대한산업의학회지 제 17 권 제 4 호 (2005년 12월)
Korean J Occup Environ Med, 2005;17(4):267-277

표면근전도와 전자각도기를 이용한 자동차 부품 조립작업 위험요인 평가

부산의대 예방의학 및 산업의학교실, 마산삼성병원 산업의학과[1], 인제대학교 보건안전공학과[2],
한국산업안전공단 산업보건연구원[3]

강동묵 · 이철호[1] · 신용철[2] · 김은아[3] · 우지훈 · 조병만 · 이수일

— **Abstract** —

Risk Factor Assessment Using Surface Electromyography and Electrogoniometer among Automobile Part Manufacturers

Dongmug Kang, Cheol Ho Yee[1], Yong Chul Shin[2], Eun A Kim[3],
Ji Hoon Woo, Byung Mann Cho, Su Ill Lee

Department of Preventive and Occupational Medicine, College of Medicine, Pusan National University, Department of Occupational Medicine, Masan Samsung Hospital[1], Department of Occupational Health and Safety Engineering, Inje University[2], Korea Occupational Safety and Health Agency, Occupational Safety and Health Research Institute[3]

Objectives: As automobile part manufacturing is characterized by high speed and high repetition, observation methods which are usually utilized for static posture are inappropriate to evaluate musculoskeleatal risk factors. This study quantified the risk factors of musculoskeletal disorders on the forearm and suggested exposure limits by estimating the risk factors using surface electromyography (EMG) and electrogoniometer.

Methods: Ten percent of the total workers at 3 automobile part manufacturing factories were randomly selected, and 99 male workers were recruited as study subjects. The study was conducted during May 2003 to September 2004. The workers were equipped with electrogoniometers on the wrist and the elbow, surface EMGs on the skin of the flexor digitorum superficialis (FDS) and extensor carpi radialis (ECR) muscles, and the heart beat recorder during work as indicators of joint movement, local muscle tension and physical work load, respectively.

Results: After controlling for age, body mass index and job stress, wrist flexion maximum angle, FDS relative activity (RA) and ECR RA were significantly associated with forearm musculoskeletal symptoms. The odds ratios of the forearm were 5.0(95% CI: 1.1-22.7), 14.0(95% CI: 1.5-128.8) and 7.3(95% CI: 1.1-49.4) for wrist flexion maximum angle more than 76 °, FDS RA more than 2.8%, and ECR RA more than 3.5%, respectively.

Conclusions: Joint angle and focal muscle activity were associated with forearm musculoskeletal symptoms. To reduce forearm musculoskeletal symptoms among automobile part manufacturers, the wrist flexion angle, and FDS and ECR activity need to be reduced below the guidelines recommended in this study.

Key Words: Automobile, Musculoskeletal disorders, Surface electromyography, Electrogoniometer

<접수일: 2005년 7월 12일, 채택일: 2005년 10월 14일>

교신저자: 이 철 호 (Tel: 055-290-6569) E-mail: hoonji2@hanmail.net

* 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2003-003E-00055)

서 론

자동차 제조업은 근골격계 질환의 위험요소가 많아 작업관련성 근골격계 질환(work-related musculoskeletal disorders: WMSDs)이 다발하는 것으로 알려져 있다. 국내외에서 자동차 제조업의 근골격계 질환에 대한 연구가 다양하게 진행되었다(Yoon & Lee, 1999; Kim, 2001; Kim et al, 2001; Kim et al, 2002; Nelson et al, 1992; Engstrom, 1999; Punnett et al, 2004). 그러나 이제까지의 연구들에서 근골격계 위험요인에 대한 평가는 주로 관찰법에 의하고 있는데, 자동차 제조업의 작업 특성이 주로 손과 손목으로 공구를 사용하는 빠른 반복작업을 특징으로 하고 있어, 관찰만으로는 정확한 노출측정에 한계를 가질 것으로 판단된다.

WMSDs의 인간공학적 위험인자를 평가하는 방법은 다양하게 개발되어 있는데(Li & Buckle, 1999), 주로 관찰에 의한 기법으로 Rapid Upper Limb Assessment (RULA) (McAtamney & Corlett, 1993)와 같은 체크리스트를 이용한다. 그러나 종이와 연필을 이용한 관찰기법은 여러 가지 한계를 가지고 있다. Burdorf(1992, 1995)에 의하면 관찰법은 자세나 빈도 등 평가에 대한 동의된 지침조차 부족한 상태이고, 정확성과 재현성이 결여되기 쉽고 관찰자간 및 관찰간 변이에 의해 좌우되는 약점을 갖고 있다. 또한 Chen 등(1989)은 관찰자의 주관적인 판단은 관찰법의 주요한 단점이며 정적인 작업에는 비교적 적합할 수는 있어도 활동이 빈번하게 이루어지는 동적인 작업에는 부적절하다고 지적한 바 있다. 최근에는 관찰법의 단점을 극복하기 위해 다양한 시도가 이루어지고 있다. 특히 디지털화된 전자기기를 이용하여 직접적으로 작업 시 활동을 기록하고 누적적인 노출을 평가할 수 있는 기법은 최근에 다양하게 도입되고 있는데, 전형적으로는 각도 기록(goniometric system), 시각적 추적(optical scanning system), 음향 이용(sonic system), 전자파 이용(electromagnetic system) 및 가속도기에 기반한 기법(accelerometer-based system) 등이 있다(Li & Buckle, 1999).

따라서 업무관련 근골격계 질환이 다발하며 업무가 반복성과 빠른 속도로 특징지어지는 자동차 제조업 중 부품 제조업의 노동자들에 대해 관절의 동작과 근육의 사용도 등을 실시간으로 측정하여 근골격계 위험요인을 정량화함으로써 WMSDs의 위험요인을 규명하여 객관적인 중재기준을 제시할 수 있는 연구가 필요하다. 본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 자동차 부품 제조업 노동자들에 대해 전완부를 중심으로 작업관련성 근골격계 질환 증상 유병률을 파악하여 문제의 심각성을 확인하고, 둘째, 자동차 부품 제조작업에 요구되는 상지의 반복적 동작과 힘을 객관적인 측정법으로 측정하여 업무관련성 근골격계 질환의 위험도를 평가하며, 셋째, 자동차 부품 제조업 노동자들의 전완부 작업관련성 근골격계 질환을 예방하기 위한 객관적인 노출기준을 제시 하고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구대상

경남과 충청 지역에 소재한 자동차 부품 제조업 3 곳의 노동자를 연구대상으로 하였다. 연구대상 사업장의 부서와 직종이 고루 포함되도록 생산직 노동자 중 10%의 인원에 대해 작업을 대표할 수 있는 노동자를 회사의 안전보건담당자와 노동조합의 담당자가 협의하여 명단을 본 연구진에 제출하고, 본 연구진이 검토하여 연구대상자를 선정하였다. 연구대상자의 선정기준은 건강문제로 인하여 작업에 지장이 없는 상시노동자로, 조사당일 신체부위의 통증이나 불편감 등으로 인하여 평소 방식대로 작업을 할 수 없는 경우를 제외하였다. 연구에 참여한 연구대상자 120명 중 여성은 4명으로 소수이어서 분석에서 제외하였고, 작업형태가 불규칙하여 당일 측정이 평소의 작업을 대표하지 못한다고 판단한 17명을 제외하여, 최종적으로 분석대상으로 선정된 노동자는 99명이었다. 조사는 2003년 5월부터 2004년 9월까지 수행되었다.

