

수지진동에서의 진동강도, 손잡이온도, 소음 및 미는 힘의 복합효과에 따른 악력 및 지단피부온도의 변화

고경심¹ · B. Griefahn² · M. Fritz² · P. Bröde²

서울대학교 의과대학 예방의학교실¹
독일 도르트문트노동생리학연구소 산업환경의학분과²

= Abstract =

Combined Effect of Vibration Intensity, Grip Temperature, Noise and Pushing Power on Grip Forces and Skin Temperatures of Fingers

Kyungsim Koh¹, B. Griefahn², M. Fritz², P. Bröde²

*Department of Preventive Medicine¹, Seoul National University College of Medicine
Department of Occupational and Environmental Medicine²
Institute for Occupational Physiology of Dortmund University Germany*

Recent studies reveal that grip forces during the hand-arm vibration are most significant for the genesis of vibration-induced white finger syndrome. Therefore, exerted grip forces and skin temperatures of fingers were regarded as dependent variables in experiments and the effects of grip temperature, noise, pushing force, vibration and the combined effect of vibration and pushing force were studied.

The objectives of the present study were, first, to varify and compare the changes of grip force affected by grip temperature, noise, pushing force, vibration and the combined effect of vibration and pushing force and, second, to observe the reaction of finger skin temperature affected by above factors.

Forty-six healthy male students (25.07 ± 2.85) participated in five systematically permuted trials, which endured 4 minutes each other. Experiments were executed in a special chamber with an air temperature of 21C. In each experiments, the subjects were exposed to five experiment types: (1) grip force of 25 N only, (2) pushing force of 50 N, (3) acceleration of vibration 7.1 m/sec²(z-direction), (4) pink noise of 95 dB(A) and (5) combination of pushing force 50 N and acceleration of vibration 7.1 m/sec². A repeated-measures analysis of variance (ANOVA) was performed on the grip force to test whether it was affected by noise, pushing force, vibration and pushing force.

The present results show that vibration was significantly related to the increase of grip force, but the other factors, such as pushing force, noise and grip temperature had no significant influence on the increase of grip force, and that the reaction of finger skin temperature were significantly affected by the skin temperature at start of experiment and grip temperature, not grip force and other experimental conditions. Therefore, we suggest that the management for decreasing the grip force is meaningful to prevent the occurrence of Hand-arm vibration syndrome(HAVS).

Key words: vibration, grip force, finger skin temperature, grip temperature, Hand-arm vibration syndrome

서 론

인류역사상 진동공구의 사용으로 인하여 생산 활동에 드는 인간의 육체적 힘을 상당히 줄이게 되는 동시에 급격한 생산활동의 증가를 가져왔다. 손으로 사용하는 진동공구의 역사는 비교적 짧은 편이어서, 기록상 기압식 햄머는 1839년 프랑스 광산에서 최초로 사용되었고, 미국에서는 1890년부터 광산에서 사용되기 시작하였다. 그러나 이러한 진동공구의 사용으로 예기치 않았던 건강장해가 발견되고 보고되기 시작하였는데, 1911년 이탈리아의 Loriga(1911)가 햄머공에서, 1918년 미국의 Hamilton(1918)이 인디애너주의 석공에서의 발생 사례를 보고하였다. 여기서 보고된 증상들은 손끝이 하얗게 된 후 파래지는 현상, 추위에 예민하게 반응하며 손끝의 감각이 무뎠거나 없어지고, 통증을 동반하는 것들이었다. 그 전에 진동공구와 관계없이 수지의 말초혈관의 경련성 수축을 발견하고 보고한 것은 프랑스 의사 Raynaud(1862)에 의해서인데, 당시 주로 젊은 부인의 양손에 대칭적으로 발생하는 혈액순환장애를 묘사하였다. 따라서 진동공구를 사용하는 근로자에게서 위와 같은 증상이 나타난 것이 보고된 것은 그리 오래된 일이 아니다.

그동안 사용되어진 병명도 이차성 레이노드증후군(secondary Raynaud's syndrome), 외상성 레이노드증후군(trumatic Raynaud's syndrome), 창백지(white finger disease), 사지(dead finger) 또

는 진동유발성 창백지(Vibration induced White Finger Disease: VWF) 등 다양하고 통일이 되지 않았었다. 1983년 영국 런던국제회의에서 국소진동에 의한 건강장해에 대해 토의를 하고 병명을 통일하여 “수완진동증후군(Hand-arm vibration syndrome: HAVS)”이라고 정하고 “진동공구를 주로 사용하는 근로자에게서 발생하는 혈관성, 감각신경성 및 근골격계 장해를 총칭하는 복합적 조건”을 말한다고 정의하였다.

진동에 의한 건강장해, 특히 혈관수축성 병변에 대한 역학조사는 검사자, 국가, 직업군, 검사방법, 연구설계에 따라 아주 다양한 양상을 보인다. 혈관수축성 병변, 즉 창백지(white finger)의 유병율만 해도 매우 넓은 범위의 스펙트럼을 보여 연구자에 따라 15%~100%로 다양하다(Dupuis, 1982). NIOSH(1989)에서도 세계 각국의 진동증후군 유병율을 광범위하게 조사하여 보고하였는데, 진동공구의 사용연한, 즉 진동폭로시간이 길수록, 진동공구의 가속도가 클수록 진동장해의 유병율이 높은 추세라고 요약하고 있다. 한국의 경우, Moon 등(1982)은 208명의 진동폭로 광부 중에서 13%가 창백지현상을 보인다고 보고하였고(NIOSH, 1989에서 인용), 노재훈(1981)은 135명의 탄광 착암근로자 중에서 12.6%의 유병율을, 노재훈 등(1988)은 79명의 착암기 사용근로자 중 창백지를 나타낸 근로자는 18명으로 22.8%의 유병율을 나타냈다고 보고하였다. 그러나 우리나라에서도 진동에 폭로되는 근로자집단이

상당히 있으리라 추산되지만 아직도 직업병인정 사례는 상대적으로 극히 드문 형편이다.

이 분야의 연구가 세계적으로 최근 20년간 활발히 진행되었으나 아직도 그 발생기전이나 병태생리학에 대해서는 확립된 정설이 없는 실정이다. 그러나 현재도 많은 근로자가 폭로집단에 속하고 수완진동증후군으로 이환되고 있으므로 진단 및 예방대책을 적절히 수립하는 것은 매우 필요하다 하겠다. 따라서 진동공구 사용중의 근로자에게 미치는 여러 인자들의 복합효과에 대한 실험적 연구를 통하여 수완진동증후군에 관여하는 병태생리를 밝힘으로써 예방 및 관리대책에 필요한 자료를 제공하고자 한다. 즉 수지진동에 관여하는 인자들 중 진동강도, 공구손잡이온도, 소음, 미는 힘의 복합효과가 악력 및 지단피부온에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

연구방법

본 실험은 독일 도르트문트대학의 노동생리학 연구소에서 1992년 12월부터 1993년 1월까지 2개월간 수행되었다. 기후조절장치가 설비된 진동 실험실에서 평균연령 25.07 ± 2.85 세의 건강한 남자대학생 46명을 실험대상자로 하였다. 실험대상자들은 과거 진동에 직업적으로 폭로된 적이 없으며 레이노드 현상이 관찰되지 않는 사람들이었다.

