

# 진동에 의한 근골격계질환



## Musculoskeletal Disorders



성균관대 경북삼성병원  
직업환경의학과의 교수  
김수근

## 서론

근골격계질환(Musculoskeletal Disorders, MSDs)은 인체의 운동 또는 근골격계(근육, 힘줄, 인대, 신경, 디스크, 혈관 등)에 영향을 주는 손상 및 장애이다.

근골격계질환(MSDs)의 다른 일반적인 이름은 “반복적인 운동 상해(repetitive motion injury)”, “반복적인 스트레스 손상(repetitive stress injury)”, “과사용 상해(overuse injury)” 등이다. 이런 종류의 용어를 사용할 때의 문제점은 근골격계 손상(반복 및 스트레스) 단 하나의 원인을 암시한다는 것이다. 점점 더 많은 연구가 근골격계질환(MSDs)으로 이어지는 여러 가지 원인의 위험요소를 가리키고 있기 때문에 이런 용어는 제한적이다. 따라서 근본적으로 문제를 기술하기 때문에 우리는 “근골격계질환(Musculoskeletal Disorders, MSDs)”이라는 용어를 사용한다.

근로자가 MSDs 위험요소에 노출되면 피로가 시작된다. 피로가 몸의 회복 시스템(body's recovery system)을 초과하면 근골격계 불균형(musculoskeletal imbalance)이 생긴다. 시간이 지남에 따라 피로회복이 되지 않으면 근골격계 불균형이 지속되어 근골격계질환이 발생한다.

이러한 위험요소는 업무 관련 위험요소와 개인 관련 위험요소의 두 가지 범주로 나눌 수 있다.

## 업무 관련 위험요소

작업장 설계(Workplace design)는 근골격계질환의 발생에 결정적인 역할을 한다.

근로자가 자신의 신체 기능 한계를 벗어나는 작업을 수행하도록 요구받으면 근골격계는 위험에 처하게 된다. 이러한 상황에서 워크스테이션 디자인(workstation design)의 객관적인 평가는 작업자의 회복 시스템(worker's recovery system)이 작업 수행으로 인해 발생할 피로를 따라갈 수 없다는 것을 알려준다. 평가 결과 인체 공학적 위험요소가 존재하고 근로자에게 근골격계 불균형을 일으킬 위험이 있으며 근골격계 장애가 임박한 현실임을 알 수 있다.

인체 공학적 위험요소에는 세 가지 기본 요소가 있다.

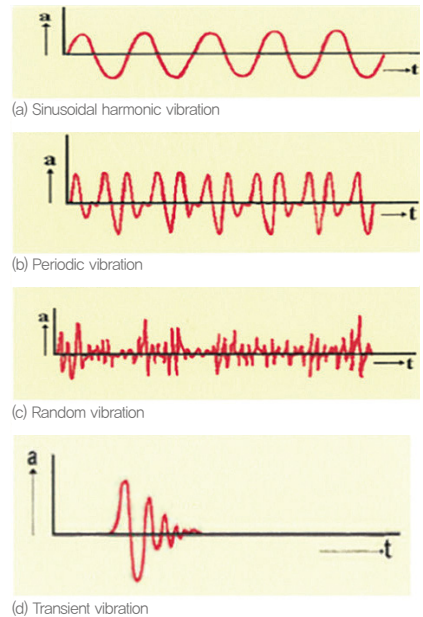
- **심한 작업 반복(High task repetition)** : 많은 일의 작업과 주기는 본질적으로 반복적이며 시간별 또는 일별 생산 목표 및 작업 프로세스에 의해 자주 제어된다. 고위험 및 어색한 자세와 같은 다른 위험요소와 결합할 때 작업 반복(task repetition)은 MSDs의 형성에 기여할 수 있다. 작업 시간이 30초 이하이면 작업이 매우 반복적인 것으로 간주된다.
- **강력한 운동(Forceful exertions)** : 많은 작업은 인체에 높은 부담(high force loads)을 요구한다. MSDs로 이어질 수 있는 관련 피로를 증가시키는 높은 힘의 요구(high force requirements)에 따라 근육 운동이 증가한다.
- **반복적인 또는 지속된 어색한 자세(Repetitive or sustained awkward postures)** : 어색한 자세(awkward postures)는 관절에 과도한 힘을 가하고, 관절 주위의 근육과 힘줄에 과도한 부담을 준다. 몸의 관절은 관절의 중간 범위 동작(mid-range motion)에 가장 가깝게 작동할 때 가장 효율적이다. 관절의 운동 범위가 중간 범위를 벗어나 반복적으로 또는 적절한 복구 시간 없이 지속되는 경우 MSDs 위험이 증가한다.

