

Validity of Whole-body Observational Methods for Assessing Shoulder Loadings

Dohyung Kee

Keimyung University, Department of Industrial Engineering, Daegu, 42601

어깨 부하 평가를 위한 전신용 관찰적 기법의 타당성

기 도 형

계명대학교 산업공학과

Corresponding Author

Dohyung Kee

Keimyung University, Department of
Industrial Engineering, Daegu, 42601

Email : dhkee@kmu.ac.kr

Received : April 01, 2024

Revised : April 08, 2024

Accepted : May 03, 2024

Objective: The aims of this study are to measure perceived discomfort depending on shoulder flexion, repetition, and external load through an experiment, and to investigate the validity of whole-body observational methods such as RULA and LEBA for assessing shoulder musculoskeletal loadings, based on discomfort.

Background: The lower back was the most frequently affected by WMSDs from 2019 to 2021 in Korea, but excluding acute or accidental lower back pain, the shoulder was the most vulnerable to WMSDs. For preventing shoulder WMSDs, accurate quantification of exposure to risk factors associated with the shoulder is needed.

Method: An experiment measuring discomfort was conducted, where three independent variables including shoulder flexion, repetition, and external load were adopted and 16 college students participated. Two representative observational methods of RULA and LEBA were compared based on discomfort, and risk levels.

Results: Discomfort and LEBA score were significantly affected by the three independent variables, whereas RULA grand score was affected by an independent variable of shoulder flexion. LEBA score was more linearly correlated with discomfort than RULA grand score. LEBA more highly assessed postural loads for 27 experimental treatments compared to RULA.

Conclusion: LEBA may be better in evaluating shoulder musculoskeletal loadings than RULA.

Application: The results of this study provide a useful guideline in selecting observational methods to more precisely assess musculoskeletal loadings for shoulder-intensive tasks in industry.

Keywords: Work-related musculoskeletal disorders, Shoulder loading, Observational method, RULA, LEBA

1. Introduction

이 급증하고 있으며, 2021년 최초로 10,000건을 넘었고 2021년과 2022년에 약 12,000여 건 발생하였다(Kee, 2023; Ministry of Employment and Labor, 2022, 2023). 세계 160여개 나라에서 WMSDs 중 요통이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며(WHO, 2022), 우리나라도 그 비중이 감소하고 있으나 여전히 40% 이상으로 비중이 가장 높다. 2022년의 경우 비사고성 요통 16.8%, 사고성 요통 25.9% 등 요통이 전체 WMSDs 중 42.6%를 차지하였다(Ministry of Employment and Labor, 2023). 정보공개청구 제도를 이용하여 근로복지공단으로부터 구한 3년(2019~2021년) 간 총 31,173건의 업무상질병판정위원회에서 심의된 자료 분석 결과에 의하면, 사고성 요통을 제외하면 어깨 관련 WMSDs가 약 38%로 가장 많은 것으로 나타났다(Kee, 2023). 다음으로 요통 25%, 다리/발(12%), 팔꿈치/아래팔(10%), 손/손목(7%), 목(6%) WMSDs 순이었다.

이러한 어깨 관련 질환은 어깨 거상(shoulder elevation) 또는 외전 자세, 반복 동작 및 강한 힘 발휘, 중량물 운반, 빠른 움직임(≥ 15 회/분), 근무력 등이 주요 원인으로 알려져 있다(Korea Workers' Compensation and Welfare Service, 2019). 산업화의 진전 및 고도화, 디지털화에 따라 중량물 취급과 같은 고위험 작업보다는 단순 반복 작업이 늘어날 것으로 보여, 어깨 부위 WMSDs도 같이 증가할 것으로 추정된다. 어깨 WMSDs 예방 및 작업 관련성 평가를 위해서는 어깨 부위 부하를 정확히 평가하는 것이 우선적으로 요구된다. 자세 또는 작업 부하를 측정·평가하기 위하여 개발된 자기보고법(self-report method), 직접 측정법(direct measurement), 관찰법(observational method) 중 관찰법이 가장 많이 사용되고 있다(Takala et al., 2010).