실험대상자는 21°C 를 유지한 높이 1.95m, 폭 1.60m, 넓이 1.90m의 진동실험실에 앉아 오른손으로 직경이 45mm인 진동공구의 손잡이를 잡고 실험지시에 따랐다. 진동공구손잡이는 금속으로 되어 있으며 그 안쪽의 관에 뜨거운 물과 차가운 물이 관통하면서 손잡이온도를 조절할 수 있도록 하였다. 또 진동공구손잡이에는 악력(grip force)과 미는 힘(pushing force)을 측정하는 장치가 내장되었다. 진동발생장치(RMS type SW 1507-TGA 1500)는 공구손잡이와 연결되어 실험실 밖에 위치하며 진동기록기(BRÜEL & KJAER

Type 4369)로 진동가속도를 기록하도록 하였으며 이번 실험에서 진동방향은 z-방향이었다(DIN 45675; ISO 5349). 실험조건은 5가지 조건을 가지면서 동시에 진동공구손잡이온도가 20°C 와 33°C 인 두가지 조건에서 시행하였다. 진동발생장치는 z-방향으로 혼합된 진동파인 pink noise(저주파 진동수의 음역에서 강도가 크고 고주파로 갈수록 음의 강도가 감소하는 광범위음역의 잡음)를 발생시키고 진동가중가속도가 7.1 m/sec^2 였다. 소음 폭로시의 음압은 95 dB(A)였다. 지단피부온은 오른손, 왼손의 세째, 네째 손가락끝의 안쪽에 체온감지기(thermistor)를 부착하여 측정하였다. 실험조건은 5개의 조건으로 대조군인 제 1 실험군(25 N의 악력만 사용), 제 2 실험군(미는 힘 50 N), 제 3 실험군(진동가중가속도 7.1 m/sec^2), 제 4 실험군(소음 음압 95 dB(A)) 및 제 5 실험군(진동가중가속도 7.1 m/sec^2 및 미는 힘 50 N)으로 분류하여 각각 손잡이온도 20°C 와 33°C 에 폭로시켰다. 각 실험군에 따른 실험조건은 Table 1 과 같다.

실험의 시간적 경과는 Fig. 1에 제시된대로 실험대상자가 30초간 양손을 무릎 위에 놓고 쉬 다음(안정기), 30초간 지시기의 안내에 따라 오른손으로 손잡이를 잡고 25 N의 악력을 유지하게 한 후(실험전기), 3분(180초)간 이전의 악력 25 N을 유지한 채로 제 1 실험군에서 제 5 실험군까지의 실험조건을 가했다(주실험기). 한 실험이 끝나면 15분간 휴식 후 다음의 실험을 시행하였다.

통계분석은 악력비교에는 악력을 종속변수로 하고 5개의 실험조건과 진동공구손잡이온도를

Table 1. Five experimental conditions

conditions	control(1)	2	3	4	5
pushing force(N)	5	<u>50</u>	5	5	<u>50</u>
vibration(m/s ²)	0	0	<u>7.1</u>	0	<u>7.1</u>
noise(dB(A))	38	38	38	<u>95</u>	38
grip temperature	20 and 33°C				

1	2	3
rest period (30초)	preperiod (30초)	main period (180초)

- 1 rest period: both hand over thigh
- 2 preperiod: right hand grips the handle with grip force 25 N
- 3 main period: maintain grip force 25 N without control and simultaneously exposed to various stress factors(5 experimental conditions)
 - phase 1: during the first minute of main period
 - phase 2: during the second minute of main period
 - phase 3: during the third minute of main period

Fig. 1. Experimental process

독립변수로 하는 반복측정이 있는 분산분석(Repeated measures ANOVA)을, 지단체온비교에는 지단체온을 종속변수로 하고 5개의 실험조건, 시작시(안정기) 지단체온과 악력을 공독립변수로 하는 반복측정이 있는 공분산분석(Repeated measures ANCOVA)을 적용하였다.

결 과

1. 악력변화

각 5개의 실험조건에서 악력이 변하는 양상(Fig. 2)을 보면, 주실험기의 초기에 전반적으로 악력이 갑자기 증가하다가 정점을 이룬 후 갑자기 감소하다가 다시 서서히 감소하는 양상을 보이고 있다. 대조군인 제 1실험군은 주실험기의 처음 5초간 약간의 악력증가를 보이다 서서히 감소하는 양상을 보이고 있다. 처음 5초간의 악력 증가는 실험대상자가 안정기와 실험전기 동안 25 N의 악력을 수행하다가 주실험기의 지시기의 안내가 바뀔때 따라 일시적으로 예상되는 자극인에 대한 긴장을 함으로써 발생한 것이라 추측된다. 제 2실험군은 미는 힘을 동반한 실험조건으

로 대조군과 비슷하나 그 증가의 정도가 약간 더 큰 곡선을 보이고 있으며 이는 소음을 동반한 제 4실험군에서도 비슷한 양상을 보이고 있다. 반면에 진동을 동반한 제 3실험군과 진동 및 미는 힘을 동반한 제 5실험군에서는 주실험기의 처음 5초간 현저한 악력증가의 정점을 보이다가 악력이 감소하나 다른 실험군에 비해서 높은 악력이 계속 지속됨을 알 수 있다.

Table 2에서 각 5개의 실험조건에서의 주실험기의 제1, 2, 3기에서의 악력의 평균을 보여주고 있다. 여기서 각 조건에 폭로되는 처음 60초 동안에 처음에 가해진 25 N보다 악력의 증가가 현저함을 알 수 있으며, 특히 진동에 폭로되는 제 3실험군과 진동 및 미는 힘에 폭로되는 제 5실험군에서 통계적으로 유의하게 현저한 악력 증가를 보여주며 이것은 3분간의 폭로시간 전체에 걸쳐 계속되었다. 대조적으로 미는 힘을 동반한 제 2실험군과 소음을 동반한 제 4실험군에서는 처음 60초간에 악력이 통계적으로 유의하게 증가하나 그 이후는 대조군과 유의한 차이를 보이지 않았다.

