

Development of Workload Assessment System for Comparison of Manual Care and Robot-Aided Care loads in the Transfer Assistive Care

Yong-Ku Kong, Kyeong-Hee Choi, Hyun-Ho Shim, Min-Uk Cho, Min-Jung Kim, Sang-Soo Park, Jin-Woo Shim, Seoung-Yeon Kim

Sungkyunkwan University, Department of Industrial Engineering, Suwon 16419

이승 보조 돌봄 작업의 수동 돌봄(Manual Care)과 로봇 돌봄(Robot-aided Care)의 작업부하 비교를 위한 작업부담 평가체계 개발

공용구, 최경희, 심현호, 조민욱, 김민정, 박상수, 심진우, 김승연

성균관대학교 산업공학과

Corresponding Author

Seoung-Yeon Kim
Sungkyunkwan University, Department of
Industrial Engineering, Suwon 16419
Email : kimsy9035@naver.com

Received : September 08, 2021

Revised : September 22, 2021

Accepted : October 12, 2021

Objective: The aim of this study was to develop an assessment system for quantitatively comparing the workloads of manual care (MC) and robot-aid care (RC) of the care jobs.

Background: Due to the rapid aging of Korea, the demand for human resources for elderly care tasks has been rapidly increased. Caregivers taking care of the elderly have been under high physical and mental stress due to various types of care work. Recently, many care robots using the technology of the 4th Industrial Revolution have been proposed as a solution to reduce caregiver's load. However, there is still insufficient research to evaluate the physical and mental load relief effects of caregivers through comprehensive assessment.

Method: The upper index (physical and mental loads) and the lower indexes of each upper index were determined through the literature survey and 42 ergonomic experts' opinions. Ergonomics experts and caregivers also conducted the Analytic Hierarchy Process (AHP) to determine weights of the upper and lower indexes. Two task types (Bed to Chair and Chair to Bed) and two care types (Manual care and Robot-aid care) were performed to estimate the final work load scores based on the task types and care types in this study.

Results: The results of the AHP analysis showed that the physical load was higher than the mental load for elderly caring tasks. Muscle load was the highest work stress in the physical load, followed by subjective body and posture loads. Safety stress was the most in the mental load, followed by task-difficulty stress and emotional stress, respectively. Robot-aided care showed a lower final workload score, including physical and mental load scores, than manual care in both types of tasks (Bed to Chair, Chair to Bed).

Conclusion: A workload assessment system was developed by selecting assessment indexes of physical and mental loads that reflect the characteristics of transfer assistive care. It was noted that the physical and mental loads might be reduced in

robot-aided care compared to manual care based on this study.

Application: The workload assessment system can be used to quantitatively evaluate the reduction of workloads for applying different types of manual care and robot-aided care systems in elderly care work.

Keywords: Transfer assistive care, Robot-aided care, Manual care, Workload assessment system, Physical load, Mental load

1. Introduction

돌봄 작업이란 스스로 자신을 보살필 수 없는 사람을 보살피는 행위를 말하며, 현재 한국은 빠른 고령화로 인하여 노인 돌봄에 대한 수요가 증가할 것으로 예상된다(Choi, 2011; Kim and Woo, 2013; Choi and Kim, 2018).

돌봄 작업 중에서도 환자 이송 및 체위 변경에 대한 업무는 신체적 노동 비중이 높아 신체적 무리를 동반한다(Choi, 2019). 요양보호사 총 943명을 대상으로 한 연구에 따르면 돌봄 노동을 제공하는 요양보호사 중 98.1%가 근골격계 증상을 호소하는 경향이 있다(Lee et al., 2011). 특히 부자연스러운 자세, 반복성, 과도한 힘 등으로 인해 어깨, 허리, 손, 손목 등에 부담이 크게 나타난다(Choi, 2019).

요양보호사는 신체적인 부하뿐만 아니라 심리적 스트레스에 의한 감정 노동으로 인하여 정신적인 부하도 발생하는데, 감정 노동이란 부정적인 감정에도 불구하고 표출하는 감정을 통제하는 과정을 의미한다(Hochschild et al., 1983). 감정 노동에 의한 심리적 스트레스가 지속될 경우 피로, 호흡 질환 등 정신적 건강에도 부정적인 영향을 미치게 된다는 보고가 있다(Shin and Kim, 2015).

