화하여 진단할 수 있는 단일 방법은 아직 없으며 일상생활의 불편함과 스톡홀름 워크샵 분류 등을 통한 주관적인 증상에 더하여

수지 통각과 진동감각 역치검사, 수부와 수지 악력검사, 운동기능검사(태핑) 등을 통합하면 초기에 객관적으로 진단하는 것이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 1) Gemne G, Pyykko I, Taylor W, Pelmear PL. The Stockholm Workshop Scale for the classification of cold-induced Raynaud's phenomenon in the hand-arm vibration syndrome (revision of the Taylor-Pelmear scale). *Scand J Work Environ Health* 1987;13:275-8.
- 2) Brammer AJ, Taylor W, Lundborg G. Sensorineural stages of hand-arm vibration syndrome. *Scand J Work Environ Health* 1987;13:279-83.
- 3) NIOSH. Criteria for a recommended standard: Occupational exposure to hand-arm vibration. 1989. pp10.
- 4) Lin W, Chunzhi Z, Qiang Z, Kai Z, Xiaoli Z. The study on hand arm vibration syndrome in China. *Ind Health* 2005;43:480-3.
- 5) Palmer KT, Griffin MJ, Bendall H, Pannett B, Coggon D. Prevalence and pattern of occupational exposure to hand transmitted vibration in Great Britain: findings from a national survey. *Occup Environ Med* 2000;57:218-28.
- 6) Bovenzi M, Franzinelli A, Strambi F. Prevalence of vibration-induced white finger and assessments of vibration exposure among Travertine workers in Italy. *Int Arch Occup Environ Health* 1988;61:25-34.
- 7) Roh JH. Prevalence of the Vibration Syndrome among Rock-drillers in the anthracite Mining Area. *Korean J Prev Med* 1981;14:75-80.(Korean)
- 8) Ju YS, Choi HR, Kim MK, Hong Sohn, Jeon SJ, Cho SI, Kim HS. Evaluation of Health Exams on Local Vibration Illness among Shipyard Workers. *Korean J Occup Environ Med* 1998;10(4):413-27.(Korean)
- 9) Yoo CI, Lee JH, Lee CR, Lee H, Choi YH, Kim YH. Evaluation of Finger Skin Temperature by Cold Provocation Test for Diagnosis of Hand-Arm Vibration Syndrome. *Korean J Occup Environ Med* 2002;14:124-33.(Korean)
- 10) Roh JH, Moon YH, Shin DC, Cha BS, Cho SN. Change of Skin Temperature of Workers Using Vibrating Tools in Anthracite Mines. *Korean J Prev Med* 1988;21(2):357-64.(Korean)
- 11) Yim SH, Kim RH, Yang GS, Yang JI, Kim SS, Chun HJ, Park SB. 6 Cases of Hand Arm Vibration Syndrome in Grinding Workers Exposed to Hand-Arm Vibration. *Korean J Occup Environ Med* 2000;12(3):421-9.(Korean)
- 12) Choi YH, Yoo CI, Lee JH, Lee CR, Lee H, Kim YW, Chae CH, Koh SB, Kim Euna, Lee LJ, Kim YH. Epidemiologic characteristics of hand-arm vibration syndrome through occupational disease surveillance system in Busan, Ulsan, Kyungnam Province. *Korean J Occup Environ Med* 2003;15(3):261-8.(Korean)
- 13) Ministry of Labor. The Korean Results of Worker's Health Examination in 2005. *Munwongiwhoik*. Seoul. 2006. pp162.(Korean, translated by Yoon JK)
- 14) Korea Occupational Safety & Health Agency (KOSHA). Practical Guide of Worker's Health Examination II. *Seongmungiwhoik*. Seoul. 2006. pp343.(Korean, translated by Yoon JK)
- 15) Seah SA, Griffin MJ. Normal values for thermotactile and vibrotactile thresholds in males and females. *Int Arch Occup Environ Health* 2008;81(5):535-43.
- 16) Lundstrom R, Nilsson T, Hagberg M, Burstrom L. Grading of sensorineural disturbances according to a modified Stockholm workshop scale using self-reports and QST. *Int Arch Occup Environ Health* 2008;81:553-7.
- 17) Banister PA, Smith EV. Vibration induced white finger and manipulated dexterity. *Br J Ind Med* 1972;29:264-7.
- 18) Sonya H. Bylund, Burstrom L, Knutsson A. A descriptive study of woman injured by Hand-Arm Vibration. *Ann Occup Hyg* 2002;46:299-307.
- 19) Stromberg T, Dahlin LB, Lundborg G. Hand problems in 100 vibration-exposed symptomatic male workers. *J Hand Surg* 1996;21:315-9.