공구손잡이온도에 따른 악력이 변하는 양상(Fig. 3)을 보면, 앞의 Fig. 2에서 보이는 곡선과

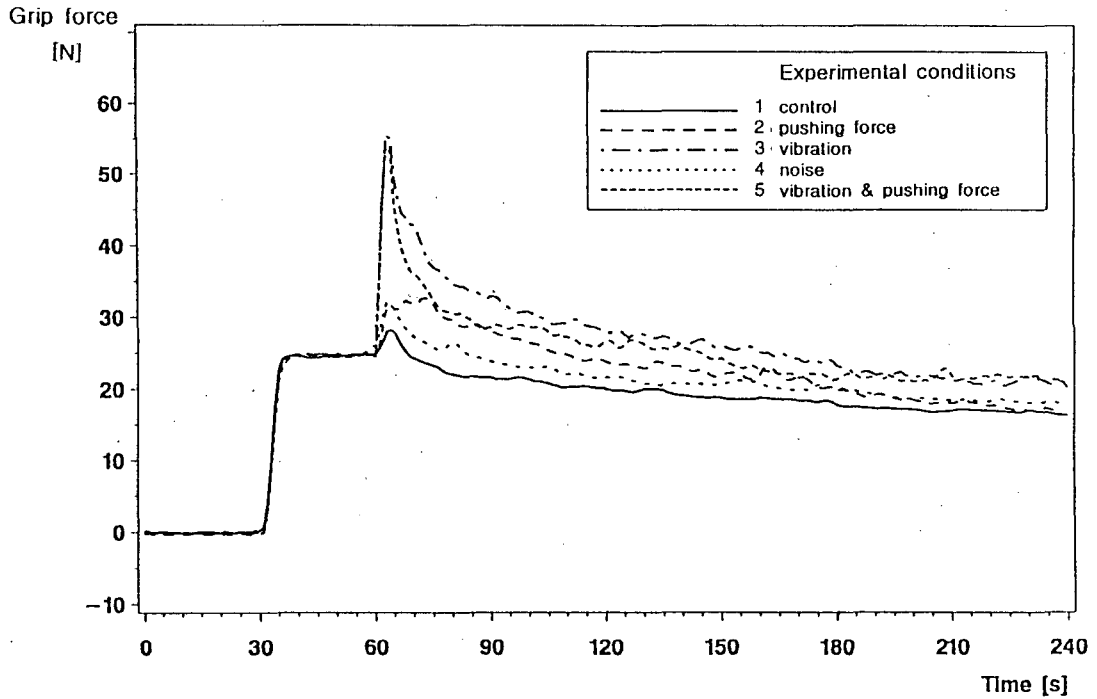


Fig. 2. Change of grip forces by 5 experimental conditions

Table 2. Means and standard deviations of grip forces under five experimental conditions

conditions	phase 1		phase 2		phase 3	
	mean (N)	s.d. # (N)	mean (N)	s.d. (N)	mean (N)	s.d. (N)
1 control	26.4	10.4	18.6	7.6	16.6	8.3
2 pushing force	36.7*	26.5*	21.9	11.4	17.7	8.7
3 vibration	46.9**	22.0**	25.8**	11.1**	21.4**	10.9**
4 noise	30.0*	7.3*	20.2	5.7	18.3	6.2
5 vibration and pushing force	43.9**	18.0**	23.7**	11.5**	21.2*	11.4*

* $p < 0.05$; ** $p < 0.001$

s.d. = standard deviation

같은 양상을 보이거나 공구손잡이온도 20℃와 30℃에 따른 악력의 차이는 관찰되지 않는다. 통계적 분석상 공구손잡이온도에 따른 악력변화에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다.

2. 지단피부온변화

오른손 세째손가락의 지단피부온의 변화를 보면, Table 3에서 보는 바와 같이 안정기시 30초간

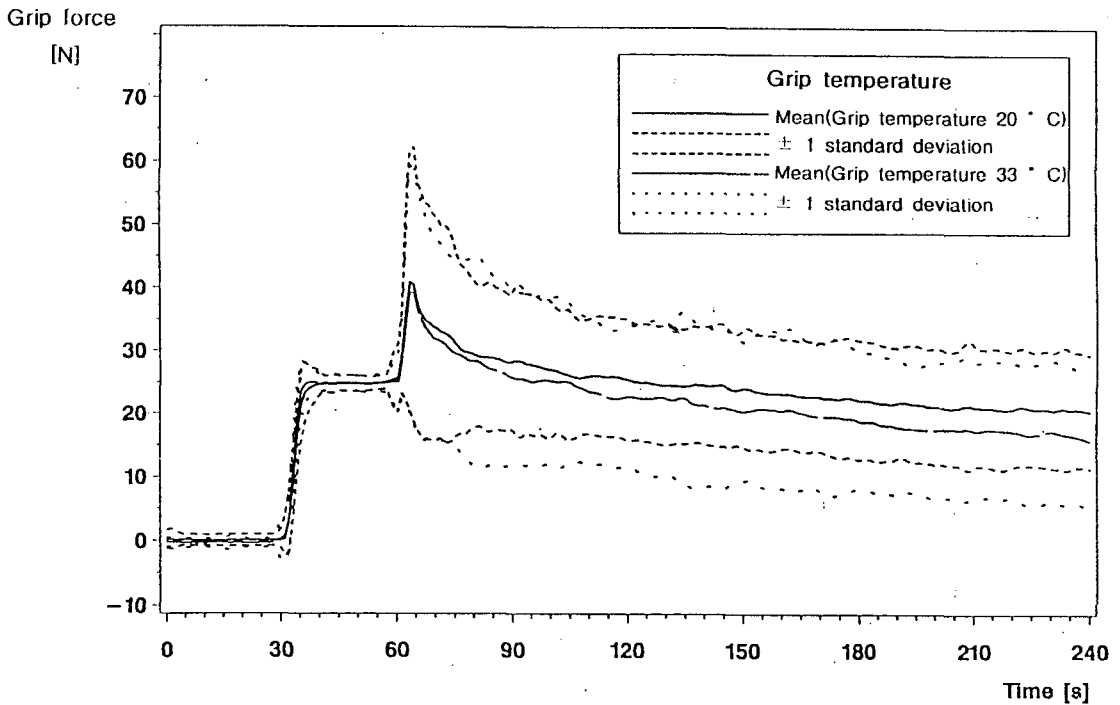


Fig. 3. Change of grip force by grip temperature 20°C and 33°C

Table 3. Means and standard deviations of skin temperatures at start and its differences of right middle finger under grip temperature 20°C and 33°C

grip temperature conditions	20°C		33°C	
	mean	s.d. #	mean	s.d.
1 temp. at start*	26.76	2.14	30.48	2.28
temp. difference**	-2.49	1.58	1.07	1.19
2 temp. at start	26.70	2.80	30.03	2.61
temp. difference	-2.02	1.58	1.14	1.80
3 temp. at start	25.79	2.77	29.99	2.16
temp. difference	-2.25	1.65	1.16	1.73
4 temp. at start	26.36	2.38	29.72	2.29
temp. difference	-2.29	1.68	1.22	1.23
5 temp. at start	26.67	2.00	19.92	1.99
temp. difference	-2.51	1.38	0.95	1.56

* temp. at start: skin temperature during the rest period

** skin temperature difference between last 30 seconds and temp. at start

s.d.: standard deviation

의 지단피부온은 25~26°C 전후를 보이고 있으며, 주실험기의 마지막 30초의 지단피부온과의 차이를 보면, 공구손잡이온도가 20°C에서는 2.5°C 정도 감소하며(Fig. 4), 공구손잡이온도가 33°C에서는 1°C 정도로 증가함을 알 수 있다(Fig. 6). 이는 지단피부온이 공구손잡이온도의 영향을 받음을 알 수 있다. 이는 공구손잡이를 잡은 수지의 피부표면을 통해 열전도현상에 기인한 것으로 사료된다. 마찬가지로 오른쪽 네째손가락의 지단피부온의 변화도 Table 4에 나타나 있으며 세째손가락의 지단피부온변화와 같은 양상을 보인다(Fig. 5, 7). Fig. 4, 5에서 제 3실험군인 진동단독 폭로군이 제 5실험군인 진동 및 미는 힘의 복합 폭로군보다 피부온도의 저하가 있음을 보이나, 시간경과에 따른 피부온의 강하정도에는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 시작시