최근에는, 요양보호사의 돌봄 작업에 대한 신체적, 정신적 부담 경감에 대한 해결 방안을 위해 4차 산업혁명 기술을 이용한 다양한 돌봄 로봇들이 제안되고 있다. 기존 연구 결과, 이송 보조 돌봄 작업 시 보조 로봇을 사용할 경우 수동 돌봄(Manual care)에 비하여 전방 삼각근(AD)를 제외한 상완 근육(BB, TB, MD, UT)과 허리 근육(ES)의 근활성도가 감소하거나(Hwang et al., 2019), L5/S1의 허리 압축력과 같은 척추 부하가 감소한다는 보고가 있다(Marras et al., 2009; Dutta et al., 2012; Wiggermann et al., 2021). 하지만, 대부분의 연구에서 근활성도나 허리 압축력과 같이 제한적인 신체적 부하에 대한 경감 여부만을 제시했다는 한계점이 있다. 이처럼 이송 보조 돌봄 작업 시 종합적인 평가를 통한 수동 돌봄(Manual Care)과 이송 보조 로봇 돌봄(Robot-aided Care)에 따른 요양보호사의 신체적, 정신적 부하 경감 효과에 대해 평가한 연구는 미비한 현황이다.

이에 본 연구에서는 이송 돌봄 작업의 수동 돌봄과 이송 보조 로봇 돌봄의 작업 부하를 정량적으로 비교하기 위한 평가 체계를 개발하고자 한다.

2. Methods

2.1 Selection of upper/lower index for workload assessment

이송 보조 돌봄 작업 특성을 고려하여 신체적 부하와 정신적 부하를 상위 평가 지표(upper index)로 선정하였고 기존 연구와 문헌 조사를 통해 상위 평가 지표 별로 각각 관련된 하위 평가 지표(lower index)들을 선정하였다.

신체적 부하의 하위 지표는 기존 연구에서 정량적 평가 시 주로 사용되는 지표들을 참고하여 Table 1과 같이 근육 부하(muscle load), 자세 부하(posture load), 관절 부하(joint load), 심박수(heart rate), 산소 소비량(oxygen consumption), 에너지 소비량(energy expenditure), 주관적 신체 부하(subjective discomfort, Borgs' RPE scale), 신체부위 별 불편도(body part discomfort, Borgs' CR-10 scale)를 선정하였다.

Table 1. Summary of physical load lower indexes

Upper index	Lower index	Description	Reference
Physical load	Muscle load	A method of evaluating the muscle activity or muscular fatigue of the local muscles	Soderberg (1992) Öberg (1995) Strimpakos et al. (2005) Winter (2005)
	Posture load	A method of evaluating the working posture through measurements such as body flexion/extension	Hansson et al. (1996) Johnson et al. (2002) Tatiana et al. (2009)
	Joint load	A method of estimating the disc compressive force of the back using simulation programs such as 3D SSPP, AnyBody, etc.	Feyen et al. (2000) Waters et al. (1994)
	Heart rate	A method of evaluating the overall workload through heart rate evaluation	Lee et al. (1998) Lammert (1972)
	Oxygen consumption	A method of evaluating through the amount of oxygen consumed during working hours	Powers and Howley (1993)
	Energy expenditure	A method of estimating the amount of energy consumed during work	Yang et al. (2005)
	Subjective discomfort (Borg's RPE scale)	A method of whole-body evaluating through the degree of subjective intensity (effort) perceived for sports activities or work	McCormick and Sanders (1982) Kroemer et al. (1990)
	Body part discomfort (Borg's CR-10 scale)	A method of evaluating the local body part through the degree of subjective intensity (effort)	Borg (1982) Åstrand and Rodahl (1986)

정신적 부하의 하위 지표는 문헌 조사를 통해 이승 보조 돌봄 시 주로 발생하는 안전 사고 유형과 직무 스트레스를 Table 2와 같이 참고하여 난이도 스트레스(difficulty stress), 감정 스트레스(emotion stress), 안전 스트레스(safety stress), 역할모호성 스트레스(role ambiguity

Table 2. Summary of mental load lower indexes

Upper index	Lower index	Description	Reference
Mental load	Difficulty stress	Items that measure mental stress caused by the order of work or the difficulty of a procedure	Cho (2008) Hwang et al. (2012)
	Emotion stress	Items that measure stress caused by negative emotions such as discomfort, tension, etc.	Davey et al. (2004) Kuzuya et al. (2006)
	Safety stress	Items that measure mental stress caused by the risk of injury (fall, collision, etc.) of the operator himself or the person being cared for.	Ruchinskas (2003) Wagner et al. (2011)
	Role ambiguity stress	Items that measure mental stress due to unclear roles or work performance results	Rizzo et al. (1970)
	Role conflict stress	Items that measure mental stress caused by differences in roles expected by individuals and given roles	Um and Harrison (1998)
	Role overload stress	Items that measure mental stress caused by difficulty in performing tasks required by limited time or resources	Cordes and Dougherty (1993)

stress), 역할갈등 스트레스(role conflict stress), 역할과다 스트레스(role overload stress)를 선정하였다.