전신 자세뿐 아니라 상지 자세 부하를 평가하기 위하여 Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) (Karhu et al., 1977), Rapid Upper Limb Assessment (RULA) (McAtamney and Corlett, 1993), Rapid Entire Body Assessment (REBA) (Hignett and McAtamney, 2000) 등의 관찰적 기법이 가장 많이 사용되고 있다(Castellucci et al., 2021; Lowe et al., 2019). 이들 기존 기법의 개발 근거 부족, 동작 반복, 외부 부하, 손잡이 효과 등의 반영이 부족한 문제점을 개선한 Loading on the Entire Body Assessment (LEBA)가 개발되었다(Kee, 2021b). LEBA는 손목, 팔꿈치, 어깨, 목, 몸통(허리) 및 다리 자세, 외부 부하/힘, 동작 반복, 정적 부하 및 손잡이 효과를 평가한다. 평가 요소 중 다리 자세는 13개 자세, 외부 부하/힘은 손의 위치(세 개 영역)에 따라 3개 공식, 동작 반복은 5개 수준으로 구분하고 있어 기존 관찰적 기법에 비하여 이들 요소를 세분하여 평가할 수 있는 장점이 있다. LEBA 및 RULA를 자세 부하 평가, WMSDs와 연관성 관점에서 비교한 연구가 있으며 LEBA가 RULA에 비하여 자세 부하를 높게 평가하고 불편도, 허리 압축력(compressive force at L5/S1), % capable at shoulder and trunk 등의 자세 부하 척도와 상관계수가 높으며, WMSDs와 연관성을 잘 추정할 수 있음을 보였다(Kee, 2022). 언급한 관찰적 기법은 전신 자세 부하를 평가하는 기법이나 어깨 부위 부하를 평가하는데도 일반적으로 사용되고 있는 것이 현실이다. Gómez-Galán et al. (2020)은 RULA가 제조업, 건강 및 사회복지 활동, 농수산 및 임업, 교통, 교육, 정보통신, 예술, 서비스 활동 등 업종에 관계없이 사용되고 있다고 보고하였다. Castellucci et al. (2021)은 칠레 인간공학 전문가 183명, 비전문가 148명 등 331명 대상으로 한 상지 근골격계질환 위험 요소 평가에 사용되는 관찰적 기법 조사에서, RULA와 REBA가 상위 세 개 기법에 포함되어 있음을 보였다. 우리나라도 어깨 부하 측정 또는 어깨 WMSDs의 작업 관련성 평가를 위하여 전신 자세 부하를 평가하는 OWAS, RULA, REBA 등이 많이 사용되고 있는 것으로 추정된다.

이러한 상황을 감안할 때 어깨 관련 WMSDs 예방 및 작업 관련성에 대한 정확한 평가를 위해서는 위의 전신 자세 부하 평가용으로 개발된 관찰적 기법을 사용하더라도 어깨 부위 부하를 정확하게 평가할 수 있는지에 대한 검증이 필요하다. 본 연구에서는 어깨 굴곡, 반복 및 외부 부하에 따른 지각 불편도를 측정하는 실험을 수행하고, 실험 결과를 바탕으로 전신 부하 평가를 위한 자세 부하 평가 도구인 RULA 및 LEBA가 어깨 부하를 적절하게 반영하는가를 평가하고자 한다.

2. Method

2.1 Participants

어깨 부하에 따른 불편도 측정 실험에는 근골격계질환 병력이 없는 대학생 16명(남녀 각 8명)이 참여하였다. 실험 참여자는 모두 오른손 잡이이며 참여 시간에 대한 수당을 지급하였다. 실험 참여자 정보는 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Demographic information of experiment participants

Variables	Total (N = 16) Mean ± SD ^a	Males (N = 8) Mean ± SD	Females (N = 8) Mean ± SD
Age (years)	22.5±1.67	24.0±0.00	21.0±0.93
Stature (cm)	168.8±10.10	175.0±6.80	158.7±4.50
Body weight (kg)	62.0±11.11	69.4±8.21	54.6±8.52