이러한 작업장 위험 요인에 노출되면 근로자는 MSDs 위험 수준이 높아진다. 심한 작업 반복, 강력한 운동과 반복적·지속된 어색한 자세는 근로자의 신체가 회복 능력을 넘어서 피로를 느끼게 하여 근골격계 불균형과 결국 MSDs를 유발한다.

## 진동

진동은 평형 위치(equilibrium position) 주변 시스템의 진동 운동(oscillatory motion)으로 정의된다.<sup>1)</sup> 진동은 고체, 기체 또는 액체 상태에서 발견할 수 있으며 진동 운동은 주기적 또는 무작위적(periodic or random), 연속 또는 간헐적(continuous or intermittent)이거나 정상 상태 또는 일시적(steady state or transient)일 수 있다(그림 1).<sup>2)</sup> 진동의 주된 특성은 크기(magnitude), 주파수(frequency), 방향(direction) 및 지속 시간(duration)이다.<sup>3)</sup>

“동력(power)”으로 알려진 진동 크기(vibration magnitude)는 가속도(acceleration)를 나타내며 제곱 초당 미터( $m/s^2$ ) 단위로 측정된다.<sup>4)</sup> 그러나 가속도의 크기는 진동이 충격을 포함하지 않을 때 제곱 평균 제곱근(root mean square, rms) 값으로 표현된다.<sup>4)</sup> 진동의 주요 요소 중 하나인 주파수는 초당 완료 사이클의 수로 정의되며 Hz 단위로 측정된다. 또한 노출 시간과 함께 진동부하량(dose)에 영향을 주는 요소를 측정해야 한다.<sup>3)</sup> 인간진동노출(Human vibration)은 환경에서 인체에 이르는 기계적 진동 효과로 정의된다.<sup>5)</sup>



〈그림 1〉 진동의 유형

산업현장에서 인체에 해를 주는 진동은 크게 국소 진동, 전신 진동 2가지로 분류된다. 국소 진동이란 인체 일부분을 통해 전달되는 진동으로 수공구를 사용하면서 손으로 전달되는 진동을 말한다. 이외에 신체 일부분이 아닌 신체 여러 부위에 전반적으로 전달되는 진동이 있다. 차량이나 배, 비행기 등에 탑승했을 때의 진동이 그것으로 전신 진동이라 부른다. 2가지 진동은 측정방식이나 분석방법 등 여러 가지 면에서 많은 차이가 있다. 특히 인체에 해가 되는 주파수 특성이 많이 다르다. 진동은 전신 또는 신체 일부에 영향을 미칠 수 있다.

## 1. 수완 진동(Hand arm vibration, HAV)

수완 진동은 국소 진동이라고도 한다. HAV는 공구에서 작업자의 손과 팔로 진동이 전달되는 분할된 진동으로 알려져 있다. 생산되는 진동 수준은 공구의 크기와 무게(tool's size and weight), 추진 방법(method of propulsion) 및 공구의 구동 메커니즘(tool's drive mechanism)에 따라 달라진다. 그러나 이전의 연구들은 진동하는 손 도구에 오랜 기간 노출되면 수완 진동 증후군(HAVS)과 관련이 있음을 보여주었다.<sup>6,7</sup> 진동에 노출이 되면 일시적인 감각 손상(temporary sensory impairments)이 생겼다가 회복하는데 20분 이상이 소요된다.<sup>8,9,10</sup>

손-팔 진동(HAV)은 손을 통해 전달되는 기계적인 진동으로 손-팔 계통에만 주로 영향을 미친다. 손-팔 진동은 나무 다듬기(전정기)류(hedge trimmers) 등을 포함한 휴대용 전동 또는 공압 공구로 인해 발생한다.

## 2. 전신 진동(Whole-body vibration, WBV)

WBV는 착석 위치에 있는 인체에 진동을 전달하는 것이다.<sup>11</sup> 전신 진동(WBV)은 앉아서 작업할 때는 엉덩이 또는 등을 통해 전신으로 전달된다. 서서 작업할 때는 발을 통해 전신으로 전달되고, 반듯이 누워 작업할 때는 머리와 등을 통해 전신으로 전달된다. 이는 전신에 영향을 미친다. 전신 진동은 자동차 또는 오토바이 등으로 이동할 때와 같이 여가를 즐기는 동안에도 발생할 수 있다. WBV에 대한 0.01~50 Hz/h 범위의 진동 주파수는 멀미(motion sickness), 통증(pain), 불편함(discomfort), 구토(vomiting) 및 무감각(numbsness to the skin)을 일으킬 수 있다.<sup>12</sup> 신체는 WBV에 지속적으로 노출되어 생리학적 및 병리학적인 영향을 받게 된다.<sup>13</sup> 기존의 연구들은 WBV 노출의 연관성을 보여주는 중등도 이상의 강력한 역학적 증거가 있음을 보여주었고, 특히 직업 운전자의 경우 요통의 위험이 55~65% 증가하였다.<sup>14,15</sup>