2. 연구 방법

일반적 특성 및 작업관련 특성, 근골격계 증상 등은 설문조사에 의하였고, 관절동작과 근육비교활동도 및 작업시 에너지 소모량 등은 전산화된 측정 장비를 통하여 측정하였다.

1) 설문조사

(1) 설문 항목

자기기입식 설문을 이용하여 연구대상자들의 연령, 키, 몸무게 등 일반적 특성과 근무력, 주당 근무시간 등 작업관련 특성을 조사하였다.

직무스트레스는 Job Content Questionnaire (Karasek 등, 1988)를 번역하여 국내에서 타당도와 신뢰도가 입증된 설문(장세진, 2001)을 이용하여 측정하였다. 이 설문에는 직무요구도가 5개 문항, 직무자율성이 9개 문항, 사회적 지지는 8문항으로 구성되었다. 응답은 4점 Likert 척도로 하였으며, 각각에 대해 0점부터 3점까지를 부여하였고 Karasek 등(1988)의 계산 방식을 따라 구하였다. 직무스트레스 설문의 Cronbach α는 직무요구

도가 0.60, 직무자율성 0.66, 사회적지지 0.79이었다.

(2) 근골격계 증상 조사

근골격계 자각 증상은 구조화된 설문을 통해 조사하였으며, 설문조사에서 미국 국립산업안전보건연구원(National Institute of Occupational Safety and Health: NIOSH) 기준인 '증상이 적어도 1주일 이상 지속되거나 지난 1년간 1달에 1번 이상 증상이 발생하는 경우로 과거에 다른 외상의 경험이 없는 경우 를 증상이 있는 경우로 하였다. 설문에서 증상 부위는 NIOSH에서 제시한 상지부위인 목, 어깨, 상완 및 전완부의 4부분과 허리, 무릎 및 하지, 발목과 발 부분까지 증상을 조사하였고, 본 연구에서는 전완부를 중심으로 분석하였다.

2) 근육 긴장도 평가

근육이 긴장할 경우 활동전위가 발생되며 활동전위를 측정하기 위해 표면 근전도기를 이용하였다. 표면 근전도 평가를 위하여 Pre-amplifier (type no. SX230 DataLogII®, Biometrics Ltd, Gwent, UK)를 의료용 양면 테이프를 이용하여 Soderberg의 지침(Soderberg, 1992)에 따라 측정 근육 부위의 피부에 부착하였다. 발생된 근전도 신호에 섞여 있는 잡음의 제거를 위해 pre-amplifier에 있는 필터를 사용하여 20~450 Hz 주파수 대역을 채취하였으며, 근전도 신호는 허리에 장착한 이동용 장비에서 증폭되고 메모리카드에 실시간 근육의 활동 전위와 측정시간 동안의 누적적 전위가 저장되었다. 아날로그 신호를 디지털화하기 위해 근육에서 발생하는 전위를 컴퓨터가 자동으로 채취하였으며 채취빈도(sampling rate)는 1,000회/초이었다. 대상 근육은 자동차 부품조립 작업의 특성상 손가락으로 기기를 잡는 데 사용되는 천지굴근(flexor digitorum superficialis: FDS)과 손목을 신전하거나 공구를 힘껏 움켜쥐는 데 사용되는 요측수근신근(extensor carpi radialis: ECR)이었다.

개인적 근육의 힘 차이를 보정하여 근 긴장도를 표준화(normalization)하기 위해 작업 시 측정된 근전도를 Maton 등(1980)이 제안한 다음의 공식에 의거해 비교활동도(relative activity)를 구하였고, 휴식 때의 EMG는 0으로 가정하였다.

Relative Activity = (Task EMG - Rest EMG) / (Maximum EMG - Rest EMG)

최대 자율성 수축값(maximum voluntary contraction: MVC)은 연구자가 근육에 부하를 주는 동시에, 등척성 근육수축(isometric contraction)을 3회 실시하도록 하여 세 값이 크게 차이가 없는 경우를 확인하여 최대값을 취하였다. 작업시의 근전도 값(μV)은 root mean square (RMS)의 평균값을 사용하였다. 작업 중 1시간 동안 연속으로 근전도를 측정하였으며, 부착 후 실제 작업까지의 시간과 탈착을 위한 마지막 종료 시를 제외한 최소 30분의 연속된 실측치를 분석에 이용하였다. 측정 시 평소의 작업보다 더 과장되지 않게 하기 위하여 사전에 평소와 동일하게 작업하도록 교육하였고, 회사의 담당자와 같이 작업을 관찰하여 평소 작업과 동일함을 확인하였다.

3) 관절운동 평가

관절운동은 전자각도기(electrogoniometer)를 이용하여 평가하였다. 의료용 양면테이프를 이용하여 완관절과 주관절의 피부에 전자각도기를 부착하였다. 완관절에 대해서는 2차원 전자 각도기(SG type DataLogII®, Biometrics Ltd, Gwent, UK)를 이용하여 한 차원은 굴곡과 신전을 나머지 한 차원은 요측과 척측 편위를 측정하였고, 주관절에 대해서는 1차원 전자 각도기(Q type DataLogII®, Biometrics Ltd, Gwent, UK)를 이용하여 굴곡과 신전을 측정하였다. 측정 변수로는 측정기간 동안에 관찰된 최대 각도, 최소 각도, 전체 측정된 각도의 평균, 관절 움직임의 빈도를 각각 측정, 기록하였다. 움직임의 빈도는 peak to peak의 횟수로 정의하였고, 채취빈도는 50회/초이었다. 근전도와 마찬가지로 1시간을 측정하여 최소 30분의 연속 실측치를 분석에 이용하였다.