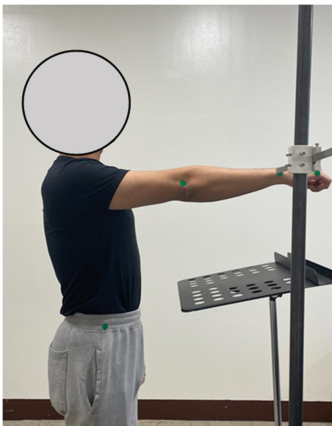
2.2 Experimental design

어깨 동작에 따른 불편도를 측정하는 실험에서 어깨 굴곡, 반복 및 외부 부하를 독립변수로 하였다. 어깨 굴곡 수준은 RULA, REBA, LEBA 등 기존 자세 부하 평가 체계에 사용되고 있는 어깨 굴곡 각도를 참조하고(Hignett, 2000; Kee, 2021b; McAtamney and Corlett, 1993), 육안으로 구분하기 쉬운 각도로 정하였다: 45, 90, 150°. 어깨 굴곡 동작 반복은 어깨 중립 자세에서 정하여진 각도까지의 굴곡 동작을 반복하는 것으로 정하였다. 여기서 어깨 중립 자세는 굴곡이 0°일 때를 의미한다. 어깨 굴곡 동작 반복 수준은 전 연구(Carey and Gallwey, 2002; Lin et al., 1997; Yen and Radwin, 2000)를 참조하여 3 수준으로 정하였다: 5, 10, 20회/분. 외부 부하는 아령(dumb bell)을 사용하였으며 자동차 조립 공정에 사용되는 공구 무게(<3.0kg) 및 예비 실험에서 파악한 실험 참여자들이 견딜 수 있는 무게로 수준을 정하였다: 0.0, 1.0, 1.5kg. 세 독립변수 및 독립변수 별 세 수준에 대한 완전요인계획법으로 27개(3×3×3) 실험처치에 대한 실험을 수행하였다. 종속변수는 주관적 지각 불편도로 하였으며 Borg CR10 척도를 이용하여 측정하였다.

2.3 Experimental procedure

본 실험 전에 실험 참가자에게 실험 목적, 절차, 발생 가능한 위험성을 알리고 동의서를 얻는 약 10분 간의 훈련 세션을 가졌다. 이 때 실험 참가자의 체중, 신장을 측정하였다. 다음으로 실험 참여자들이 실험 계획에 따른 어깨 반복 동작을 견딜 수 있는 외부 부하를 결정하는 예비 실험을 수행하였고, 실험 결과를 바탕으로 1.5kg을 최대 외부 부하로 결정하였다.

실험에서 실험 참여자는 상지가 드러나는 반소매 옷을, 하지는 활동하기 편한 복장을 착용하도록 하였다. 실험 시작 전 실험자는 실험 중 기준점으로 사용하기 위하여 실험 참여자 오른쪽 신체 부위 손목 가쪽점, 팔꿈치 가쪽점, 어깨점, 엉덩뼈 능선점에 마크를 부착하였다. 실험은 실험 참여자가 선 자세에서 5분 동안 어깨 굴곡 동작을 주어진 횟수만큼 반복하는 것이며, 반복 시점은 컴퓨터 사운드로 알려주었다. 어깨 굴곡을 실험 계획에 따라 주어진 각도만큼 굴곡을 하도록 철제봉을 사용하여 확인하였다. 이 때 어깨 외 신체 부위 즉, 허리, 팔꿈치, 손목 등은 중립 자세를 취하도록 하였다. 여기서 중립 자세는 관련 신체 부위에서 일어날 수 있는 동작이 일어

**Figure 1.** An experimental posture

나지 않는 것(0°)을 의미한다. 신체 왼쪽 부위는 팔을 몸통에 붙인 채 수직 하방으로 늘어뜨린 자세를 유지한다(Figure 1). 실험 시간 5분은 Carey와 Gallwey (2002) 연구의 실험 프로토콜을 따라 결정하였다.

각 실험처치 사이 실험 참여자는 5분 이상 휴식을 취하였으며 실험 계획에 따른 실험처치를 마칠 때마다 실험 참여자에게 이에 대한 지각 불편도를 Borg CR10으로 답하게 하였다. 실험은 총 5.0~5.5시간이 소요되었으며 피로 효과를 최소화하기 위하여 하루에 9개 실험처치에 대한 실험을 하여 실험은 3일에 걸쳐 실시되었다. 모든 실험 참여자에게 실험처치는 무작위로 제시되었다.

3. Results

3.1 Effects of independent variables and postural loads

실험에서 설정한 독립변수인 어깨 굴곡, 반복 및 외부 부하가 불편도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 분석분석을 실시하였다(Table 2). 세 변수의 주효과(main effect) 모두 불편도에 유의수준 1%에서 통계적으로 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 어깨 굴곡 및 동작 반복과 어깨 굴곡 동작 반복 및 외부 부하 간 교호작용은 유의수준 1%에서 통계적으로 유의하였으나, 어깨 굴곡 및 외부 부하 간 교호작용은 불편도에 유의한 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다($p>0.10$).