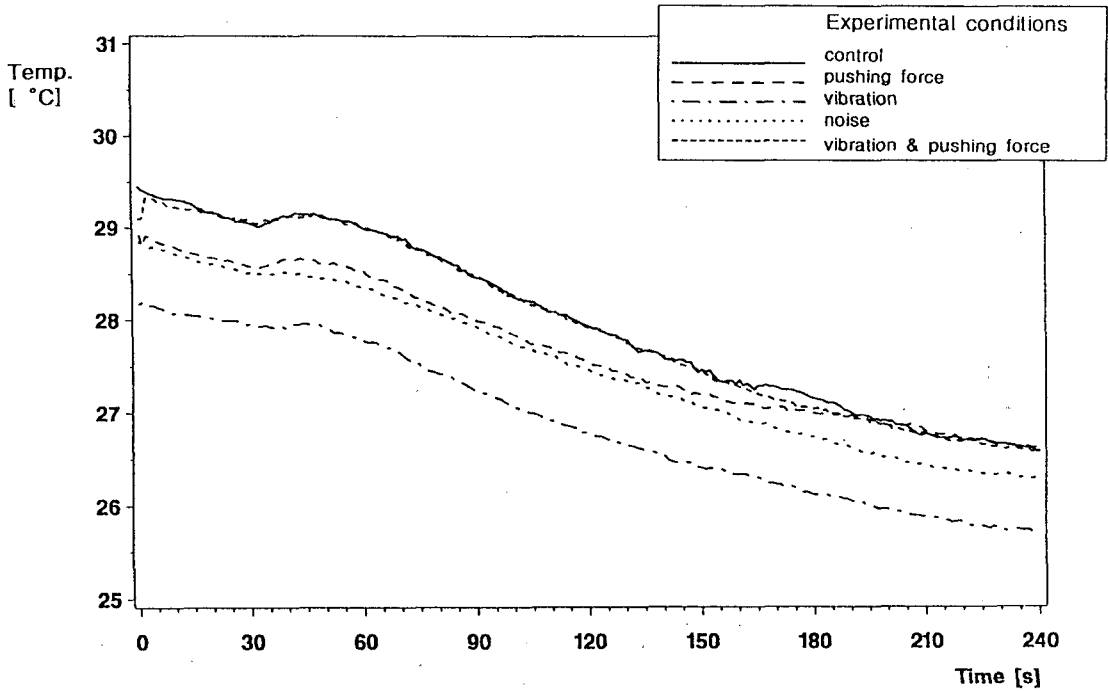


Fig. 4. Change of skin temperature of right middle finger by grip temperature 20°C

Table 4. Means and standard deviations of skin temperatures at start and its differences of right ring finger under grip temperature 20°C and 33°C

grip temperature conditions	20°C		33°C	
	mean	s.d. #	mean	s.d.
1 temp. at start*	27.33	2.85	30.74	2.43
temp. difference**	-2.20	2.14	1.03	1.58
2 temp. at start	26.71	3.27	29.56	2.71
temp. difference	-2.32	2.00	0.26	1.69
3 temp. at start	25.54	2.90	30.24	2.66
temp. difference	-2.85	1.65	1.11	2.00
4 temp. at start	26.35	2.65	29.54	2.85
temp. difference	-2.56	1.81	0.76	1.59
5 temp. at start	26.43	2.40	29.62	2.16
temp. difference	-2.96	1.64	0.32	1.69

* temp. at start: skin temperature during the rest period

** skin temperature difference between last 30 seconds and temp. at start

s.d.: standard deviation

지단피부온이 시간경과에 따른 피부온변화에 영향을 주는 것을 알 수 있는데, 시작시 체온의 차이는 무작위순열에 의해 실험조건 순서를 정했으므로, 우연히 발생한 것으로 간주하였다. 통계적 분석 상 지단피부온변화와 악력변화, 그리고 지단피부온변화와 실험조건간의 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았으나 시작시 지단피부온이 시간경과에 따른 지단피부온의 변화양상에 통계적으로 유의한 차이를 보였다.

고 찰

진동공구를 사용하는 근로자에게서 나타나는 혈액순환장애는 폭로된 진동의 강도, 폭로시간 및 개인의 감수성에 따라 다르게 나타나며, 주로 손끝이 하얗게 되는 현상이 일어나기 시작하며,