4) 작업할 때의 에너지 소모량 측정

(1) 기본적 육체적 능력 평가

기본적인 육체적 능력을 평가하기 위해 자전거 에르고미터(Aerobike 75XL II®, Combi Co., Japan)를 이용하였다. 측정에 소요되는 시간은 약 15분 정도이며, 기본 심박수의 측정을 위해 측정 시작 전에 5분 정도 안정을 취하도록 한 후 검사를 실시하였다. 약 10분간의 검사가 진행되는 동안 내장 프로그램에 의해 계속해서 페달에 가해지는 부하가 증가하게 되고(램프부하 방식), 이때의 피검자의 심박동수가 피검자의 귓볼에 장착된 감지기를 통해 기록된다. 목표심박수는 Miyashita 등(Miyashita et al, 1985)이 실험을 통해 제시한 공식을 이용하여 계산한 최대심박수의 75%를 목표심박수로 하였고, 연령, 성별 및 체중을 입력할 경우 자전거 에르고미터에서 자동적으로 산출하였다. 목표심박수에 도달할 때까지 페달의 부하가 계속해서 증가되며 이에 따라 심박동수는 직선적으로 증가하게 되는데, 이 검사의 결과를 바탕으로 피검자의 기본적인 육체적 능력을 파악할 수 있으며, 목표심박수 때의 에너지 소모량을 심박수로 나누어 심박 당 에너지 소모량을 계산하였다.

(2) 심박수를 이용한 작업 중 에너지 소모량 측정

심박수는 여러 연구자들이 에너지 소모량 계산을 위한 기준치(gold standard)로 사용하였다(Haskell et al,

1993; Luke et al, 1997; Strath et al, 2000; Rennie et al, 2001). 하루 노동시간 중의 심박동수의 측정을 위해 측정 대상자에게 출근 시에 심박동수 측정기(Polar Electro Co, Finnland, S810®)를 부착하였다. 그리고 기기 부착 후 작업일기를 주어 퇴근할 때까지의 모든 구체적 업무를 적도록 하여 하루 작업동안 심박동수의 변화를 알 수 있도록 하였으며 부착하였던 심박동수 측정기와 작업일기를 작업 종료 후 수거하였다.

최종적으로 하루 작업동안 기록된 심박수 중 점심시간과 휴식시간을 제외한 실작업 시간 동안의 기록만을 분석하였고, 육체적 능력 평가에서 추정한 개인별 심박당 에너지 소모량을 작업 중의 평균 심박동수에 곱하여 작업 중 에너지 소모량을 추정하였다.

작업시 평균 심박수와 휴식시 심박수를 구한 후, 개인적 차이를 보정한 심박수의 변화를 파악하기 위하여 아래의 공식에 의거하여 상대심박비(relative heart ratio: RHR)를 구하였다.

RHR (%) = [(HRwork - HRrest)/(HRmax - HRrest)] × 100

RHR : relative heart ratio

HRmax : maximum heart rate

HRwork : heart rate at work

HRrest : heart rate at rest

RHR과 에너지 소모량 모두를 측정하였지만, 근골격계 증상 유병률과의 분석에서 주로 에너지 소모량을 사용하였다.

5) 통계적 분석 방법

전완부의 근골격계 증상 유병률을 결과변수로 하였다. 분석을 위해 사용한 증상 유병률의 조작적 정의는 NIOSH 기준인 '과거 1년간 증상의 빈도가 1달에 1회 이상 또는 증상의 지속기간이 1주 이상'을 만족하면서 NIOSH의 최근 경향인 증상의 정도가 '중간정도' 이상인 경우를 강화된 NIOSH 기준(intensified NIOSH criteria)으로 하였다. 전완부 근골격계 증상 유병률을 종속변수로 하여 제반 변수들과의 관련성을 보기위해 단순 로짓회귀분석을 실시하였다. 이후 일반적 특성과 직무스트레스의 영향을 보정한 상태에서 작업관련 변수가 전완부 근골격계 증상에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 일반적 특성인 연령과 체질량지수를 보정한 후 증상 유병률을 종속변수로 하여 다중로짓회귀분석을 실시하였고, 이후 일반적 특성과 함께 직무스트레스 요인 변수인 직무요구도, 직무자율성, 사회적 지지를 보정한 상태에서 다중로짓회귀분석을 실시하였다. 사용한 통계 프로그램은 SAS v8.1이었고, 통계학적 유의수준은 0.05로 하였지만, 노출기준 설정 등과 관련하여 p-값의 변화 경향을 파악하기 위해 경계적 유의수준인 0.0까지 표시하였다.

6) 노출기준 설정 방법

다중로짓회귀분석에서 전완부의 근골격계 증상 유병률과 관련이 있는 변수를 중심으로 노출기준을 설정하기 위한 분석을 실시하였다. 개인적 특성을 감안하여 기준을 제시하기 위하여, 연령과 체질량 지수를 보정한 후 관절각도와 근육의 비교활동도가 높은 군과 낮은 군으로 나누어 다중 로짓회귀분석을 실시하였다. 분석은 관절각도의 경우 1° 간격으로, 근육 비교활동도의 경우는 0.1% 간격으로 계속 로짓회귀분석을 실시하여 통계적으로 의미가 있는 cut off point를 찾았고 찾아진 cut off point 이후에서 계속 통계적으로 의미가 있으며, 비차비가 계속 증가되는 지를 확인하여 cut off point가 타당한지를 확인하였다. 근육의 비교활동도의 기준은 Jonsson(1978)과 Sjogaard 등(1986)이 제안한 1시간 작업의 경우 비교활동도 5%와, 1일 작업의 경우 Jonsson(1978)이 제안하고 Rapid Upper Limb Assessment (McAtamney & Corlett, 1993)에서 사용한 비교활동도 2%의 기준과 Aaras(1998)가 제안한 1% 기준을 참고하였다.

결 과

1. 조사대상자의 일반적 특성

연구대상자의 평균 연령은 37.6세, 평균 체질량 지수는 23.2 kg/m^2, 평균 근속년수 13.3 년, 평균 주당 근무시간은 58.1 시간이었다(Table 1).

2. 관절 운동, 근전도 및 에너지 소모량

완관절의 척측 편위 최고 각도의 평균은 50.7°, 요측 편위 최고 각도의 평균은 42.5°, 완관절 편위의 평균 각도는 3.6°이었고, 완관절 편위 빈도는 평균 15 (freq/min)이었다. 완관절의 굴곡의 최고 각도의 평균은 63.5°, 신전 최고 각도의 평균은 64.5°, 완관절의 평균 각도는 신전 6.7°이었고, 완관절 굴곡/신전 빈도는 평균 21.8 (freq/min)이었다. 주관절 굴곡 최고 각도의 평균

Table 1. Characteristics of study subjects (N=99)

Variables	Mean	S.D.
Age (yrs)	37.6	7.2
Body mass index (kg/m^2)	23.2	2.6
Work year (yrs)	13.3	6.2
Work hour/week (hrs)	58.1	6.7

은 103.2°, 주관절 굴곡의 평균은 38.1°이었고, 주관절 굴곡 빈도는 17.4(freq/min)이었다. 천지굴근의 비교활동도는 5.4%이었고, 요측수근신근의 비교활동도는 6.4%이었다. 작업 시 평균 에너지 소모량은 4.9 Kcal/min, 평균 상대심박비는 19.5%이었다(Table 2).