- 20) Welsh CL. The effect of vibration on digital blood flow. *Br J Surg* 1980;67:708-10.
- 21) Egan CE, Espies BH, McGrann S, McKenna KM, Allen JA. Acute effect of vibration on peripheral blood flow in healthy subjects. *Occup Environ Med* 1996;53:663-9.
- 22) Mason HJ, Poole K, Elms J. Upper limb disability in HAVS cases--how does it relate to the neurosensory or vascular elements of HAVS? *Occup Med (Lond)* 2005;55(5):389-92.
- 23) Brammer AJ, Pyykko I. Vibration-induced neuropathy: Detection by nerve conduction measurements. *Scand J Work Environ Health* 1987;13:380-4.
- 24) Sakakibara H, Hirata M, Toibana N. Impaired manual dexterity and neuromuscular dysfunction in patients with hand-arm vibration syndrome. *Ind Health* 2005;43(3):542-7.
- 25) Flodmark BT, Lundborg G. Vibrotactile sense and hand symptoms in blue collar workers in a manufacturing industry. *Occup & Environ Med* 1997;54:880-7.
- 26) Lundstrom R, Stromberg T, Lundborg G. Vibrotactile perception threshold measurements for diagnosis of sensory neuropathy. Description of a reference population. *Int Arch Occup Environ Health* 1992;64:201-7.
- 27) Brammer AJ, Taylor W, Piercy JE. Assessing the severity of the neurological component of the hand-arm vibration syndrome. *Scand J Work Environ Health* 1986;12:428-31.

- 28) Sakakibara H, Kondo T, Miyao M, Yamada S. Digital nerve conduction velocity as a sensitive indication of peripheral neuropathy in vibration syndrome. *Am J Ind Med* 1994;26:359-66.
- 29) Sakakibara H, Hirata M, Hashiguchi T, Toibana N, Koshiyama H, Zhu SK, Yamada S. Digital nerve conduction velocity for evaluation of peripheral nerve impairments in vibration syndrome. *Cent Eur J Public Health* 1995;3 Suppl:52-3.
- 30) Takeuchi T, Futatsuka M, Imanish H, Yamada S. Pathological changes observed in the finger biopsy of patients with vibration-induced white finger. *Scand J Work Environ Health* 1986;12:280-3.
- 31) Takeuchi T, Takeya M, Imanishi H. Ultrastructural changes in peripheral nerves of the fingers of three vibration-exposed persons with Raynaud's phenomenon. *Scand J Work Environ Health* 1988;14:31-5.
- 32) Lundborg G, Dahlin LB, Danielson N, Hasson HA, Necking LE, Pyykko I. Intra-neural edema following exposure to vibration. *Scand J Environ Health* 1987;13:326-9.
- 33) Okada A, Okuda H, Inaba R, Arhзумi M. Influence of local vibration on plasma creatinine phosphokinase (CPK) activity. *Br J Ind Med* 1985;42:678-81.
- 34) Poole K, Mason H. Relationship between self-reported upper limb disability and quantitative tests in hand-arm vibration syndrome. *Disabil Rehabil* 2007;29(5):359-66.
- 35) Sakakibara H, Hirata M, Hashiguchi T, Toibana N, Koshiyama H, Zhu SK, Kondo T, Miyao M, Yamada S. Digital sensory nerve conduction velocity and vibration syndrome. *Am J Ind Med* 1996;30:219-24.
- 36) Moody L, Arezzo J, Otto D. Screening occupational population for asymptomatic or peripheral neuropathy. *J Occup Med* 1986;28:975-86.
- 37) Gerr F, Hershman D, Letz R. Vibrotactile threshold measurement for detecting neurotoxicity: reliability and determination of age and height-standardized normative values. *Arch Environ Health* 1990;45:148-54.
- 38) Pham H, Armstrong DG, Harvey C, Harkless LB, Giurini JM, Veves A. Screening techniques to identify people at high risk for diabetic foot ulceration: a prospective multi-center trial. *Diabetes Care* 2000;23:606-11.
- 39) Fuller G. How to get the most out of nerve conduction studies and electromyography. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2005;76:41-6.
- 40) Antunes AC, Nobrega JAM, Manzano GM. Nerve conduction study of the median and lateral plantar nerves. *Muscle Nerve* 2000;40:135-8.
- 41) Boon AJ, Harper CM. Needle EMG of abductor hallucis and peroneus tertius in normal subjects. *Muscle Nerve* 2003;27:752-6.
- 42) Lowenstein L, Jesse K, Kenton K. Comparison of perception threshold testing and thermal-vibration testing. *Muscle Nerve* 2008;37:514-7