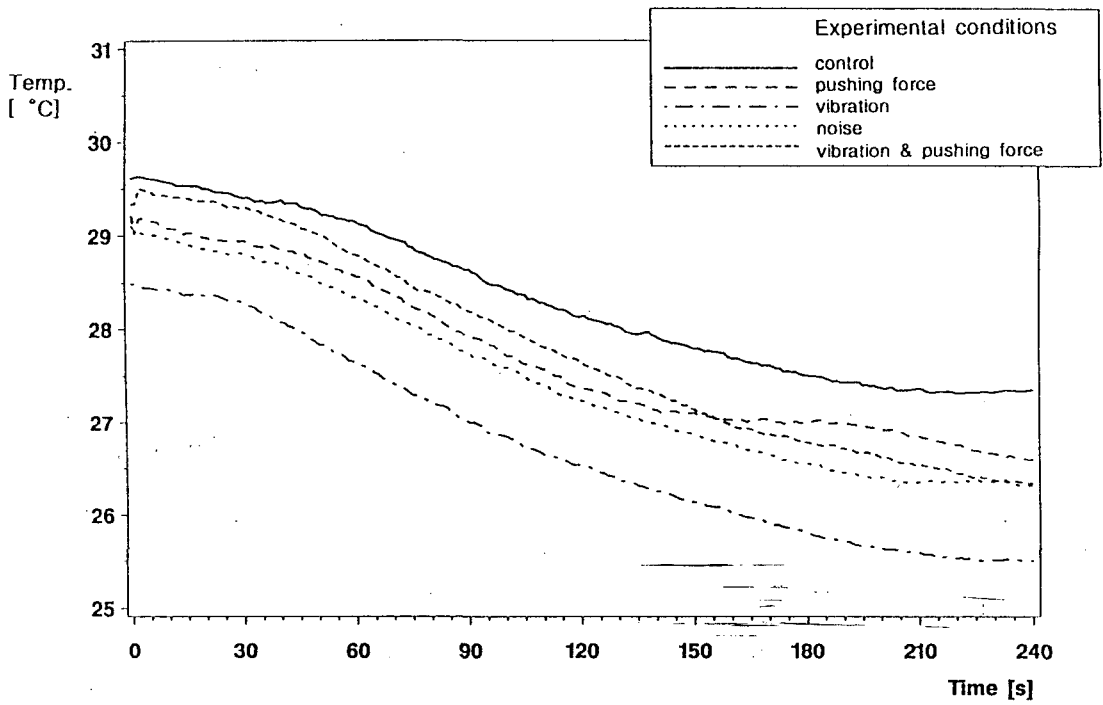


Fig. 5. Change of skin temperature of right ring finger by grip temperature 20°C

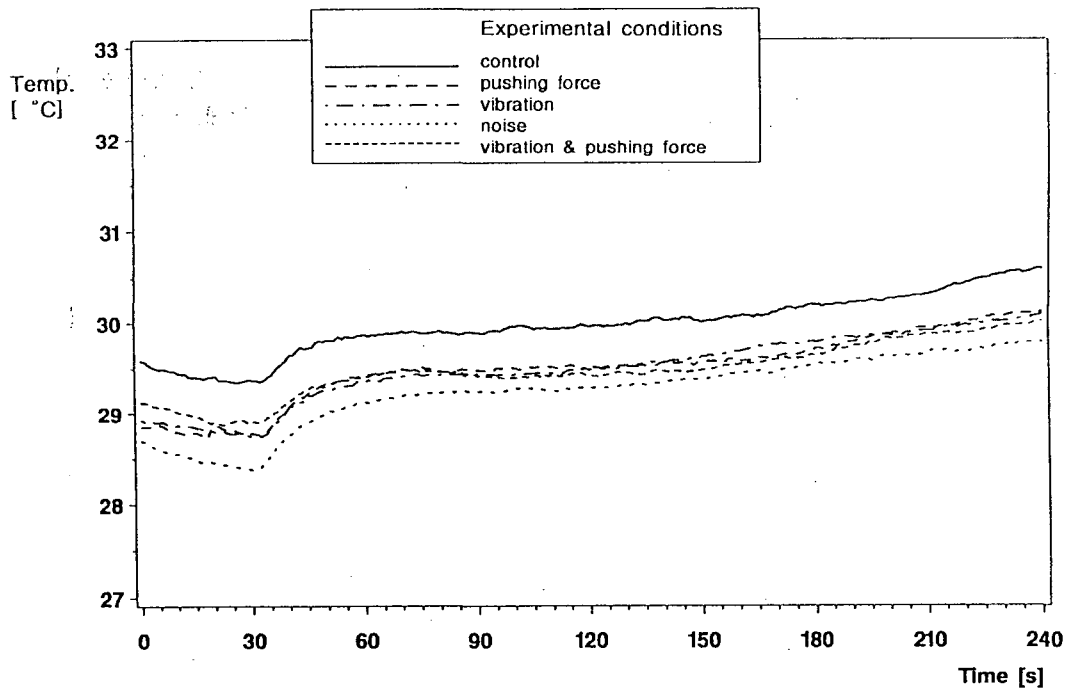


Fig. 6. Change of skin temperature of right middle finger by grip temperature 33°C

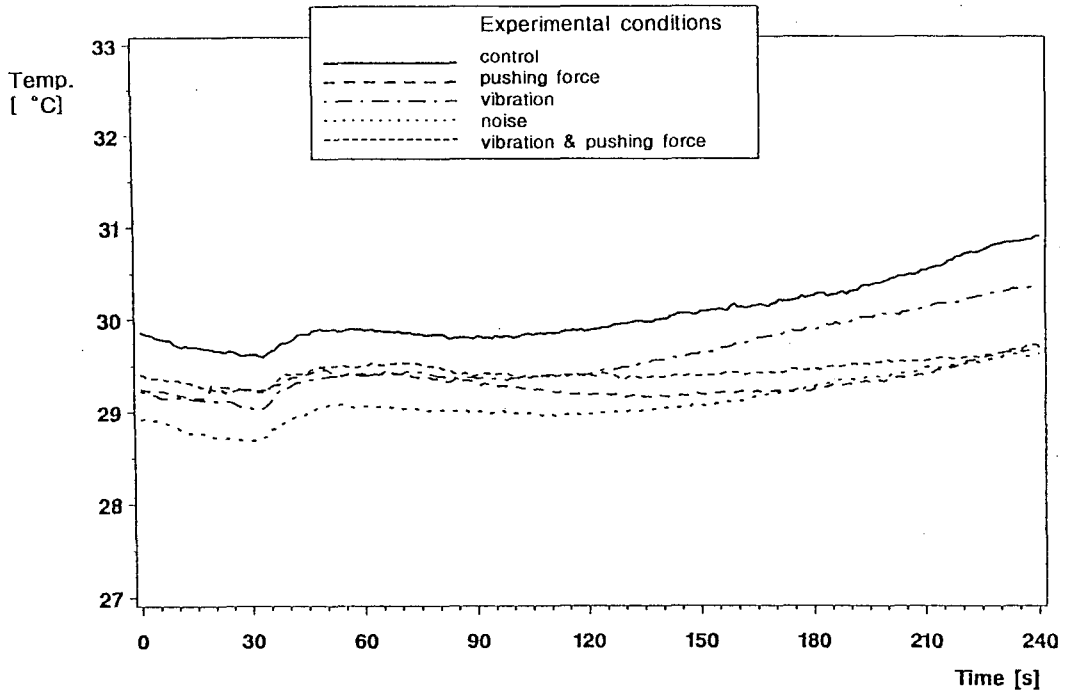


Fig. 7. Change of skin temperature of right index finger by grip temperature 33°C

수지의 기저부(bases of fingers)로 진행한다. 이 혈액순환장애는 혈관이 수축되면서 일어나는데, 차가운 환경조건 특히 아침이나 밤 등 신체의 대사활동이 저조할 때, 차가운 물체를 잡거나 차가운 물에 손을 넣었을 때, 그리고 여름보다는 겨울에 더 잘 생기며, 그러나 나중에는 계절에 관계없이 생길 수 있다. 진동에의 폭로가 계속될수록 이 창백현상(blanching attacks)이 더 자주 오게 된다. 전형적으로 이 현상이 수분에서 한시간 정도 지속되며 반응성 충혈(reactive hyperemia)과 때에 따라 통증을 수반하면서 종결된다. 손바닥까지 오는 경우는 매우 드물다. 일반적으로 이 현상이 휴식시간 이외에 작업시간에 오는 경우는 거의 없지만, 일부에서는 손가락이 차가울 때 진동 자극 자체가 창백현상을 야기하는 사례가 있다.

진동공구를 사용하는 근로자에게서 발생하는 혈액순환장애의 원인 및 병태생리학에 대해서는

아직 확실하게 알려진 바는 없고 지금까지의 실험적, 임상적 및 역학적 연구에 따라 여러가지 가설이 존재한다. 수지진동증후군과 관련된 병태생리학과 발생기전에 대한 연구들에 대해서는 Gemne(1992)가 잘 정리해주고 있다.

지금까지 진동폭로와 관련된 말초혈액순환에 대해서 큰 논란이 되었던 부분은 과연 진동폭로가 중추신경계 및 교감신경계를 자극하여 이상을 초래하느냐, 아니면 중추신경계를 거치지 않고 국소적인 혈관이나 혈관주위근육의 병변성 변화를 초래하느냐하는 문제이다.