3. 전완부 근골격계 증상 유병률

본 연구결과 NIOSH 기준으로 한 전완부의 증상 유병률은 54.6%이었다. NIOSH 기준에 증상의 정도를 중간 이상으로 한 강화된 NIOSH 기준으로 하였을 경우 전완

Table 2. Joint movement, muscle activity and energy consumption results estimated by electrogoniometer, electromyography and heart rate monitor (N=99)

Variables	Mean	S.D.
Wrist ulnar deviation maximum (°)	50.7	12.6
Wrist radial deviation maximum (°)	42.5	15.1
Wrist deviation mean (°)	3.6	6.9
Wrist deviation frequency (frequency/min)	15.0	6.1
Wrist flexion maximum (°)	63.5	13.6
Wrist extension maximum (°)	64.5	12.9
Wrist flexion mean (°)	6.7*	9.3
Wrist flexion frequency (frequency/min)	21.8	7.4
Elbow flexion maximum (°)	103.2	20.2
Elbow flexion mean (°)	38.1	12.6
Elbow flexion frequency (frequency/min)	17.4	6.8
Flexor digitorum superficialis muscle relative activity (%)	5.4	4.6
Extensor carpi radialis muscle relative activity (%)	6.4	6.7
Energy expenditure at work (Kcal/min)	4.9	0.7
Relative heart ratio	19.5	10.4

* minus means extension

Table 3. Odds ratios of risk factors of musculoskeletal symptoms on forearm (N=99)

Risk factors	O.R.	95%	C.I.
Age (yrs)	1.039	0.963	1.121
Body mass index (kg/m^2)**	1.307	1.040	1.642
Work year (yrs)	1.010	0.925	1.104
Work hour/week (hrs)**	1.096	1.005	1.196
Job demand score	1.044	0.950	1.148
Job control score	0.999	0.952	1.049
Social support score	1.004	0.870	1.157
Wrist ulnar deviation maximum (°)	1.006	0.962	1.052
Wrist radial deviation maximum (°)	1.011	0.975	1.049
Wrist deviation mean (°)	0.969	0.886	1.060
Wrist deviation frequency (frequency/min)*	0.884	0.770	1.015
Wrist flexion maximum (°)**	1.062	1.010	1.116
Wrist extension maximum (°)*	0.956	0.909	1.004
Wrist flexion mean (°)**	1.076	1.008	1.149
Wrist flexion frequency (frequency/min)*	0.917	0.831	1.013
Elbow flexion maximum (°)	0.992	0.968	1.017
Elbow flexion mean (°)	0.975	0.936	1.016
Elbow flexion frequency (frequency/min)*	0.904	0.811	1.006
Flexor digitorum superficialis muscle relative activity (%)**	1.147	1.033	1.273
Extensor carpi radialis muscle relative activity (%)**	1.082	1.001	1.170
Energy expenditure at work (Kcal/min)	1.708	0.775	3.765

* $p< 0.1$, ** $p< 0.05$

부의 증상유병률은 15.2%이었다.

4 전완부 근골격계 증상 유병률과 위험요인의 관계

로짓회귀 분석을 통해 조사된 변수와 전완부 근골격계 증상과의 관계를 분석하였다. 단변량 분석에서 전완부 근골격계 증상은 체질량 지수, 주당 근무시간, 완관절 굴곡최대각, 완관절 굴곡각 평균, 천지굴근 비교활동도, 요측수근신근 비교활동도가 증가할수록 전완부 근골격계 증상 유병률이 증가하였다(Table 3).

다른 영향 변수를 보정한 후 다중 로짓회귀 분석을 통해, 전완부의 근골격계 증상에 영향을 주는 변수를 분석하였다(Table 4). 연령과 체질량 지수를 보정한 model I에서는 완관절 굴곡 최대각(비차비: 1.1), 천지굴근 비교활동도(비차비: 1.2)는 전완부 근골격계 증상과 통계적으로 유의하게 관련이 있었다. 연령, 체질량 지수, 직무요구도, 직무자율성 및 사회적지지 등 직무스트레스 요인들을 보정한 model II에서는 완관절 굴곡 최대각(비차비: 1.1), 천지굴근 비교활동도(비차비: 1.2) 및 요측수근신근 비교활동도(비차비: 1.1)는 전완부 근골격계 증상과 통계적으로 유의하게 관련이 있었다.

5. 전완부 근골격계 증상 유병률과 관련된 위험요인의 노출 기준

나이와 체질량 지수 등 개인적인 특성을 고려한 상태(Model I)와 나이와 체질량 지수 등 개인적인 특성과 직무스트레스를 고려한 상태(Model II)에서 수부의 근골격계 증상 유병률과 관련이 있는 완관절 굴곡최대각과 천지굴근 및 요측수근신근의 비교활동도에 대한 노출기준 설정을 위해 통계적으로 유의하게 되는 지점을 알아보았다. 분석은 관절의 각도는 1 를 간격으로 하고 두 근육의 비교활동도는 0.1%를 간격으로 하여 높은 군과 낮은 군으로 나누었으며, 다른 변수들을 보정한 상태에서 각각 다중 로짓회귀분석을 반복하여 통계적으로 유의하게 되는 지점을 찾아보았다.

Model I과 II에서 전완부 근골격계 증상 유병률 비차비는 완관절 굴곡 최대각이 76° 이상일 경우 모델별로 각각 4.3(95% CI; 1.1-17.4)과 5.0(95% CI; 1.1-12.7)이었으며, 천지굴근의 비교활동도가 2.8% 이상일 경우 모델별로 각각 9.8(95% CI; 1.2-80.5)과 14.0(95% CI; 1.5-128.8)이었고, 그 이후에는 일관성있게 통계적으로 유의한 결과를 보였다.