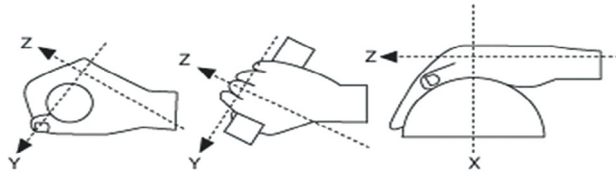
국소 진동은 ISO 기준으로 6.3~1250 Hz 사이의 주파수대 가속도 측정을 기본으로 하고, 전신 진동은 0.8~90 Hz 사이의 주파수대 가속도를 측정한다.

## 진동의 표준 지침(Standard guidelines of vibration)

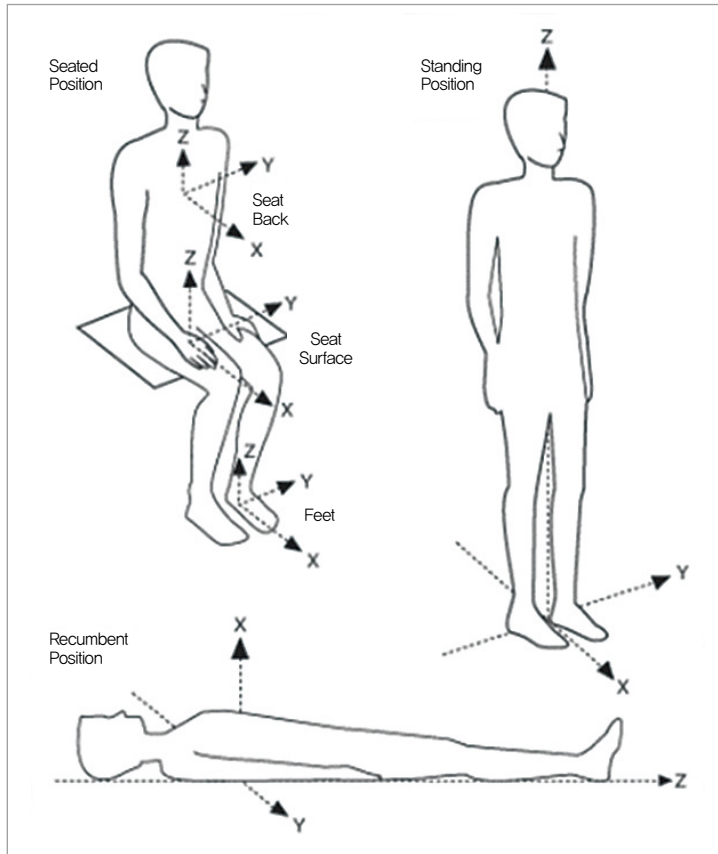
인간진동노출에 두 가지 지침, 즉 ISO(International Organization of Standard) 및 EU 지침(European Directive)이 일반적으로 사용된다. 인간진동노출에



대한 ISO는 WBV에 사용되는 ISO 2631과 손으로 전송되는 측정에 사용되는 ISO 5349-1의 두 표준으로 나뉜다. 두 ISO 표준 모두에서 측정 및 분석할 수 있는 인간 진동 신호의 세 가지 유형(three types of human vibration signals)이 있다. 이들은 HAV 신호(HAV signal), WBV 신호(WBV signal) 및 저주파수 WBV 신호(low-frequency WBV signals)이다<그림 2>. 그리고 전신 인간진동노출을 측정하기 위해 사용된 좌표 시스템<그림 3>은 신체 일부와 진동 표면 사이의 경계에서 기원을 보여준다.<sup>16, 17)</sup>



<그림 2> HAV 측정에 사용되는 좌표계(source : ISO 5349-1, 2001)



<그림 3> 인간의 전신진동노출을 측정하는 데 사용되는 좌표계(source : ISO 2631-1, 1997)

또한 ISO 표준은 사람의 진동 신호에 적용할 수 있는 가중치 필터(weighting filters)를 제공한다. 이러한 가중치 필터는 사용자가 관심을 가지는 방향 구성 요소를 분리하고 다양한 유형의 인간 진동노출을 분석하는 데 도움을 줄 수 있다. ISO 2631-1에서는 여섯 가지 가중치가 사용되고 ISO 5349-1에서는 하나만 사용된다.<sup>18)</sup>  $W_c$ ,  $W_d$ ,  $W_e$ ,  $W_j$ , 및  $W_k$  가중 필터는 WBV 신호에 사용되며,  $W_h$ 는 HAV 신호에 대한 가중 필터,  $W_f$ 는 저주파수 WBV 신호에 대한 가중 필터이다.