인간의 수지의 피부조직은 그 두께가 2mm 정도밖에 안 된다. 체인톱과 같은 진동공구로 인한 진동은 피부표면으로 대부분 흡수되며 여기서 혈관과 혈관조절 신경조직의 물리적 손상을 초래할 가능성이 높다. 혈액순환장애는 수지에 국한되어 나타나는데 여기에는 혈관 및 혈관조절 체계와

관련된 조직, 즉 자율신경계통에서도 특히 교감신경계와의 관련성이 높다고 보고 있다. 즉 진동이라는 자극이 피부를 통해 자율신경계의 조절작용의 부적절한 기능을 초래하여 교감신경계의 상대적 항진이 되어 혈관의 평활근이 수축하여 발생한다고 본다.

진동유발성 교감신경의 항진(vibration-induced sympathetic hyperactivity)으로 보는 견해에 따르면, 진동에 의하여 중추신경반사기전(central sympathetic reflex mechanisms)이 지배적으로 작동하여 일시적 혈관수축이 오는데 오랜 기간 진동에 반복적으로 폭로되면 중추신경반사기전이 과도하게 활성화된다고 본다(Olsen, 1988). 그러나 과도하게 활성화된 교감신경의 혈관수축효과를 정량적으로 측정하고 평가하는 것이 어려워서 중추신경을 통한 혈관수축현상에 대한 단인자설은 많은 학자들에게 받아들여지지 않고 있다.

한편 자극인자(stressors)에 의한 자율기능이상(autonomic dysfunction)과 혈액역동학적 변화로 설명하는 학자들은 진동에 폭로되지 않은 군에 비해 진동에 폭로된 군에게서 교감신경의 과도한 항진을 보이는 지표들이 많다고 보고하고 있다. 따라서 여기서 진동은 이러한 변화를 가져오는 많은 가능한 자극인자(stressors)들의 하나라고 본다. Färkkilä(1990)는 진동유발성 창백지(vibration-induced white finger)에 이환된 임업근로자들에게서 체위성 저혈압이 관찰되어 이것을 자율신경계의 기능이상이라고 보았다. 그러나 이러한 증상이 영구적이거나 만성적인지는 언급하지 않았다. Bovenzi(1990)는 연마근로자들에게서, Heinonen 등(1987)은 체인톱사용근로자들에게서 Färkkilä(1990)와 같은 입장을 지지하는 관찰을 보고하였다. Bovenzi(1990)는 전형적인 교감신경자극실험을 통해서 혈압, 맥박 및 심장의 수축기간격(systolic time interval)을 측정하고, 특히 수축기간격의 차이를 관찰함으로써 과도한 교감신경반사의 항진이 창백지 발생에 주요한 기여를 한다고 하였다. 종합하면, 이 가설은 중추신경을 거

치지 않고 교감신경의 과도한 항진이 창백지 및 정신신체증상(psychosomatic symptoms)을 동반하는 자율신경계이상을 초래한다고 보며, 중추신경계통의 이상과는 관계가 없다고 본다. 그러나 이러한 반응의 만성화에 대해서는 역시 입증을 못하는 약점이 있다.

반면에 자율신경계이상과는 다른 방향, 즉 여러 인자들이 복합적으로 작용하여 혈액순환장애에 관여할 것이라고 보는 견해를 대표하는 학자 중에 Dupuis(1982)는 진동공구의 물리적 특성, 노동생리적 조건, 폭로기간 및 폭로수준, 휴식기, 기후환경적 요인, 개인의 체질적 및 유전적 소인 등의 여러인자가 복합적으로 관여한다고 보고 있다.

진동공구 사용시 사람이 공구를 들거나 진동작업을 수행시 가하는 악력의 중요성에 대해 많은 논문들에서 입증되어 왔다. 악력은 물건을 들거나 움직이는 물건을 한 곳에 고정시키기 위해서 가해지는 힘인데, 진동공구 사용시에는 악력으로 인하여 손의 혈관이 물리적으로 눌러서 폐쇄되므로 혈액순환의 감소를 초래한다고 밝혀지고 있다(Weichenrieder, 1977; Dupuis 등, 1982; Miyakita 등, 1990; Schwarzlose, 1983). 따라서 저자들은 진동폭로시 급성 혈액순환장애는 악력에 기인한다고 결론을 내리고 있다. 비슷한 입장은 역학조사에서도 밝혀지고 있는데, Koskimies 등(1992)은 전동톱의 무게와 진동가속도를 줄임으로써 악력 사용을 감소시켜 진동증후군의 유병율이 감소하였다고 보고하였다. 1972년부터 1990년까지 핀란드의 벌목공에서의 진동으로 인한 창백지의 유병율이 40%에서 5%로 감소하였다고 한다. 비슷한 결과를 Suzuki와 Iwasaki(1990)도 일본에서의 역학조사를 토대로 보고하였다.

본 실험에서는 악력변화에 대한 비교에서 소음이나 미는 힘, 단독으로 작용했을 때보다는 진동이 동반되었을 때 현저하게 악력이 증가되며 그것이 일정기간 계속 유지됨을 알 수 있었는데 Radwin(1986; 1987)도 진동폭로초기에 악력이

현저히 증가함을 관찰하였고 이를 손의 굴근과 신근의 근육반사적 수축현상인 '강직성진동반사 (Tonic Vibration Reflex)'라고 일컬었다. 이러한 강직성 수축은 50 Hz의 진동수를 가진 진동에 폭로되었을 때 처음 30초에 정점에 도달한 형태를 보였는데, 본 실험의 양상도 비슷한 결과를 보여 주었다. Pyykkö 등(1982)도 진동폭로후 30초에서 1분간 근육의 강도(tone)가 현저히 증가하였음을 보여주었는데, 진동가속도는 49 m/sec^2 로 매우 강한 진동으로 실제 작업현장에서는 볼 수 없는 진동조건이었다. 결론적으로 진동폭로시의 악력의 현저한 증가는 진동에 폭로됨과 동시에 근육이 단단히 공구를 잡고 현재 위치를 유지하려는 노력을 함으로써 야기된다고 하겠다.

이 현상을 설명하자면 진동하는 공구를 잡은 손바닥이 진동이라는 자극을 적절히 감지하지 못하고 중추신경계로 부정확한 정보를 전달하기 때문이라고 여겨진다. 인간에게는 진동을 정확히 감지하는 특이감각수용기(specific vibration sensory receptor)가 없기 때문에 17,000개(Johansson과 Vallbo, 1979; 1983)의 피하의 물리적 감각소체들(파치니소체, 마이스너소체, 메르켈소체 등)과 근육과 관절의 심층부의 감각소체에 의존하여 복합적으로 진동이라는 자극을 감지하므로 적절하게 진동에 대응하지 못하는 것으로 사료된다. 실제 많은 연구에서 진동자극 수에 일시적으로 진동감각의 역치(Temporary Threshold Shift of Vibratory Sensation: TTS)가 현저히 높아지므로(Nishyama와 Watanabe, 1981; Scheffer 1992), 진동자극이 반복될수록 외부 진동에 대응하는 감각이 무디어지면서 과도하게 악력이 사용되어지고, 그에 따라 진동전달이 증가되어지는 악순환이 계속되어 수지계의 부담을 크게하면서 동시에 지단의 혈액순환을 저지하는 것이라고 추측되어진다. 따라서 악력사용을 최소한도로 할 수 있는 작업방법의 개발, 즉 진동가속도를 줄이거나 또는 공구무게의 감소가 필요할 것으로 여겨진다.