요측수근신근의 경우에는 Model I에서는 비교활동도가 3.8 % 이상일 경우 5.9(95% CI; 1.0-34.3)이었고, Model II에서는 비교활동도가 3.5% 이상일 경우 7.3(95% CI; 1.1-49.4)으로 차이가 있었고, 비교활동도가 이보다 큰 경우에는 일관성있게 통계적으로 유의하였다(Table 5). 완관절 굴곡 최대각이 90가 넘어갈 경우와 천지굴군 비교활동도가 2.7% 이하의 경우에는 비차비가 매우 높고(>999.999), 95% 신뢰구간이 매우 넓어졌는데(<0.001->999.999), 이러한 경우에는 증상의 고저와 위

Table 4. Odds ratios of risk factors of musculoskeletal symptoms on forearm after adjusting variables

Risk factors	Model I[a]			Model II[b]		
	O.R.	95%	C.I.	O.R.	95%	C.I.
Work year (yrs)	0.9	0.8	1.1	0.9	0.8	1.1
Work hour/week (hrs)	1.1	1.0	1.2	1.1	1.0	1.2
Ulnar wrist deviation maximum ( )	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1
Radial wrist deviation maximum ( )	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1
Wrist deviation mean ( )	1.0	0.9	1.1	1.0	0.9	1.1
Wrist deviation frequency (frequency/min)	0.9*	0.7	1.0	0.9**	0.7	1.0
Wrist flexion maximum ( )	1.1**	1.0	1.1	1.1**	1.0	1.1
Wrist extension maximum ( )	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0
Wrist flexion mean ( )	1.1*	1.0	1.1	1.1*	1.0	1.2
Wrist flexion frequency (frequency/min)	0.9	0.8	1.0	0.9	0.8	1.0
Elbow flexion maximum ( )	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Elbow flexion mean ( )	1.0	0.9	1.0	1.0	0.9	1.0
Elbow flexion frequency (frequency/min)	0.9	0.8	1.0	0.9	0.8	1.0
Flexor digitorum superficialis muscle relative activity (%)	1.2***	1.0	1.3	1.2***	1.1	1.4
Extensor carpi radialis muscle relative activity (%)	1.1*	1.0	1.2	1.1**	1.0	1.2
Energy expenditure at work (Kcal/min)	1.6	0.7	3.7	1.7	0.7	4.0

[a] after adjusting age and body mass index, [b] after adjusting age, body mass index and job stress factors including job demand, job control and social support, * p<0.1, ** p<0.05, ***p<0.01

험요인의 고저로 2×2 분할표를 만들 때 특정 셀에 관측치가 없어지기 때문에 발생하는 현상으로 판단된다(결과 미게재).

고 찰

자동차 산업은 국내의 대표적 산업의 하나로 많은 수의 노동자가 근무하고 있고 작업의 종류가 다양하며 근골격계 질환의 위험요소가 많아 WMSDs가 다발하는 것으로 알려져 있다. 본 연구의 결과와 국내 · 외 자동차 관련 업종 전완부 근골격계 유병률에 대한 결과를 비교하였다(Table 6). 자동차 부품 제조업 노동자를 대상으로 한 본 연구결과 전완부의 증상 유병률은 54.6%이었다. 이는 완성차 조립공정을 대상으로 한 Kim(2001)의 연구에서 승용차 30.9%와 상용차 29.5%, Punnet(2004)이 연구한 미국 자동차 회사의 프레스 공장 25.5%와 엔진 조립 공장 18.4% 및 Engstrom(1999)에 연구한 자율적 작업시스템을 특징으로 한 스웨덴의 볼보 우데발라 공장의 41% 보다는 높고, Yoon & Lee(1999)가 연구한 상용차 시트조립공정 50.9%와 비슷한 수준이며, Johansson(1994)이 연구한 스웨덴의 트럭 조립공정 65% 보다는 낮은 수준이었다. 이 결과는 미국 노동자의 작업조건이 우리와 다르고 특히 Engstrom(1999)에 연구한 자율적 작업시스템을 특징으로 한 스웨덴의 볼보 우데발라 공장의 경우는 직무자율성과 상사의 지지가 매우 높아 작업속도의 조절을 노동자가 전담한다는 측면에서 단순비교는 어려울 것으로 판단한다. 보다 바람직하게는 향후 본 연구와 동일하게 연구를 설계하여 자동차 완성공정에 대해 증상 유병률을 조사하고, 객관적인 도구를 통한 위험요인을 계량화하여 비교하면 직종 및 작업별 증상

Table 5. Forearm symptom[a] odds ratios of risk factors categorized by high and low group according to cut off point after adjusting age and body mass index (N=99)

Risk factors	cut off point	Model I[b] O.R.	95% C.I.		Model II[c] O.R.	95% C.I.	
			lower	upper		lower	upper
Wrist flexion maximum (°):	60	2.4	0.6	9.9	2.4	0.6	10.2
high vs low	70	1.2	0.3	4.3	1.2	0.3	4.4
	74	2.1	0.6	7.9	2.2	0.6	8.3
	75	3.1	0.8	12.1	3.4*	0.8	14.5
	76[de]	4.3**	1.1	17.4	5.0**	1.1	22.7
	77	4.9**	1.2	20.9	5.6**	1.2	25.7
	78	6.3**	1.4	29.1	7.0**	1.4	33.7
	80	10.4***	2.1	52.3	13.7***	2.4	78.7
	90	>999.999	<0.001	>999.999	>999.999	<0.001	>999.999
Flexor digitorum superficialis	2.0	>999.999	<0.001	>999.999	>999.999	<0.001	>999.999
muscle relative activity (%):	2.5	>999.999	<0.001	>999.999	>999.999	<0.001	>999.999
high vs low	2.7	>999.999	<0.001	>999.999	>999.999	<0.001	>999.999
	2.8[de]	9.8**	1.2	80.5	14.0**	1.5	128.8
	2.9	9.8**	1.2	80.5	14.0**	1.5	128.8
	3.0	13.7**	1.6	114.4	31.0***	2.9	332.9
	3.5	17.8***	2.1	150.5	35.3***	3.3	373.5
	4.0	15.5***	2.5	96.5	37.6***	3.9	365.8
	5.0	5.5***	1.5	19.6	8.3***	1.8	37.6
Extensor carpi radialis muscle	2.0	3.4	0.4	29.9	3.6	0.4	32.0
relative activity (%): high vs low	3.0	5.0*	0.9	28.3	8.1*	0.9	73.0
	3.5[e]	6.5*	0.8	55.3	7.3**	1.1	49.4
	3.6	5.0*	0.9	28.3	7.3**	1.1	49.4
	3.7	5.8*	1.0	34.2	7.7**	1.1	52.1
	3.8[d]	5.9**	1.0	34.3	8.2**	1.2	54.7
	3.9	6.3**	1.1	35.9	9.0**	1.4	59.4
	4.0	6.4**	1.1	35.9	9.0**	1.4	58.9
	5.0	4.2**	1.0	16.9	6.3**	1.3	30.9

[a] NIOSH criteria intensified by symptom above medium intensity, [b] after adjusting age and body mass index, [c] after adjusting age, body mass index and job stress factors including job, [d] suggested limit value by Model I, [e] sugested limit value by Model II job demand, job control and social support, * p<0.1, ** p<0.05, ***p<0.01

유병률 및 위험도 비교가 가능할 것이며, 위험요인과 증상사이의 관련성도 보다 명확해 질 것으로 생각된다.