ISO 2631은 건강, 불편, 지각 및 멀미 분석을 위해 서 있는 자세, 앉아있는 자세, 그리고 기대어 선 자세에 사용하는 피험자의 조합에 대한 가중치 필터를 설명한다. 또한, 서로 다른 가중치 필터가 서로 다른 측정 축(전방, 측면, 수직, 회전)에 어떻게 사용되어야 하는지를 설명한다. ISO 2631은 차량 사고와 같은 극도의 단일 충격 평가에는 적용되지 않는다는 점도 강조한다. WBV의 총 가속도 값(total acceleration value)을 얻으려면 다음 공식을 사용한다.

$$\alpha_{bv} = \sqrt{1.4\alpha_{wx}^2 + 1.4\alpha_{wy}^2 + \alpha_{wz}^2}$$

8시간의 에너지 등가 가속도(8h energy equivalent acceleration)를 나타내는  $A(8)$ 을 이용한 WBV의 평가는 다음과 같은 공식으로 구한다(ISO5349-1, 2001).

$$[A(8)] = \alpha_{bv} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

$T$  = 진동에 노출된 하루 총 시간(Total daily duration of exposure to the vibration).

$T_0$  = 기준 지속 시간 8 시간(28,800초)(The reference duration of 8 h(28,800 s)).

표준 ISO 5349-1은 수완 시스템(level of vibration for the hand-arm system)의 진동 수준을 측정하는 절차를 정의하기 위해 개발되었다. Mansfield는 국제 표준화기구(ISO)가 국소 진동(손으로 전송되는 진동)을 평가하기 위한 ISO 5349-1 : 1986<sup>19)</sup>의 첫 번째 버전을 직접 대체하기 위해 ISO 5349-1 : 2001의 새 버전의 가이드라인을 작성했다고 설명했다. 이 표준에서는 총 진동 노출(total vibration exposure)(ahv)을 평가하기 위해 세 방향(X-, Y-, Z- 축) 모두에서 가속도 측정을 하는 것이 좋다. 진동의 전체 값은 세 가지 구성요소 값의 rms로 정의된다.

각기 다른 기간의 일일 노출 간 비교를 용이하게 하기 위해, 일일 진동 노출(daily vibration exposure)은 아래의 방정식에 나와 있는 것처럼 8시간 에너지 동등 주파수 가중 진동 총 값(8-h energy-equivalent frequency-weighted vibration total value),  $a_{hv}(eq, 8 h)$ 로 표현된다.  $a_{hv}(eq, 8 h)$ 는  $A(8)$ 로 표현된다.

$$[A(8)] = a_{hv} \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

T = 진동에 노출된 하루 총 시간(Total daily duration of exposure to the vibration),  
 T<sub>0</sub> = 기준 지속 시간 8시간(28,800초)(The reference duration of 8 h(28,800 s).

EU Directive 2002/44/EC는 근로자들 간 진동 노출에 관한 최소한의 건강 및 안전 요건을 사용자에게 안내하기 위해 개발되었다. EU 지침은 두 가지 유형의 진동에 대한 노출 한도 및 조치 값에 중점을 두었다. HAV에 대해 표준화된 일일 노출 한도 값은 5.0 m/s<sup>2</sup>이고, 일일 노출량 값은 2.5 m/s<sup>2</sup>이다. 한편, WBV의 경우 일일 노출 한도 값은 1.15 및 0.5 m/s<sup>2</sup>로 설정되었다. HAV 노출을 통제하기 위해 이 지침은 총 일일 노출 시간(〈표 1〉)을 기준으로 임계값을 설정했으므로 이를 초과해서는 안 된다. 한편, WBV에 대한 지침은 ISO 2631에서 채택되었다.

〈표 1〉 Xh, Yh, Zh 중 어느 하나의 진동에 대한 손 노출 임계 값(TLV)

총 일일 노출 지속시간 (Total Daily Exposure Duration)	Component Acceleration which shall not be Exceeded $a_k(a_{keq})$	
	m/s <sup>2</sup>	g <sup>^</sup>
4시간 이상 ~ 8시간 미만 (4 hours and less than 8)	4	0.40
2시간 이상 ~ 4시간 미만 (2 hours and less than 4)	6	0.61
1시간 이상 ~ 2시간 미만 (1 hours and less than 2)	8	0.81
1시간 미만 (less than 1 hour)	12	1.22



## 업무상 근골격계질환(Work related musculoskeletal disorders, WMSD)

WMSD는 상지와 하지, 목 및 허리의 지지 구조로 기능하는 근육, 신경, 연골, 인대 및 관절의 손상으로 정의된다. 이것은 일반적으로 신체가 반복, 힘, 진동 또는 어색한 자세와 관련된 신체 활동에 노출되었을 때 발생한다.<sup>20)</sup>

위험 요소에 반복적으로 노출되면 조직손상(tissue damage)과 증상의 심각성(symptom severity), 그리고 급성 손상 또는 만성 상태의 질환이 증가하는 상황은 특히 초기 단계에서 임의적일 수 있다.