선정된 하위 평가 지표에 대하여 인간공학 및 작업의학 관련 전문가 11명에게 이승 보조 돌봄 작업을 충분히 이해할 수 있는 자료 (전반적 작업과정에 대한 설명 및 관련 영상/사진)를 먼저 제공한 뒤(Figure 1), 해당 돌봄 작업의 작업 부담을 평가하기에 적합한 하위 지표들의 적절성 평가를 수행하였으며, 전문가 70% 이상이 적합하다고 평가한 의견을 반영하여 최종 지표를 선정하였다.



Figure 1. Transfer assistant care tasks [Bed to chair (up) and Chair to bed (down)]

2.2 Development of a workload assessment system

이승 보조 돌봄 작업의 상위/하위 지표 별 중요도를 반영한 평가 체계 개발을 위해 인간공학 전문가 및 요양보호사 42명을 대상으로 계층화 분석법(Analytics Hierarchy Process, AHP)을 수행하였고, 도출된 중요도를 상위/하위 지표 별 가중치로 적용하여 작업 부담 종합점수 계산식을 산출하였다. 전문가 대상 AHP 과정은 2단계로 진행하였는데, 첫 번째 단계는 상위 지표 간의 쌍대비교(pairwise comparison), 두 번째 단계에서는 각 상위 지표의 하위 지표 간의 쌍대비교(pairwise comparison)를 통해 각 요소 별 중요도를 산출하였다(Figure 2).

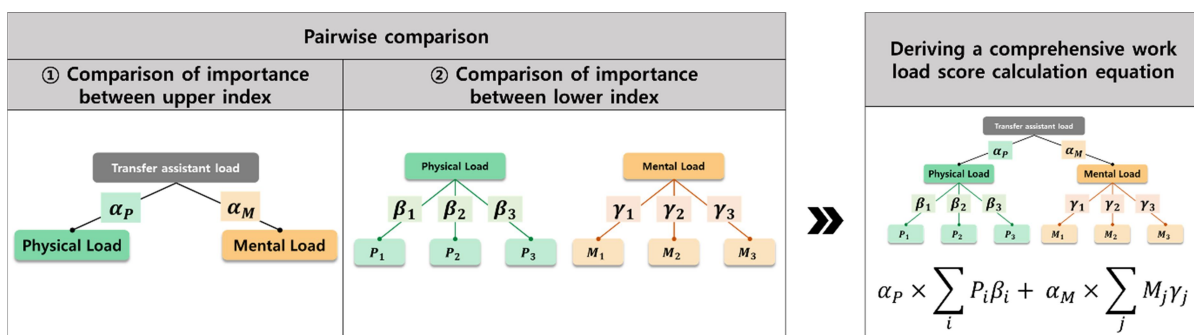


Figure 2. AHP assessment for evaluating weights of indexes

2.3 Comparison of manual care and robot-aided care for transfer assistive care workload

개발된 작업 부담 평가 체계를 활용하여 수동 돌봄과 이송 보조 로봇 돌봄 2가지 돌봄 유형의 작업 부담 비교를 수행하였다. 절차는 크게 3단계로 1) 돌봄 작업 유형/종류 별 단위 작업 분석; 2) 돌봄 작업 유형별 실험 수행; 3) 평가 체계 적용으로 구성하였다.

첫 번째 단계에서 건강보험공단에서 제공하는 업무 매뉴얼 영상을 참고하여 이송 보조 돌봄 작업을 침대에서 휠체어로 이송(Bed to Chair)과 휠체어에서 침대로 이송(Chair to Bed)으로 작업 종류를 구분 후 각각 수동 돌봄과 이송 보조 로봇 돌봄에 대하여 단계 및 작업 특성에 따라 단위 작업으로 분할하였다. 수동 돌봄은 건강보험공단에서 제공하는 업무 매뉴얼 영상을 참고하여 단위 작업 분석을 수행하였고(Figure 1), 이송 보조 로봇 돌봄은 리프트형 이송장비(01M 社, 이동용 리프트 렉서리2모터 S5-3) 제조사에서 제공하는 사용 매뉴얼을 기반으로 분석을 수행하였다(Figure 3).