WMSDs는 개인의 신체적 특성, 인간공학적 위험인자, 직무스트레스, 노동강도 등에 따라 그 위험인자가 다양하다. 개인적인 특성으로는 연령의 증가(De Krom, 1992), 비만(Nordstrom, 1997) 등이 관련된다고 알려져 있고, 인간공학적 위험요소로 반복작업, 기계적 자극, 정적인 또는 불량한 자세, 전신 및 국소진동, 저온환경 등(Cannon et al, 1981; Silverstein et al, 1986a; Silverstein et al, 1986b; Amstrong et al, 1987; Rempel el al, 1992)과 작업시간, 업무량 등 작업환경요인(Knava, 1985) 등이 복합적으로 작용하는 것으로 알려져 있다. 국내·외의 자동차 산업 노동자에 대한 인간공학적 위험인자 평가들(Yoon & Lee, 1999; Kim, 2001; Kim et al, 2001; Kim et al, 2002; Nelson et al, 1992; Engstrom, 1999; Punnett et al, 2004)은 위험요인 평가를 주로 관찰법에 의존하고 있는데, 자동차 산업의 작업 특성이 반복성과 빠른 속도, 활동적인 작업 등으로 구성되어 이러한 관찰법은 한계를 가질 것으로 판단된다. 즉, 주로 체크리스트 등을 이용한 관찰법은 관찰된 특정 동작에 대해 평가함으로서 기록의 절차에 정확성이 결여되어 있고 관찰자의 주관에 의존하는 문제를 가지고 있다

본 연구에서는 객관적인 기구들을 이용하여 인간공학적 위험인자를 정량화하고, 자동차 산업 노동자의 WMSDs 중 많은 빈도를 차지하는 전완부 근골격계 증상 유병률과의 관계를 보려고 시도하였다. 본 연구에서는 근골격계 위험요인을 정량화하기 위해 전자각도기와 표면근전도를 사용하였는데, 이들 기기 사용의 타당성은 여러 연구들에서 뒷받침된다. Christensen(1999)은 전자각도기의 정밀성에 대한 평가를 진행한 바 있으며, Yen과 Radwin(2000)은 전자각도기와 관찰법을 비교하여 전자각도기를 다양한 작업장의 동작을 파악하는 데 타당한 도구임을 입증하였다. Cook 등(2002)은 정육가공 노동자들을 대상으로 한 연구에서 인간공학적 개선을 통해 상지 근육의 긴장도를 낮출 수 있음을 보였고, Armstrong 등(1999)은 전동공구에 대한 연구에서 진동의 크기와 공구의 무게가 상지의 근육 긴장도에 작용함을 보고한 바 있으며, Sporrong 등(1999)은 건설업 노동자들에 대한 연구에서 천장을 고정하는 작업에서 근육 긴장도가 기준치를 초과하고 있어, 건설업 노동자들이 회전근개건염의 유병률이 높은 이유를 설명할 수 있으며 작업의 변경 등을 통해 위험도를 낮출 것을 구체적으로 지적하고 있다. 또한 국내의 연구로 Yim 등(2000)은 VDT 노동자의 작업대의 높이와 모니터를 바라보는 각도에 따라 상지 근육 긴장도의 차이를 보여 작업대 높이와 모니터의 높이를 수정할 것을 제안한 바 있다. 이렇듯 표면 근전도를 이용하여 구체적인 작업 분석을 할 경우에 작업에서 나타나는 문제의 원인을 찾아 구체적으로 수정할 수 있는 방법을 찾을 수 있다.

본 연구에서 연령, 체질량 지수, 직무스트레스를 보정한 후 완관절 굴곡 최대각, 천지굴근 비교활동도, 요측수근신근 비교활동도는 전완부 근골격계 증상 유병률과 통계적으로 유의하게 관련이 있었다. 본 연구에서는 1시간 작업의 비교활동도의 노출기준을 완관절 굴곡 최대각은 76°, 천지굴근 비교활동도 2.8%, 요측수근굴근 비교활동도 3.5% 또는 3.8%로 제시하였다. 분석의 결과 세 가지 위험요인 모두 일관성있는 경향을 보여준다. 즉 제안된 노출수준 미만에서는 p값이 유의하지 않았으나, 제안된 노출수준을 넘어서면서 p값은 일관되게 유의하였고, 95% 신뢰구간의 범위도 보다 양의 방향으로 치우치면서 비차비도 증가하는 경향을 보였다. 그러나 완관절 굴곡 최대각이 90가 넘어갈 경우와 천지굴군 비교활동도가 2.7% 이하의 경우에는 비차비가 매우 높고 95% 신뢰구간이 매우 넓어졌는데, 이러한 경우는 증상의 고저와 위험요인의 고저로 2×2 분할표를 만들 때 특정 셀에 관측치가 없어지기 때문에 발생하는 현상으로 판단된다(결과 미게재). 본 저자들은 이 분석결과가 본 연구의 결론을 흐리지 않고 오히려 강화시킨다고 판단한다. 그 이유는 실재로 2×2 분할표를 만들어 보면, 저위험군에서 증상이 없는 경우

Table 6. Comparison of prevalence of musculo-skeletal symptom on the forearm among studies

Data source	Kim(2001)		Yoon & Lee (1999)	Punnet (2004)		Engstrom (1999)	Johansson (1994)
Task	car assembly	truck assembly	seat assembly	stamping plant	engine plant	car assembly	truck assembly
Criteria	NIOSH[a]	NIOSH[a]	NIOSH[a]	Questionnaire[b]	Questionnaire[b]	NMQ[c]	NMQ[c]
Hand/wrist	30.9	29.5	50.9	25.5	18.4	41	65

[a] National Institute of Occupational Health and Safety in U.S.A.

[b] compatible with NIOSH criteria

[c] standardized Nordic Questionnaire by Kuorinka (1987)

에 해당하는 셀에 관찰치가 없으며, 고위험군에서 증상이 있는 경우가 다른 셀에 비해 더 많게 나타나는 경우이기 때문이다. 만약 연구대상의 숫자를 더 늘려보거나 작업의 종류를 보다 다양화하여 손목관절이나 근육을 덜 사용하는 작업이 더 많이 포함되어 관찰치가 없는 셀이 채워진다면 해당 절단점의 비차비와 95% 신뢰구간의 수렴도(convergence)가 높아질 것으로 판단되며, 노출 기준은 더 낮아질 수 있음을 암시하는 것으로 판단된다. 이 점은 세 유해요인 모두에서 관찰되는 현상인데, 본 연구에서 제안한 노출기준에 인접하여 낮은 수준에 있는 값에서는 p-값은 통계적으로 경계적으로 의미가 있으면서 95% 신뢰구간이 양의 방향으로 치우쳐있음을 관찰할 수 있다.