독립변수가 RULA grand score 및 LEBA score에 미치는 영향도 분석분석을 통하여 분석하였다. 27개 실험처치에 대하여 저자가 RULA 및 LEBA를 적용하여 그 결과로 RULA grand score 및 action level, LEBA score 및 action category 등 각 실험처치 별로 4개의 자세 부하를 구하였으며, RULA grand score 및 LEBA score는 interval scale로 가정하고 분산분석을 적용하였다. RULA grand score에 대한 분석 분석의 에러 항에 대한 제곱합(sum of square)이 0으로 나와 어깨 굴곡에 대한 F 값이 ∞ 로 나왔다. 어깨 굴곡 동작 반복은 실험 수준이 5회 이상으로 RULA 분류 체계에서 '분당 4회 이상 반복', 외부 부하는 1.5kg 이하로 '2kg 이하 외부 부하나 힘을 간헐적으로 가할 때'의 한 그룹에 속하여 같은 코드로 분류되어 분산분석에서 제외하였다. 반면, LEBA는 어깨 굴곡을 두 그룹(45~90°, 90~150°), 어깨 동작 반복을 세 그룹(<5회/분, 11~15회/분, 16~20회/분), 외부 부하는 여섯 그룹(손 위치와 외부 부하 크기에 따라 구분됨)으로 분류하였고, 세 독립변수 모두 LEBA score에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다($p<0.01$).

Table 2. ANOVA results

Dependent variable	Source	DF	Mean square	F value	Pr > F
Discomfort	Shoulder flexion	2	46.96	21.14	<0.01
	Repetition	2	354.88	159.72	<0.01
	External Load	2	517.77	233.03	<0.01
	Shoulder flexion*Repetition	4	5.72	3.71	<0.01
	Shoulder flexion*External Load	4	1.99	1.29	>0.10
	Repetition*External Load	4	33.02	21.43	<0.10
RULA grand score	Shoulder flexion	2	3.00	∞	<0.01
	Repetition	-	-	-	-
	External Load	-	-	-	-
LEBA score	Shoulder flexion	2	13.08	18.26	<0.01
	Repetition	2	111.00	154.88	<0.01
	External Load	2	246.08	343.37	<0.01

-: impossible

3.2 Relationship between discomfort and postural loads

실험에서 Borg CR10을 이용하여 실험처치 별로 측정된 불편도, RULA grand score 및 LEBA score 간 상관계수는 다음 Table 3과 같다. 지각 불편도는 LEBA score와는 Pearson 상관계수가 0.89로 강한 양의 상관관계를 보였으나, RULA grand score와는 0.20으로 매우 낮았다. RULA grand score 및 LEBA score 간 상관계수도 0.08로 매우 낮았다.

Table 3. Pearson's correlation coefficients between discomfort and two postural loads

	RULA grand score	LEBA score
Discomfort	0.20*	0.89*
RULA grand score	1.00	0.08

*significant at $\alpha = 0.01$

3.3 Distribution of discomfort and postural loads

27개 실험처치 별 16명 실험 참가자의 평균 지각 불편도는 다음 Figure 2와 같으며, 평균 지각 불편도는 0.31에서 8.88까지 분포하였다. 최저 평균 불편도 0.31은 Borg CR10의 verbal anchor 중 '극히 약함(겨우 느낄 수 있음(jut noticeable)) (0.5)'에 가까우며, 최대값 8.88은 '매우 강함(7)'과 '극히 강함(거의 최대) (10)' 중간에 위치하였다. 원시 불편도 자료는 0에서 10까지 분포하였고 평균 3.28(표준편차: 2.53)을 보였다.