두 번째 단계에서 근골격계 질환이 없는 20, 30대 성인 4명(남성 1명, 여성 3명)을 대상으로 수행하였으며, 평균 연령은 24.3세였다. 실험 시작 전, 피험자들에게 앞서 정의한 수동 돌봄과 이송 보조 로봇 돌봄 단위 작업에 대하여 영상 및 설명을 안내 후 정확하게 수행할 수 있도록 충분한 연습을 사전에 수행하도록 하였다.

마지막 단계에서 실험을 통해 획득한 Data를 2.2절의 연구 결과 도출한 이송 보조 돌봄 작업 평가 체계에 적용하여 최종 종합 점수를



Figure 3. Transfer assistant Robot-aided cares [Bed to chair (up), Chair to bed (down)]

산출하여 돌봄 유형에 따른 부담 점수를 비교하였다. 독립변수는 작업 유형(Bed to chair, Chair to bed), 돌봄 유형(Manual care, Robot-aided care), 신체부위(측정 근육 부위, 신체부위 별 각도)로 선정하였으며, 종속변수는 2.1절 결과 선정된 신체적 부하의 하위 지표와 정신적 부하의 하위 지표로 선정하였다. 통계 분석은 SPSS 20 (SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA)을 이용하여 분석하였으며, 유의 수준(α)은 0.05로 설정하여 비모수 검정(Mann-Whitney test)을 수행하였다.

3. Results

3.1 Determination of the Upper and lower indexes

인간공학 및 작업의학 관련 전문가 11명을 대상으로 평가 결과, 1차 선정된 하위 지표들 중 70% 이상의 전문가가 적합하다고 평가한 항목은 신체적 부하에선 근육 부하(90%), 주관적 신체 부하(82%), 자세 부하(73%)였고 정신적 부하에선 안전 스트레스(100%), 난이도 스트레스(90%), 감정 스트레스(90%)로 해당 지표들을 선정하였다(Figure 4).