근육의 활동도와 관련된 노출기준에 관한 기존의 연구를 살펴보면 Sjogaard 등(1986)은 승모근에 대한 연구를 통해 한 시간 동안 최대근력의 5%로 작업을 할 때 근육에 피로가 온다고 하였다. 또한 Jonsson(1982)은 승모근에 대한 연구를 통해 1시간의 작업에서는 최대 근력의 5%, 하루 종일 작업이 지속될 때는 최대 근력의 2% 보다 작을 때 정적인 부하량을 수용할 수 있다고 제안하였고, McAtammey와 Corlett(1993)은 RULA를 개발하면서 이 기준을 받아들여 하루 작업 시 비교활동도를 2% 보다 높을 경우 근골격계 위험도가 증가한다고 하여 정적부하의 기준치로 제시하였다. 그러나 최근 Aaras(1998)는 승모근의 경우 1일 작업에서 허용가능한 정적부하의 기준치로 MVC의 1%를 제안한 바 있다. 기존의 연구가 승모근에 대해 기준을 제시하였다면, 본 연구는 전완부 근육 긴장도에 대해 기준을 제시하였다는 의미를 가진다. 그러나 본 연구는 몇 가지의 제한점을 가지고 있다. 첫째는 본 연구에서 사용한 증상정의가 본인의 자각증상을 기준으로 하여 진찰이나 객관적인 진단법을 이용한 실재 질환의 유무를 파악하지 못하여, 조사대상의 주관에 의존하고 있다는 한계이다. 또한 본 연구에서는 현재 또는 과거 1년간의 증상을 결과변수로 하고, 노출은 현재의 시점에서 측정하여 노출과 질환과의 인과관계가 명확하지 않다. 따라서 향후 추적조사를 통하여 노출이 실재로 질환 또는 증상발현에 영향을 주는지를 밝히는 연구가 필요할 것이다. 본 연구를 통해 표면근전도와 전자각도기 등 객관적인 방법을 통한 업무관련성 근골격계 질환 위험요인 평가의 의미를 확인할 수가 있었으며, 향후 업무관련성 근골격계 질환이 다발하며 반복성과 빠른 속도로 특징지어지는 작업들에 대해 동작을 실시간으로 평가하며 관절의 동작과 근육의 사용도를 정량적으로 평가할 수 있는 전자장비를 이용한 근골격계 위험요인 평가가 적극적으로 도입될 경우 근골격계 질환의 위험도를 정량적으로 평가할 수 있어 예방 대책을 보다 구체적으로 세울 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

목적: 반복성이 높고 속도가 빠른 작업이 특성인 자동차 부품 제조 노동자들을 대상으로 객관적인 방법을 통해 전완부 근골격계 질환의 위험도를 평가하여 위험요인을 정량화하고 구체적 노출기준을 제시하고자 본 연구를 실시하였다.

방법: 세 곳의 자동차 부품 제조 공장의 전체 노동자 중 약 10%를 표본추출하였고, 최종적으로 99명의 남성 노동자를 대상으로 연구를 실시하였다. 조사는 2003년 5월부터 2004년 9월까지 실시하였다. 노동자에게 작업 중 완관절과 주관절에 전자각도기, 천지굴근과 요측수근신근에 표면근전도기, 흉부에 심박수 측정기를 장착시켜서 작업 중 관절의 움직임, 국소근육의 긴장도, 심박동수 및 에너지 소모량을 각각 측정하였다.

결과: 다중로짓회귀분석을 이용한 분석에서 연령, 체질량 지수, 직무스트레스를 보정한 후 완관절 굴곡 최대각, 천지굴근 비교활동도, 요측수근신근 비교활동도는 전완부 근골격계 증상 유병률과 통계적으로 유의하게 관련이 있었다. 개인적 특성인 연령과 체질량 지수를 보정한 후, 전완부 근골격계 증상 유병률 비차비는 완관절 굴곡 최대각이 76° 이상일 경우 5.0(95% CI: 1.1-22.7), 천지굴근의 비교활동도가 2.8% 이상일 경우 14.0(95% CI: 1.5-128.8), 요측수근신근의 비교활동도가 3.8% 이상일 경우 7.3(95% CI: 1.1-49.4) 이었다.

결론: 전완부의 근골격계 증상을 예방하기 위해서 완관절 굴곡각을 줄이고, 천지굴근 및 요측수근신근의 사용을 본 연구에서 제시한 기준 이하로 낮추는 방법을 강구하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

참고문헌

노동부. 노동통계 정보망. Available: http://laborstat.molab.go.kr/cgi-bin/sws_999.cgi [cited 28 November 2004].

장세진. 우리나라 직장인들의 스트레스 수준의 파악. 스트레스 감소 프로그램의 개발 및 인프라 구축에 관한 연구. 보건복지부. 2001

Aaras A, Horgen, G, Bjorset, H,H, Ro, O, Thoresen, M. Musculoskeletal, visual and psychosocial stress in VDU operators before and after multidisciplinary. ergonomic interventions. Applied Ergonomics 1998;29(5):335-54.

Armstrong T. Erogonomics and cumulative trauma disorders. Hand Clin 1986;2(3):553-65.

Armstrong T, Bir C, Foulke J, Martin B, Finsen L, Sjøgaard G. Muscle responses to stimulated torque reactions of hand-held power tools. Ergonomics 1999;42(1):146-59.

Armstrong T, Fine LJ, Goldestein SA. Ergonomics consideration in hand and wrist tendonitis. Hand Surg 1987;12:830-7.

Burdorf A. Exposre assessment of risk factors for disorders of the back in occupational epidemiology. Scand J Work Environ Health 1992;18:1-9.

Burdorf A. Reducing random measurement error in assessing postural load on the back in epidemiologic surveys. Scand J Work Environ Health 1995;21:15-23.

Cannon LJ, Bernacki EJ, Walter SP. Personnel and Occupational factors associated with carpal tunnel syndrome. J Occup Med 1981;23:255-8.

Chen JG, Peacock, JB, Schlegel RE. An observational technique for physical work stress analysis. Int J Ind Ergon 1989;3:167-76.

Christensen HW. Precision and Accuracy of an Electrogoniometer. J Manipulative Physiol 1999;22(1):10-4.

Cook TM, Ludewig PM, Rosecrance JC, Zimmermann CL, Gerleman DG. Electromyographic effects of ergonomic modifications in selected meatpacking tasks. Surg Endosc 2002:16(3):416-21.