그러나 WMSD의 대부분은 임상 병리학적으로 종종 진단 될 수는 없지만 신체적 손상(physical impairment) 및 장애(disability)를 유발할 수 있다.<sup>21)</sup> WMSD의 증상으로는 국소 또는 전신 통증(local or generalized pain), 불편함(discomfort), 접촉 감각의 상실감 또는 과민성(loss or hypersensitivity of sensation to touch), 열과 압박감(heat and pressure), 근육 힘의 상실(loss of muscle strength), 통제된 운동(controlled movements) 또는 균형 반응(balance reactions)을 수행할 수 있는 능력 상실 등이 있다.<sup>22)</sup>

말레이시아의 남성 상업 버스 운전자들 사이에서 실시된 연구에 따르면 WMSD의 전반적인 유병률은 81.8%이었고, 요통 호소율은 58.5%이었다.<sup>23)</sup>

진동은 힘줄, 근육, 뼈, 관절 및 신경계에도 영향을 줄 수 있다. 일반적으로 이러한 효과는 HAVS로 알려져 있다.<sup>23)</sup> HAVS는 전동 공구에서 손으로 전달되는 진동에 장기간 노출되어 손의 혈관 및 비 혈관계 장애를 결합한 것이다. 신체의 혈관계, 신경계 및 근골격계의 다양한 장애를 유발할 수 있다.<sup>24)</sup> 손 공구의 진동이 신경근 힘 제어에 교란을 일으킬 수 있음을 입증했으며, 진동 손잡이를 지탱할 때 과도한 그립력(excessive grip exertions)을 발휘한다.<sup>25)</sup> 인체에 전달되는 진동 영역 중 HAV는 WBV 다음으로 업무상 근골격계질환을 일으킨다.<sup>26)</sup>

손목터널증후군(Carpal tunnel syndrome)은 손과 손목의 통증과 손의 쥐는 힘이 약화(weak hand grip)되는 장애 유형이다. 그것은 손목 신경들 사이의 문제들로 인한 것이다.<sup>27)</sup> 증상은 보통 손과 손목의 통증, 약한 손 그립(weak hand grip), 무감각(numbsness)이 손목에서부터 엄지손가락, 인지, 중지 또는 약지까지 점차 나타나고 시간이 지남에 따라 편이나 바늘로 찌르는 듯한 감각이 생기며 악화된다. 또한 수면 중 종종 깨어나게 하는 통증을 유발할 수 있다.<sup>28)</sup>

레이놀드 병(Raynaud's disease)은 혈액 순환 장애로 처음 설명되었는데, 하나 이상의 손가락이 흰색이 되고 동시에 손가락의 냉감을 느낀다.<sup>29)</sup> 1~3%의 경우 손가락이 창백해지는 것(blanching attacks)이 수년에 걸쳐 점진적으로 심해져 피부가 위축되거나 궤양을 일으키거나 푸르스름한 색 및 차가운 손가락으로 변한다.<sup>30)</sup> 레이놀드 병은 두 단계로 나뉜다. Maurice Raynaud 박사에 의해 최초로 기술된 1차 레이놀드 현상(primary Raynaud's phenomenon)은 여성 대 남성 비율이 5 : 1인 일반 인구의 15% 미만에서 자발적으로 발생한다.<sup>31, 32)</sup> 2차 레이놀드 현상(secondary Raynaud's phenomenon)은 같은 징후와 증상을 나타내며 같은 단계의 심각성을 통해 진행되지만 다른 건강 상태, 염화 비닐 또는 진동식 손 도구와 같은 특정 원인과 관련될 수 있다.<sup>30)</sup>

## 기존 연구 결과

기존 연구에서는 오토바이 운전자의 직업적 진동 노출과 관련된 증상의 유병률을 조사했다. Chen과 Pan은 택시 운전자( $0.17 \sim 0.55 \text{ m/s}^2$ )와 고속도로 운송트럭 운전자( $0.34 \sim 0.56 \text{ m/s}^2$ )의 4륜 차량 전신진동 노출보다 오토바이의 WBV 노출이  $0.56 \sim 1.11 \text{ m/s}^2$ 로 더 컸다.<sup>33, 34, 35)</sup> 높은 수준의 진동에 장기간 노출되면 멀미, 피로, 두통이 생길 수 있다. 진동 에너지가 전체로 전달되기 때문에 신체는 국부적인 효과를 일으킨다.<sup>36)</sup> 이는 또한 WBV에 장기간 노출되면 강한 척추 장애나 상해 및 만성 요통을 유발할 수 있음을 보여준 Ruppe와 Mucke의 결과와 일치한다.<sup>37, 38, 39)</sup>