실제적인 역학적 사례로, 일본의 Futatsuka와

Ueno(1986)은 일본 산림청근로자의 진동유발성 창백지의 유병율과 발생율을 1956년에서 1980년까지 비교검토하였다. 특히 1965년 3월에 일본 NHK 방송에서 이 문제가 보도됨에 따라 사회의 관심이 집중되기도 하였다. 유병율이 1960년 이후 증가하다가 1973년에 최고치(28.1%)를 이루고, 그 이후 1975년도부터 현저히 감소하여 1980년도에는 16.8%에 이른다. 이 중 1972년과 1973년부터 새로운 체인톱을 사용하기 시작했던 근로자에게서는 1980년에 관찰한 결과 단지 2%에 지나지 않는다고 보고하였다. 이러한 유병율의 감소는 1970년대 후반에 체인톱 손잡이의 가속도가 $49\sim 105\text{ m/sec}^2$ 에서 $10\sim 33\text{ m/sec}^2$ 으로 감소된 새 공구가 보급되었고, 1970년부터 산림청에서 체인톱의 사용을 하루 2시간 이내로 제한시킨 데에 기인한다고 해석하고 있다. 이러한 방진체인톱(antivibration chain saw)의 보급으로 유병율이 감소하였다는 것은 Riddle과 Taylor(1982)가 17%, Pyykkö 등(1986)에서 5%라고 보고한 데서도 찾아볼 수 있다(NIOSH, 1989에서 재인용).

수지의 지단피부온도의 변화양상을 볼 때, 본 연구에서는 악력증가와 지단피부온도변화와의 관련성을 발견할 수 없었다. 이는 기존의 연구들(Schwarzlose, 1983; Sch fer, 1985; Fritz, 1991)에서 악력증가로 체온이 감소했음을 보여주는 것과는 다른 결과를 보여주는 것이다. 그 이유로는 다른 문헌들과 비교해볼 때, Dupuis와 Scheffer(1988), Scheffer(1992) 및 Nakamura 등(1987)의 실험에서는 폭로시간이 5~13분으로 본 연구에 비하면 길었고 이 실험에서의 3분이라는 시간은 체온의 변화를 관찰하기에는 충분한 시간이 아니었다.

아울러 지단피부온도변화는 말초혈액순환을 그대로 나타내주는 지표가 되기에는 한계가 있음을 보여준다. 여기서도 시작체온이 실험도중의 체온 변화에 영향을 주고 있으며, 손잡이온도 역시 접촉단면을 통한 열전도현상으로 지단체온에 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 따라서 지단체온변화

는 말초혈액순환의 감소를 충분한 시간이 경과한 후에 간접적으로 나타내주며, 환경적 요인, 즉 기온 및 공구손잡이온도에 큰 영향을 받는 지표임을 알 수 있다. 그러나 따뜻한 손잡이가 지단체온의 급격한 하락을 방지해주는 것은 진동공구 사용시의 혈액순환에 도움을 준다는 점을 볼 때, 앞으로 공구손잡이의 온열장치는 진동병 예방에 기여할 것으로 추측된다. 또 진동유발성 창백지 증상이 나타나면, 환자는 차가운 것에 폭로되는 것을 금하는 것은 물론이고 집에서나 기타의 여가 활동에서 정원가꾸기, 낚시, 골프, 수영, 추운 야외에서의 활동 등을 금해야 하며, 진동폭로를 요하는 직업을 전환하고, 이후의 직업은 비교적 따뜻한 환경에서 일하는 것으로 택하는 것을 권장해야 한다.

Taylor와 Wasserman(1994)는 수완진동증후군을 예방하기 위해서 다음과 같은 점을 고려해야 한다고 권장하고 있다. ① 진동의 강도, 진동수의 스펙트럼과 발병과 연관성이 있다. ② 진동폭로 시간, 진동폭로시간의 증가와 진동증후군 증상의 악화와 장애의 증가관계는 명확한 연관성이 있다. ③ 계속적인 진동폭로는 중단되어야 한다. 적어도 1시간 폭로 시마다 10분의 휴식이 필요하다. ④ 공구손잡이를 잡는 악력의 증가는 진동에너지가 손으로 전달되는 것을 증가시키면서, 혈관, 신경, 인대, 관절 및 근육에 더 큰 손상을 준다. ⑤ 처음 진동폭로와 처음 지단이 창백해지는 현상(창백지)이 나타날 때까지의 기간인 잠복기가 짧은 사람이 진동효과에 더 민감하다고 하였다.

본 연구는 진동에 의한 악력증가 현상을 관찰하였지만 여기서 실험된 진동가속도가 한가지로 고정되어 있고, 진동가속도, 소음, 손잡이 온도 및 미는 힘의 인자를 모두 고려한 실제 진동공구 작업상황의 복합조건을 제시하지 못하였다는 제한점이 있다. 본 연구에서 관련된 모든 자극인자를 포함한 실험조건을 시행하였으면 더욱 바람직하리라고 여겨진다. 앞으로 여러 단계의 진동가속

도와 진동방향 및 다양한 조건의 진동수와 관련된 악력증가현상을 보는 보다 체계적인 연구가 필요하리라 사료된다.

결 론

본 연구의 목적은 진동공구 사용중의 근로자에게 미치는 여러 인자들의 복합효과에 대한 실험적 연구를 통하여 수완진동증후군에 관여하는 병태생리를 밝히고자 하였다. 즉 수완진동에 관여하는 인자들 중 진동강도, 공구손잡이온도, 소음, 미는 힘의 복합효과가 악력 및 지단체온에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

독일 도르트문트의 노동생리학연구소의 진동 실험실에서 남자대학생 46명을 실험대상자로 하였다. 실험조건은 5개의 조건으로 대조군(25 N의 악력만 사용), 제 2실험군(미는 힘 50 N), 제 3실험군(진동가중가속도 7.1 m/sec^2), 제 4실험군(소음 음압 95 dB(A) 및 제 5실험군(진동가중가속도 7.1 m/sec^2 및 미는 힘 50 N)으로 분류하여 각각 손잡이 온도 20°C 와 30°C 로 폭로시켰다. 시간적 경과를 실험대상자가 30초간 지시기의 안내에 따라 오른손으로 손잡이를 잡고 25 N의 악력을 유지하게 한 후, 3분(180초)간 이전의 악력 25 N을 유지한 채로 제 1실험군에서 제 5실험군까지의 실험조건을 가했다.