De Krom MCT, Knipschild PG, Kester ADM, Thijs CT, Boekkooi PF, Spaans F. Carpal tunnel syndrome: prevalence in the general population. J Clin Epidemiol 1992;45:373-4.

Engstrom, Hanse J.J. Kadefors R. Musculoskeletal symptoms due to technical preconditions in long cycle time work in an sutomobile assembly plant: a study of prevalence and relation to psychosocial factors and physical exposure. Appl Ergon 1999;30:443-53.

Haskell WL, Yee MC, Evans A, Irby PJ. Simultaneous measurement of heart rate and body motion to quantitate physical activity. Med Sci Sports Exerc 1993;25:109-15.

International Labour Office. 1995 Yearbook of labour statistics. Geneva: International Labour Office, 1995.

Johansson JÅ. Psychosocial work environment and work-related musculoskeletal symtoms. In: Özok, A.F., Salvendy, G.(Eds.), Advances in Appl. Ergonomics, pp. 803-808. Proc. 1st Int. Conf. on Applied Ergonomics (ICAE'96), Istanbul, Turkey, 1996, West Lafayette, IN, USA Publishing Corporation.

Jonsson B. Measurement and evaluation of local muscular strain in the shoulder during constrained Work J Hum Ergol 1982;11:73-88.

Karasek R, Theorell T, Schwartz JE, Schnall PL, Pieper CF, Michela JL, Job characteristics in relation to the prevalence of myocardial infarction in the US Health Examination Survey (HES) and the Health and Nutrition Survey (HANES). Am J Public Health 1988;78:910-8.

Kim CH. A Study of Musculoskeletal Disorders at Automobile Industries in Korea. Korean J Indust Syst 2001;24(67):1-10. (Korean)

Kim DS, Cheong HK, Kim HS, Kwon YW, Lee JM, Cho DH, Choi DS. Carpal Tunnel Configuration Measured by Ultrasonography as a Risk Factor of Carpal Tunnel Syndrome in Motor Part Manufacturing Workers. Korean J Occup Environ Med 2002;14(3):213-26. (Korean)

Kim IL, Kim JY, Park JT, Choi JW, Kim HJ, Y대m YT. The Relationship between psychosocial stress and Work-related Musculoskeletal Symptoms of Assembly Line Workers in the Automobile industry. Korean J Occup Environ Med 2001;13(3):220-31. (Korean)

Knava BG, Wibom RL, Voss M, Hedstrom LD, Berqvist UO. Work with video display terminals among office employee: I. subjective symptoms and discomfort. Scand J Work Environ Health 1985;11(6):457-66.

Kuorinka J, Jonsson B, Kimbom Å, Vinterberg H, Biering-Sorensen F, Anderson G.B.J. Jorgensen K, Standardised Nordic questionnaires for analysis of musculoskeletal symptoms. Appl Ergon. 1987;18:233-7.

Li G, Buckle P. Current techniques for assessing physical exposure to workrelated musculoskeletal risks, with emphasis on posture-based methods. Ergonomics 1999;42(5):674-95.

Luke A, Maki KC, Barkey N, Cooper R, McGee D. Simultaneous monitoring of heart rate and motion to assess energy expenditure. Med Sci Sports Exerc 1997;29:144-8.

Miyashita M, Mutoh Y, Yoshioka N, Sadamoto T. PWC75%HRmax: a measure of aerobic work capacity. Sports Med 1985;2(3):159-64.

Maton B, LeBozec S, Cnockaert JC. The synergy of elbow extensor muscles during dynamic work in man: II. Braking elbow flexion. Eur J Appl Physiol 1980;44:279-89.

McAtamney L, Corlett EN. RULA: A survey method for investigation of work- related upper limb disorders. Appl Ergon 1993;24(2):91-9.

Nelson NA, Park RM, Silverstein MA, et al. Cumulative trauma disorders of the hand and wrist in the automobile industry. Am J Public Health 1992;82:1550-2.

Nordstrom DL, Vierkant RA, DeStefano F, Layde PM. Risk factors for carpal tunnel syndrome in a general population. Occup Environ Med 1997;54:734-40.

Punnett L, Fine LJ, Keyserling WM. Back disorders and non-neutral trunk position of automobile assembly workers. Scand J Work Environ Health 1991;17:337-46.

Punnett L, Gold J, Katz JN, Gore R, Wegman DH. Ergonomic stressors and upper extremity musculoskeletal disorders in automobile manufacturing: a one year follow up study. Occup Environ Med 2004 Aug;61(8):668-74.

Rempel DM, Harrison RJ, Barnhart S. Work related cumulative trauma disorders of the upper extremity. JAMA 1992;267(6):838-42.

Rennie KL, Hennings SJ, Mitchell J, Wareham NJ. Estimating energy expenditure by heart-rate monitoring without individ-

ual calibration. Med Sci Sports Exerc 2001;33(6):939-45.

Silverstein BA, Fine LJ, Armstrong TJ. Carpal tunnel syndrome: Causes and a preventive strategy. Semin Occup Med 1986a;1:213-21.

Silverstein BA, Fine LJ, Armstrong TJ. Hand and wrist cumulative trauma disorders in industry. Br J Ind Med 1986b;43:779-844.

Sjogaard G, Kiens B, Jogensen K, Saltin B. 1986. Intramuscular pressure, EMG and blood flow during low-level prolonged static contraction in man. Acta Physiol Scand. 1986;128: 475-84.

Soderberg GL. Recording techinques. In: Selected topics in surface electromyography for use in the occupational setting: expert perspectives. DHHS (NIOSH). 1992. pp91-100. pp24-41.

Sporrong H, Sandsjö L, Kadefors R, Herberts P. Assessment of workload and arm position during different work sequences: a study with portable devices on construction workers. Appl Ergon 1999;30:495-503.

Strath SJ, Swartz AM, Bassett DR Jr, O'Brien WL, King GA, Ainsworth BE. Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. Med Sci Sports Exerc 2000;32:s465-70.

Yen TY, Radwin RG. Comparison between using spectral analysis of electrogoniometer data and observational analysis to quantify repetitive motion and ergonomic changes in cyclical industrial Work Ergonomics 2000;43(1):106-32.

Yim SH, Park HS, Kim HW. Assessing Muscle Tensions During VDT Works with Surface Electromyography. Korean J Occup Environ Med 2000;12(4):524-36. (Korean)

Yoon CS, Lee SH. Symptom Prevalence and Related Factors of Upper Limb Musculoskeletal Symptoms in Automobile Related Job Workers. Korean J Occup Environ Med 1999;11(4):439-48. (Korean)