일본에서 Seyed 등은 교통경찰 오토바이 운전자들 사이의 HAV 노출을 평가했다.<sup>40)</sup> 오토바이를 타는 경찰 중 손가락이나 손의 주관적 증상을 호소하는 경우가 0.5~19.3%의 범위였는데, 응답자의 4.2%는 손가락이 창백해졌고 13.4%는 어깨 통증이 있었다. 측정된 평균 진동 값은  $2.6 \text{ m/s}^2 \text{ rms}$ 이었다. 그들은 또한 오토바이의 진동과 관련된 주요 요인이 오토바이 자체, 핸들 바를 잡는 동안 손과 팔의 자세, 주변 환경 및 오토바이를 타는 기간이라는 사실을 강조했다.

Stefano 등에 따르면 오토바이를 타는 동안 발생하는 인체 공학적 문제로 수동력(manual force) 및 손목 자세(굴곡 및 신전 정도)와 관련이 있어 라이더의 손과 팔에 부담을 줄 수 있다.<sup>40)</sup> 유럽에서는 전문적인 고속 모터바이크 기수가 HAV 노출과 관련

된 증상을 나타낼 위험이 있다.<sup>41)</sup> 게다가, HAV에 노출된 인체 공학적 스트레스 요인은 여성 라이더들의 손과 팔 시스템에서 다양한 증상의 발생에 주요 기여자로 확인되었다. 이 연구에서 진동에 노출되었을 때 손가락이 창백해지고 통증이 느껴지는 것을 발견했다.<sup>42)</sup> 평균 진동 부하량 값(mean vibration dose value)은 저속(20~40 km/h)보다 고속에서 높았다. 이러한 결과는 보다 빠른 승차 속도가 진동 노출을 낮추는 몇 가지 연구에 의해 뒷받침되었다.

또한 경찰관 중 MSD와 관련된 기존의 연구가 수행되었다(표 2). 연구자들 대부분은 경찰들 사이에서 MSD 수준이 높다는데 동의했다.<sup>43~47)</sup> 각기 다른 대상자들은 각기 다른 부분에서 통증의 정도가 다르다. 몸의 근육이 다르고, 사용되는 신체 근육의 정도가 다르며, 근무 조건이 다르기 때문이다.<sup>48, 49)</sup> Lipscomb 등은 응답자의 4분의 1이 MSD로 인해 5일까지 병가를 낸다고 보고했다. 경찰의 대다수는 징집하기 전에 허리 통증을 경험하지 않았다.<sup>50)</sup>

〈표 2〉 경찰 간 근골격계질환의 유병률

Author(Year)	Country	Number of respondents	Part of body	Prevalence MSD
Ana et al.(2015)	Brazil	262 police officers	Neck, shoulder, back, Elbow, forearm, low back, wrist, hips, knee, ankle	75%
Cho et al.(2014)	Korea	353 police officers	Neck, shoulder, Elbow, lumbar, wrist, leg	76.8%
Brown et al.(1998)	Canada	1002 police officers	Lower back	44~62%
Anderson et al.(2011)	Canada	30 police officers	Lower back	86%
Gyi and Porter(1998)	United Kingdom	80 traffic car drivers and 91 general duty officer	Lower back	38%(traffic car drivers) and 22%(general duty officer)
Nazmul(2013)	Bangladesh	40 traffic police	Lower back	80%

## 결론

기존 연구에서 전신진동이 WMSD의 위험을 증가시킨다고 하였다.

교통경찰 라이더는 높은 수준의 오토바이 진동에 노출되는 고위험 직업에 속한다. 장기간 앉아있는 자세와 정적 자세에서의 진동에 대한 노출로 인해 WMSD의 발병률이 높다. 따라서 잠재적인 결과, 노출을 줄이는 방법, 진동 및 WMSD와 관련된 위험 진동 노출 수준을 조사하기 위해서는 더 많은 연구가 필요하다.

별목 근로자들에 대한 연구에서 만성적인 진동노출 후에 근력과 악력저하 호소가 발견되었다. 이러한 소견들은 근육기능에 대한 진동의 영향을 시사하는 것이지만 기전이나 영향의 정도는 아직 알려진 바 없다.

손목터널증후군, 듀피트렌 구축, 방아쇠 수지 등이 진동노출 근로자들에게서 보고되었으나 손목터널증후군만이 상관관계가 인정되고 있다.