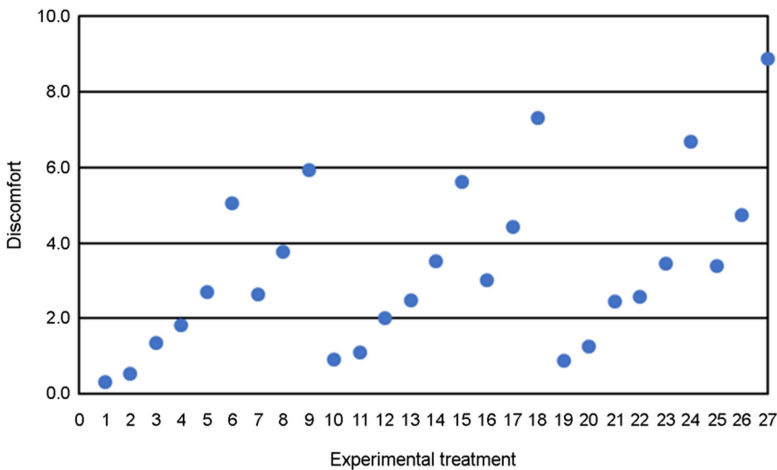


Figure 2. Perceived discomfort scores by experimental treatment

실험처치 별로 RULA 및 LEBA를 적용하여 구한 RULA grand score 및 action level과 LEBA score 및 action category는 Figure 3에 제시되어 있다. RULA grand score는 3, 4 두 점수로만 평가되었고 평균 3.67(표준편차: 0.48)를 보였고, LEBA score 범위는 5~25, 평균은 15.61(표준편차: 5.39)였다. RULA action level과 LEBA action category는 ordinal scale로 가정하였으며, 그 분포는 Figure 3, Table 4와 같다. RULA는 27개 실험처치 모두 action level 2의 같은 부하로 평가한 반면, LEBA는 4개 실험처치는 action category 1(불편도 점수: 0.31(극히 약함(겨우 느낄 수 있음) (0.5)에 가까움) - 0.91(매우 약함(1)에 가까움), 16개 처치는 action category 2(불편도 점수: 1.09(매우 약함(1)에 가까움) - 4.75(강함(무거움(heavy) (5)에 가까움), 7개 처치는 action category 3(불편도 점수: 4.44(강함(무거움) (5)에 가까움) -

8.88(매우 강함(7)과 극히 강함(10) 중간에 가까움)으로 평가하였다. LEBA는 평균 불편도가 4.44 이상인 실험처치 8개 중 7개 처치를 빠른 시일 내 개선을 요하는 action category 3으로 평가하였다. Wilcoxon signed-rank test는 RULA에 비하여 LEBA가 자세 부하를 높게 평가하는 것으로 분석하였다($p < 0.01$).

또한, 실험 독립변수의 LEBA action category에 대한 영향의 유의성을 검증하기 위하여 Chi-square test를 적용하였으며, 어깨 굴곡 동작 반복($p < 0.01$)과 외부 부하($p < 0.05$)가 LEBA action category에 유의한 영향을 미치는 것으로 분석되었다. RULA는 실험처치에 관계 없이 action level 2로 동일하게 평가한 것으로부터 세 독립변수가 RULA action level에 통계적으로 유의한 영향이 없음을 알 수 있다. RULA와 LEBA 간 평가 결과인 RULA action level과 LEBA action category 간 일치율은 59.3%를 보였다.

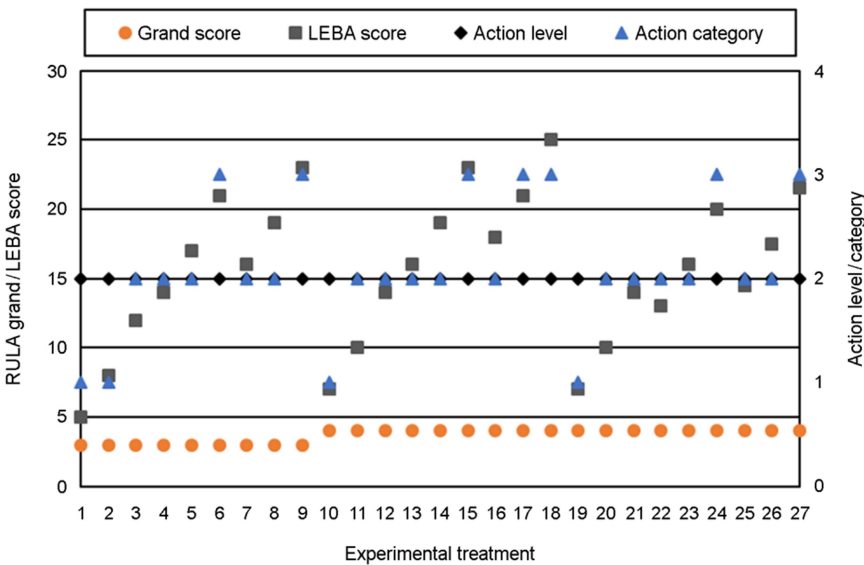


Figure 3. RULA grand score and action level, and LEBA score and action category by experimental treatment