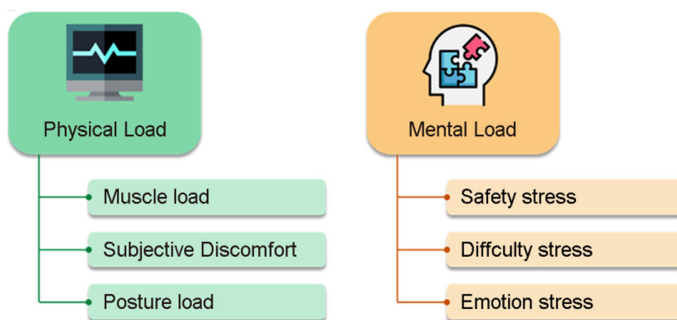


Figure 4. The upper and lower indexes

3.2 Evaluation elements and normalization by lower index

신체적 부하의 하위 지표인 근육 부하는 근전도 장비를 이용하여 근활성도를 측정하는 방식을 적용하였으며, 측정 근육 위치는 환자

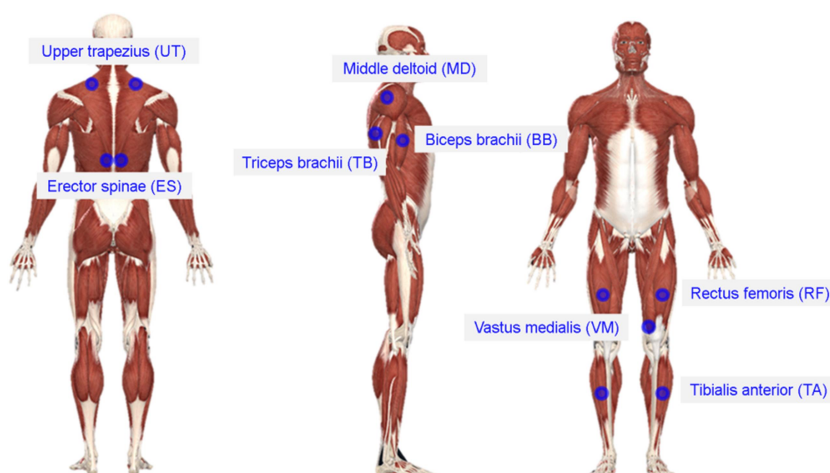


Figure 5. Positions of muscle measurements

이승 보조 관련된 기존 연구들에서 사용한 부위를 참고하여 선정하였다. 선정된 근육은 허리의 척추기립근(Erector spinae), 상완의 상완이두근(Biceps brachii), 상완삼두근(Triceps brachii), 중간삼각근(Middle deltoid), 어깨의 상부승모근(Upper trapezius), 하지의 대퇴직근(Rectus femoris), 내측광근(Vastus medialis), 전경골근(Tibialis anterior)로 총 8개 근육을 선정하였다(Figure 5) (Marras et al., 2009; Draicchio et al., 2016; Hwang et al., 2019; Brinkmann et al., 2020). 해당 지표의 정규화 방식은 %MVC를 채택하여 [공식 1]과 같이 도출하였다.

$$\%MVC = \frac{EMG_{task} - EMG_{resting}}{EMG_{MVC} - EMG_{resting}} \dots\dots\dots [공식 1]$$

(where, EMG_{task} = 단위 작업 시 평균 근활성도, EMG_{MVC} = 최대자의적 수축근력, $EMG_{resting}$ = 휴지 시 근활성도)

자세 부하는 동작 분석 시스템을 이용하여 각 신체부위 별 각도를 측정하는 방식을 적용하였으며, 측정 신체분절의 각도는 기존 문헌 조사를 통해 요양보호사의 주요 근골격계 질환 부위 및 인간공학적 평가도구(RULA, REBA, OWAS, AWBA 등)에서 사용되는 신체부위를 참고하여 선정하였다. 이를 토대로 선정된 신체분절 각도는 허리 굽힘/펴 각도(Lumbar flexion/extension angle), 목 굽힘/펴 각도(Cervical flexion/extension angle), 어깨 굽힘/펴 각도(shoulder flexion/extension angle), 팔꿈치 굽힘 각도(Elbow flexion angle), 무릎 굽힘 각도(Knee flexion angle)로 선정하였다(Garg and Owen, 1994; Retsas and Pinikahana, 2000; Trinkoff et al., 2002; Smith et al., 2006; Lee et al., 2011; Choi, 2019). 해당 지표의 정규화 방식은 %ROM을 채택하여 단위 작업 별로 최대 굴곡(Flexion) 또는 최대 신전(Extension)을 $Anatomical_{Max}$ 로 적용하여 [공식 2]와 같이 도출하였다. %ROM은 개인별 최대 굴곡 또는 신전 각도를 사용해 측정된 각도를 비율단위로 변화시켜주는 것으로 %ROM의 절대값이 클수록 최대 가동범위(Range of motion)에 가까운 자세를 의미한다.

$$\%ROM = \frac{Anatomical_{task}}{Anatomical_{Max}} \dots\dots\dots [공식 2]$$

(where, $Anatomical_{task}$ = 단위 작업 시 신체부위 별 평균 분절 각도, $Anatomical_{Max}$ = 개인 별 최대 신체부위 별 굴곡/신전 각도)

마지막으로 주관적 전신 부하는 기존 문헌 조사를 통해 주관적 전신 평가에 주로 사용되는 Borgs' RPE scale의 6~20점 척도 선정하였으며, 6점에 가까울수록 주관적으로 느껴지는 전신의 부하가 적고 20점에 가까울수록 전신의 부하가 크다는 것을 의미한다(Kroemer et al., 1990; McCormick and Sanders, 1982). 해당 지표의 정규화 방식은 지표의 최소값인 6점과 최대값인 20점을 적용하여 [공식 3]과 같이 도출하였다.

$$\%RPE = \frac{RPE_{task} - RPE_{Min}}{RPE_{Max} - RPE_{Min}} = \frac{RPE_{task} - 6}{20 - 6} \dots\dots\dots [공식 3]$$

(where, RPE_{task} = 작업간 전신 불편도, RPE_{Min} = Scale 최소값(6점), RPE_{Max} = Scale 최대값(20점))