근골격계 이상은 상지의 뼈와 관절 이상을 포함한다. 이러한 영향은 무거운 공구를 수작업할 때뿐만 아니라 충격 진동과 관련하여 발생할 수 있다. 관절주위의 골화는 주관절의 운동 범위를 제한할 수 있다. 이러한 사실은 특별히 검사에서 누락되지 않는다면 의심의 여지가 없다. 🗨️

## 참고문헌

1. Chen HC, Pan YT. Whole-body vibration exposure in urban motorcycle riders. In: Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Asian Conference; 2013.
2. NIOSH. The Industrial Environment: Evaluation and Control. Cincinnati, Ohio: National Institute for Occupational Safety and Health; 1973.
3. Stephan JB. Long driving hours and health of truck drivers. Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of New Jersey Institute of Technology; 2008.
4. Hussey M. Fundamentals of mechanical vibrations. New York: Macmillan; 1983.
5. Brüel, Kjær. Human vibration. Retrieved from Brüel & Kjær Beyond Measure; 2014. Available from: <http://www.bksv.com/Applications/OccupationalHealth/HumanVibration>
6. Ekenvall L, Carlsson A. Vibration white finger: A follow up study. Br J Ind Med 1987;44:476-8.
7. Futatsuka M, Ueno TA. A follow-up study of vibration-induced white finger due to chain-saw operation. Scand J Work Environ Health 1986;12:304-6.

8. Streeter H. Effects of localized vibration on the human tactile sense. *Am Ind Hyg Assoc J* 1970;31(1):87–91.
9. Radwin RG, VanBergeijk E, Armstrong TJ. Muscle response to pneumatic hand tool torque reaction force. *Ergonomics* 1989;32(6):655–73.
10. Kume Y, Maeda S, Hashimoto F. Effect of localized vibration in work environment on organic functions at fingertip for surface roughness. In: *Proceedings of the 1984 International Conference on Occupational Ergonomics*, Toronto, Canada, Human Factors Association of Canada: 1984:457–61.
11. Börje R. Musculoskeletal disorders and whole-body vibration among professional drivers of all-terrain vehicles. Department of Public Health and Clinical Medicine, Occupational Medicine, Umeå University, Umeå, Sweden; 2004.
12. Uchikune M. Study of the effects of whole-body vibration in the low frequency range. *J Low Freq Noise Vibrat Active Control* 2004;23(2):132–8.
13. Griffin MJ. *Handbook of human vibration*. London: Academic Press; 1990.
14. Bovenzi M, Hulshof CTJ. An update review of epidemiological studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and LBP (1986–1997). *Int Arch Occup Environ Health* 1997;72(6):351–65.
15. Okunribido OO, Magnusson M, Pope MH. LBP in drivers: The relative role of whole-body vibration, posture and manual materials handling. *J Sound Vibrat* 2006;298(3):540–55.
16. ISO 2631 (1997–2003). *Mechanical vibration and shock—evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements*. Geneva: International Organization for Standardization (ISO); 1997.
17. ISO 5349–1. *Mechanical vibration—measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration, Part 1: General requirements*. Geneva: International Organization for Standardization (ISO); 2001.
18. Department of Occupational Safety and Health. *Guidelines on occupational vibration*. Ministry of Human Resource, Malaysia; 2003.
19. Mansfield NJ. *Human response to vibration*. New York, Washington, DC: CRC Press; 2005.
20. Centres for Disease Control and Prevention (CDC): NIOSH. *Musculoskeletal disorders*; 2012. Retrieved from: <http://www.cdc.gov/niosh/programs/msd>
21. Beeck ROD, Hermans V. *Work-related low back disorder*. Luxembourg: European Agency for Safety and Health at Work; 2000.
22. Punnett L, Wegman DH. Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate. *J Electromyogr Kinesiol* 2004;14:13–23.
23. Canadian Centre for Occupational Health Safety (CCOHS). *Vibration – Health effects*; 2008. Retrieved from: [www.ccohs.ca/oshanswers/phys\\_agents/vibration/vibration\\_effects.html](http://www.ccohs.ca/oshanswers/phys_agents/vibration/vibration_effects.html)
24. Griffin MJ, Bovenzi M. The diagnosis of disorders caused by hand-transmitted vibration: Southampton Workshop 2000. *Int Arch Occup Environ Health* 2002;75(1–2):1–5.
25. Radwin RG, VanBergeijk E, Armstrong TJ. Muscle response to pneumatic hand tool torque reaction force. *Ergonomics* 1989;32(6):655–73.
26. Simona L, Bianca P. Hand-arm vibrations. An interdisciplinary engineering and medical study. *Fascicle Manag Technol Eng* 2007;VI(XVI):536–41.
27. University of Maryland Medical Center (UMM). *Carpal Tunnel Syndrome*; 2013. Retrieved from: <http://umm.edu/health/medical/reports/articles/carpal-tunnel-syndrome>
28. Acunatural health. *Acupuncture for Carpal Tunnel Syndrome*; 2014. Retrieved from: <http://www.acunaturalhealth.com.au/acupuncture-for-carpal-tunnel-syndrome>