Table 4. Distribution of postural loads by RULA and LEBA

Postural load	RULA action level	LEBA action category
1	0 (0.0)	4 (14.8)
2	27 (100.0)	16 (59.3)
3	0 (0.0)	7 (25.9)
4	0 (0.0)	0 (0.0)
Total	27 (100.0)	27 (100.0)

4. Discussion and Conclusion

이 연구는 어깨 굴곡, 반복 및 외부 부하에 따른 지각 불편도를 측정하는 실험을 수행하고, 실험 결과를 바탕으로 전신 자세 부하 평가 도구인 RULA와 LEBA가 어깨 부하를 적절하게 평가할 수 있는지를 살펴보았다. 불편도 및 LEBA score에 세 독립변수 모두 유의한 영향을 미치는 것으로 나타났으나, RULA grand score는 어깨 굴곡 동작만 유의한 것으로 분석되었다. 이 연구 결과에 비추어 볼 때 RULA보다는 LEBA가 주어진 실험 조건에서 어깨 부하를 좀 더 적절히 평가하는 것으로 판단되며, 그 근거는 다음과 같다. 1) 분산분석

에서 RULA grand score에는 어깨 굴곡 동작만 유의한 반면, LEBA score에는 세 독립변수 모두 유의한 영향을 미쳤다; 2) RULA grand score보다 LEBA score가 자세 부하의 유효한 척도로 알려져 있는 불편도와 상관계수가 높았다(0.89) (Corlett and Manenica, 1980); 3) Chi-square 검정에서 LEBA action category는 어깨 굴곡 동작 반복과 외부 부하 등 두 독립변수가 유의한 영향을 미쳤으나, RULA action level은 세 독립변수의 영향이 유의하지 않았다; 4) RULA는 Borg CR10으로 측정된 불편도가 0.31에서 8.88까지 분포한 27개 실험처치에 대한 부하를 모두 action level 2로 같게 평가하였으나, LEBA는 4개 실험처치는 action category 1, 16개 처치는 action category 2, 7개 처치는 action category 3으로 다르게 평가하여 불편도에 따라 자세 부하를 구분하였다. 따라서, 이 연구 실험 조건과 유사한 어깨 굴곡 동작을 반복적으로 많이 사용하고 공구나 부품이 가벼운 자동차, 전자 제품 조립 라인 등에서 일어나는 어깨 부위 부하 평가에 LEBA를 사용하여도 크게 문제가 없을 것으로 추정된다.

우리나라와 미국, 캐나다, 영국, 호주 등에서 많이 사용되고 있는 OWAS, REBA도 이 연구에 사용된 실험처치에 대한 부하를 RULA와 비슷하거나 더 낮은 수준으로 평가할 것으로 보인다. 이는 RULA가 OWAS와 REBA에 비하여 업종에 관계없이 부하를 높게 평가하고, 불편도, 최대 자세 지속 시간 및 근골격계질환과의 연관성 관점에서 우수하게 평가한다는 전 연구에 근거한 것이다(Kee, 2020, 2021a; Kee and Karwowski, 2007; Kee et al., 2020). 본 연구에서 RULA를 선택한 것은 앞서 언급한 바와 자세 부하 평가에 많이 사용되는 OWAS, RULA, REBA 중 RULA가 자세 부하 평가에 좀 더 적절한 것으로 알려져 있기 때문이다. RULA와 LEBA를 비교한 것은 LEBA가 RULA보다 자세 부하를 높게 평가하고, 불편도, L5/S1 압축력(compressive force), % capable at shoulder and trunk, 자세 최대 지속 시간 등 자세 부하 척도와 상관계수가 높으며 근골격계질환과의 관련성을 더 잘 예측하기 때문이다(Kee, 2022). 즉, 자세 부하 평가 기법 비교 관련 논문에서 사용이 권장되는 두 기법을 사용하였다 할 수 있다.