연구결과를 보면, 진동이 있는 실험조건에서 악력의 현저한 증가를 보인 반면, 다른 조건 즉, 미는 힘, 소음 및 공구손잡이온도는 악력증가에 영향을 주지 않았다. 수지체온 변화는 공구손잡이온도 및 시작 시 지단체온이 현저한 영향을 미치는 반면 악력, 미는 힘, 소음 및 진동조건은 유의한 영향을 주지 않았다. 진동공구 작업시 말초혈액순환에 영향을 주는 한 요소인 악력의 변화를 관찰하였을 때, 소음 또는 미는 힘에 단독으로 폭로되었을 때보다 진동 또는 진동 및 미는 힘에 같이 폭로되었을 때 악력이 현저하게 증가함을 알 수 있었다. 따라서 진동폭로 시 악력을 감소시

킬 수 있는 방안이, 즉 진동가속도의 감소, 공구 무게의 감소, 인체공학적 기구와 작업의 개발 등으로 수완진동증후군의 발생을 예방하는 데 기여할 것으로 여겨진다. 또 따뜻한 손잡이가 지단체온의 급격한 하락을 방지해준다는 점을 볼 때, 공구 손잡이의 온열장치 또는 방한장갑 등은 말초혈액 순환감소를 보이는 수완진동증후군을 예방하는 데 기여할 것으로 여겨진다.

참 고 문 헌

- 김성천, 이태준. 진동공구 사용자의 주관적 호소와 수지 피부 온도의 한냉이상반응. 가톨릭대학 의학부 논문집 1974; 27: 369-375
- 노재훈. 일부지역 탄광 착암 근로자의 진동증후군 유행을. 예방의학회지 1981; 14: 75-80
- 노재훈, 문영환, 신동천, 차봉석, 조수남. 진동공구 사용 근로자의 피부온도 변화. 예방의학회지 1988; 21: 357-364
- Bovenzi M. *Autonomic stimulation and cardiovascular reflex activity in the hand-arm vibration syndrome.* Kurume Med J 1990; 37: 85-94
- DIN 45675. Teil 1: *Einwirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen. Allgemeine Festlegung für die Messung.* 1987.
- Dupuis H. *Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System.* Bremerhaven, Wissenschaftsverlag NW, 1982, pp. 115 (Forschungsbericht der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund, Nr. 308)
- Fäkkilä M, Pyykkö I, Heinonen E. *Vibration stress and the autonomic nervous system.* Kurume Med J 1990; 37 (Suppl.): 53-60
- Futatsuka M, Ueno T. *A follow-up study of vibration-induced white finger due to chainsaw operation.* Scand J Work Environ Health 1986; 12: 304-306
- Gemne G. Chapter 4. Pathophysiology and pathogenesis of disorders in workers using hand-held vibrating tools. In: *Pelmeur PL, Taylor W, Wasserman DE. eds. Hand-arm vibration. New York, Van Nostrand Reinhold, 1992*
- Hamilton A. *A study of spastic anemic in the hands of stonecutters: An effect of the air hammer on the hands of stonecutters.* In: *Industrial accidents and hygiene series (Bulletin 236 No. 19).* Washington, D. C. : *United States Bureau of Labor Statistics; 1918 (adapted from Wasserman and Taylor, 1991)*
- Heinonen E, Färkkilä M, Forström J, Antila K, Jalonen J, Korhonen O, Pyykkö I. *Autonomic neuropathy and vibration exposure in forestry workers.* Br J Ind Med 1987; 44: 412-416
- ISO 5349. *Mechanical vibration-Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration.* International Organization for Standardization. 1986
- Johansson RS, Vallbo AB. *Tactile sensibility in the human hand: Relative and absolute densities of four types of mechanoreceptive units in glabrous skin.* J Physiol (London) 1979; 286: 283-300
- Johansson RS, Vallbo AB. *Tactile sensory coding in the glabrous skin of the human hand.* Trends Neurosci 1983; 1: 27-32
- Kosmies K, Pyykkö I, Starck J, Inaba R. *Vibration syndrome among Finnish forest workers between 1972 and 1990.* Int Arch occup Environ Health 1992; 64: 251-256
- Loriga G. *Pneumatic tools: Occupation and health.* Ball Inspec Lorboro 1918; 2: 35-37 (adapted from Wasserman and Taylor, 1991)
- Miyakita T, Miura H, Futatsuka M. *Hand-arm vibration, noise, temperature and static load: An experimental study of peripheral circulation while operating chainsaws.* Kurume Med J 1990; 37 (Suppl.): 73-83
- Moon YH, Roh JH, Cheon YH. *Vibration hazards in rock-drill operators of the anthracite mine. Proceedings of the Tenth Asian Conference on Occupational Health, September 5-10, 1982, Singapore (adapted from NIOSH; 1989)*
- Nakamura H, Nohara S, Nakamura H, Okada A. *Combined effects of local vibration and noise on peripheral circulatory function.* In: *Okada A, Manninen O, eds. Recent Advances in researches on the combined effects of environmental factors. Kanazawa (Japan), Kyoei, 1987 pp. 78-90*
- NIOSH. *Occupational exposure to hand-arm vibration. Criteria for a recommended standard.* U. S. Department of Health and Human services, Washington DC; 1989. (DHHS (NIOSH) Publication No. 89-106)
- Nishiyama K, Watanabe S. *Temporary threshold shift of vibratory sensation after clasping a vibration handle.* Int Arch Occup Environ Health 1981; 49: 21-33

- Olsen N. *Vibration-induced white finger. Physiological and Clinical Aspects (Thesis)*. Copenhagen, Laegeforningens Forlag, 1988
- Pyykkö I, Hyvärinen J, Färkkilä M. *Studies on the etiological mechanism of the vasospastic component of the vibration syndrome*. In: Brammer A, Taylor W, eds. *Vibration effects on the hand and arm in industry*. New York, Wiley, 1982 pp. 13-14
- Radwin RG. *Neuromuscular effects of vibration hand tools on grip exertions, tactility, discomfort, and fatigue*. Doctoral Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, 1986
- Radwin RG, Armstrong TJ, Chaffin DB. *Power hand tool vibration effects on grip exertions*. *Ergonomics* 1987; 30: 833-855
- Raynaud M. *On local asphyxia and symmetrical gangrene of the extremities*. 1862. (The New Sydenham Society, London, 1888. Selected monograph)
- Schäffer N. *Akute Wirkungen stosshaltiger Schwingungen auf das Hand-Arm-System*. BMFT-FB-HA 85-020 Fachinformationszentrum Karlsruhe 1985, pp. 1-131
- Scheffer M. *Wirkung von Greif- und Andruckkraft unter Schwingungsbelastung*. Forschungsbericht Hand-Arm-Schwingungen III. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, St. Augustin 1992 pp. 37-164
- Schwarzlose H. *Zur Beanspruchung des Menschen durch Hand-Arm-Vibration bei verschiedenen Umgebungstemperaturen unter besonderer Berücksichtigung der Tätigkeit von Steinmetzen*. Düsseldorf, VDI-Verlag, 1983 (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 11, Nr. 55)
- Suzuki H, Iwasaki S. *Effects of the reduction of vibration intensity of chain saws on the prevalence rates of vibration syndrome among forestry workers*. Tokyo, Sangyo-Igaku 1990; 32: 18-25
- Weichenrieder A. *Die Belastung des Menschen durch Hand-Arm-Vibrationen und Lärm sowie deren Auswirkung auf die Hörfähigkeit und die Durchblutung der Hände*. Diss., Techn. Univ. München, 1977
- Taylor WA, Wasserman DE. *Occupational Vibration*. In: Zenz C, Dickerson OB, Horvath EP, eds. *Occupational medicine*. St. Louis, Mosby, 1994, pp. 297-304