29. Raynaud M. Local asphyxia and symmetrical gangrene of the extremities. London: New Sydenham Society; 1988. Retrieved from: <http://www.who.int/publications/cra/chapters/volume2/1651-1802.pf>
30. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Vibration syndrome; 2014. Retrieved from: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/83-110>
31. Hines EA, Christensen NA. Raynaud's disease among men. *J Am Med Assoc* 1945;129:1-4.
32. Holti G. Raynaud's phenomenon—Raynaud features acrocyanosis, cryoimmunoproteins. In: Altura BM, Davis E, Harders H, eds. *Advances in microcirculation*. Vol. 10. New York, Karger-Basel: 1982:1-16.
33. Chen HC, Pan YT. Whole-body vibration exposure in urban motorcycle riders. In: *Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Asian Conference*; 2013.
34. Chen JC, Chang WR, Shih TS, Chen CJ, Chang WP. Predictors of whole-body vibration levels among urban taxi drivers. *Ergonomics* 2003;46:1075-90.
35. Cann AP, Salmoni AW, Eger TR. Predictors of whole-body vibration exposure experienced by highway transport truck operators. *Ergonomics*. 2004;47:1432-53.
36. Mukesh H, Deshmukh DS, Solanki PM. Vibration analysis of a two wheeler (analytically). *Int J Innov Res Sci Eng Technol* 2014;3(11):17415-21.
37. Ruppe K, Mucke R. Functional disorders at the spine after long lasting whole-body vibration. In: Nielsen VR, Jorgensen K, eds. *Advances in industrial ergonomics and safety*. UK:Taylor and Francis; 1993:483-6.
38. Bovenzi M, Betta A. Low-back disorders in agricultural tractor drivers exposed to whole body vibration and postural stress. *Appl Ergon* 1994;35:231-41.
39. Seyed MM, Hideyo Y, Marjan J, Kazuhito M, Ryoichi I, Hirotochi I. Assessment of hand-arm vibration exposure among traffic police motorcyclists. *Int Arch Occup Environ Health* 1997; 70:22-8.
40. Stefano M, Francesca G, Roberta B, Giuseppe B, Sandra B, Luciano A, et al. A case report of vibration-induced hand comorbidities in a postwoman. *BMC Musculoskelet Disord* 2011;12:47.
41. Bentley S, O'Connor DE, Lord P, Edmonds OP. Vibration white finger in motorcycle speedway riders. In: Brammer AJ, Taylor W, eds. *Vibration effects on the hand and arm in industry*. New York: Wiley. ISBN 0471-88954-7.
42. Khamis NK, Nuawi MZ, Deros BM, Ismail FR, Mohamad D, Md Tahir NH. Assessment of whole body vibration exposure among motorcyclist in Malaysia under different speeds and different road profiles: A preliminary study. *Adv Environ Biol* 2014;8(15):160-3.
43. Brown JJ, Wells GA, Trottier AJ, Bonneau J, Ferris B. Back pain in a large Canadian police force. *Spine* 1998;23:821-7.
44. Cho TS, Jeon WJ, Lee JG, Seok JM, Cho JH. Factors affecting the musculoskeletal symptoms of Korean police officers. *J Phys Ther Sci* 2014;26(6):925-30.
45. Ana PNT, Luis CNO, Branca MOS, Fabricio BO, Paulo RVQ. Symptoms of musculoskeletal disorders among police officers. *Arq Ciênc Saúde* 2015; 22(2):42-5.
46. Anderson GS, Amber Z, Darryl BP. Police officer back health. *J Crim Just Res* 2011;2(1):1-17.
47. Nazmul H. Prevalance of low back pain among the traffic police. Department of Physiotherapy, Bangladesh Health Professions Institute, Bangladesh; 2013.
48. Melhorn JM, Wilkinson L, Gardner P. An outcomes study of an occupational medicine intervention program for the reduction of musculoskeletal disorders and cumulative trauma disorders in the workplace. *J Occup Environ Med* 1999;41:833-46.
49. Lee J, Cho JH. Survey of the musculoskeletal disorders of radiological technol. *JKSR* 2011;6:53-61.
50. Lipscomb J, Trinkoff A, Brady B, Geiger-Brown J. Health care system changes and reported musculoskeletal disorders among registered nurses. *Am J Public Health* 2004;94(8):1431-5.