이 연구에서는 불편도에 기반하여 RULA 및 LEBA가 어깨 자세 부하 평가에 적절한지를 검토하였으나, 최대 자세 지속 시간, 어깨 부위에 대한 생체역학적 부하, 어깨 관련 근골격계질환과의 연관성 등 다양한 척도를 이용한 비교·평가에 대한 연구가 요망된다.

Acknowledgement

이 연구는 2023년도 계명대학교 비사연구기금으로 이루어졌음(과제번호: 20230653).

References

- Carey, E. and Gallwey, T.J., Effects of wrist posture, pace and exertion on discomfort, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29, 85-94, 2002.
- Castellucci, H.I., Viviani, C., Hernández, P., Bravo, D., Martiinez, M., Ibacache, J. and Bartsch, Á., Developing countries and the use of ISO Standard 11228-3 for risk management of Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Upper Limbs (WRMSDs-ULs): The case of Chile, *Applied Ergonomics*, 96, 103483, 2021.
- Corlett, E.N. and Manenica, J., The effects and measurement of working postures, *Applied Ergonomics*, 11, 7-16, 1980.
- Gómez-Galán, M., Callejón-Ferre, Á.J., Pérez-Alonso, J., Díaz-Pérez, M. and Carrillo-Castrillo, J.A., Musculoskeletal risks: RULA bibliometric review, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 4354, 2020.
- Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment (REBA), *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000.
- Karhu, O., Kansii, P. and Kuorinka, I., Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, 8, 199-201, 1977.
- Kee, D., An empirical comparison of OWAS, RULA and REBA based on self-reported discomfort, *International Journal of Occupational*

Safety and Ergonomics, 26, 285-295, 2020.

Kee, D., Characteristics of Work-Related Musculoskeletal Disorders in Korea, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20, 1024, 2023.

Kee, D., Comparison of LEBA and RULA Based on Postural Load Criteria and Epidemiological Data on Musculoskeletal Disorders, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 3967, 2022.

Kee, D., Comparison of OWAS, RULA and REBA for assessing potential work-related musculoskeletal disorders, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 83, 103140, 2021a.

Kee, D., Development and evaluation of a new technique for postural loading on the entire body assessment, *Ergonomics*, 64, 1555-1568, 2021b.

Kee, D. and Karwowski, W.A., Comparison of three observational techniques for assessing postural loads in industry. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 13, 3-14, 2007.

Kee, D., Na, S. and Chung, M.K., Comparison of the Ovako Working Posture Analysis System, Rapid Upper Limb Assessment, and Rapid Entire Body Assessment based on the maximum holding times, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 77, 102943, 2020.

Korea Workers' Compensation and Welfare Service (COMWEL), *Occupational disease determination manual/Accident*, COMWEL, 2019.

Lin, M.L., Radwin, R.G. and Snook, S.H., A single metric for quantifying biomechanical stress in repetitive motions and exertions, *Ergonomics*, 40, 543-558, 1997.

Lowe, B.D., Dempsey, P.G. and Jones, E.M., Ergonomics assessment methods by ergonomics professionals. *Applied Ergonomics*, 81, 102882, 2019.

McAtamney, L. and Corlett, E.N., RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24, 91-99, 1993.

Ministry of Employment and Labor, *Industrial Accident Status Analysis*, Ministry of Employment and Labor, 2022, 2023.

Takala, E.P., Pehkonen, I., Forsman, M., Hansson, G.Å., Mathiassen, S.E., Neumann, W.P., Sjøgaard, G., Veiersted, K.B., Westgaard, R.H. and Winkel, J., Systematic evaluation of observational methods assessing biomechanical exposures at work, *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health*, 36, 3-24, 2010.

World Health Organization (WHO), Musculoskeletal Health, *WHO*, <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/musculoskeletal-conditions> (retrieved July 25, 2022).

Yen, T.Y. and Radwin, R.G., Comparison between using spectral analysis of electrogoniometer data and observational analysis to quantify repetitive motion and ergonomic changes in cyclical industrial work, *Ergonomics*, 43, 106-132, 2000.

Author listings

Dohyung Kee: dhkee@kmu.ac.kr

Highest degree: Ph.D, Department of Industrial Engineering, POSTECH

Position title: Professor, Department of Industrial Engineering, Keimyung University

Areas of interest: Systems ergonomics, Population stereotype, Posture classification scheme, Industrial safety, Musculoskeletal disorders