정신적 부하의 하위 지표인 안전 스트레스(safety stress)는 작업자 본인과 돌봄 대상자의 부상 위험(넘어짐, 충돌 등)으로 인한 스트레스를 측정하는 항목이고, 난이도 스트레스(difficulty stress)는 작업 순서 또는 절차의 난이도로 인해 발생하는 스트레스를 측정하는 항목, 감정 스트레스(emotion stress)는 불쾌감, 긴장감 등의 부정적 감정으로 인한 스트레스를 측정하는 항목을 의미한다. 각 설문내용은 문헌 조사를 통해 이승 보조 돌봄 시 주로 발생하는 안전 사고 유형과 직무 스트레스를 참고하여 선정하였으며, 측정 척도는 10점으로 0점에 가까울수록 정신적 부하가 적고 10점에 가까울수록 부하가 크다는 것을 의미한다(Ruchinskas, 2003; Davey et al., 2004; Kuzuya et al., 2006; Cho, 2008; Wagner et al., 2011; Hwang et al., 2012). 해당 지표들의 정규화 방식은 지표의 최대값인 10점을 기준으로 [공식 4]와 같이 도출하였다.

$$\%Mental\ Score\ (MS) = \frac{MS_{task} - MS_{min}}{MS_{Max} - MS_{min}} = \frac{MS_{task} - 0}{10 - 0} \dots\dots\dots [공식 4]$$

(where, MS_{task} = 작업간 스트레스 점수, MS_{Min} = Scale 최소값(0점), MS_{Max} = Scale 최대값(10점))

3.3 Evaluation System for transfer assistant care

이승 보조 돌봄 작업 시 상위 지표 간의 중요도와 각 상위 지표 별 하위 지표 간의 중요도는 전문가 42명 중 일관성 비율 0.2 이하

40명(일관성 비율 평균 0.11)을 대상으로 진행하여 Table 3과 같이 도출되었다.

인간공학 전문가와 영양보호사 모든 전문가들은 이송 보조 돌봄 작업 시 신체적 부하(0.768)가 정신적 부하(0.232)보다 더 중요하다고 평가하였다. 신체적 부하에서 가장 중요한 지표는 근육 부하(0.466)였고, 주관적 전신 부하(0.281), 자세 부하(0.253) 순으로 높은 중요도를 보였고 정신적 부하에서 가장 중요한 지표는 안전 스트레스(0.478)였고, 난이도 스트레스(0.300), 감정 스트레스(0.222) 순으로 높은 중요도를 보였다.

Table 3. Expert assessment AHP based index weights

	Upper index (Weight)	
	Physical load [$\alpha_P=0.768$]	Mental load [$\alpha_M=0.232$]
Lower index (Weight)	Muscle load [$\beta_1=0.466$]	Safety stress [$\gamma_1=0.478$]
	Subjective body discomfort [$\beta_2=0.281$]	Difficulty stress [$\gamma_2=0.300$]
	Posture load [$\beta_3=0.253$]	Emotion stress [$\gamma_3=0.222$]

신체적 부하와 정신적 부하 별 하위 지표 별 가중치를 적용하여 신체적 부하 점수(e.g. [공식 6])와 정신적 부하 점수(e.g. [공식 7])를 산출하였다. 이를 토대로 산출한 신체적/정신적 종합점수는 신체적 부하와 정신적 부하의 가중치를 적용하여 [공식 5]과 같이 최종 도출하였다.

Transfer assistant load score = $0.768 \times \text{Physical load score} + 0.232 \times \text{Mental load score}$ [공식 5]

Physical load score = $(0.466 \times \text{Muscle load}) + (0.281 \times \text{Subjective discomfort}) + (0.253 \times \text{Posture load})$ [공식 6]

Mental load score = $(0.478 \times \text{Safety Stress}) + (0.300 \times \text{Difficulty Stress}) + (0.222 \times \text{emotions Stress})$ [공식 7]

3.4 Comparison of manual care and robot-aided care for transfer assistant care workload

3.4.1 Physical load score

2가지 작업 유형(Bed to chair, Chair to bed) 모두에서 돌봄 유형(Manual care, Robot-aided care)에 따른 신체적 부하의 평균 근육 부하 점수는 돌봄 유형에 따라 통계적으로 유의하였다($p<0.05$).

침대에서 휠체어로 이송 작업(Bed to chair) 시, 이송 보조 로봇 돌봄(17.8% MVC)가 수동 돌봄(24.5% MVC)보다 약 27% 유의하게 적은 근육 부하 점수를 보였으며, 모든 근육에서 이송 보조 로봇 돌봄에서 수동 돌봄 보다 유의하게 낮은 근육 부하 점수를 보였는데, 특히 상지 근육인 척추기립근(ES), 상부승모근(UT), 상완이두근(BB)과 하지근육인 내측광근(VM)에서 평균이상의 감소를 보였다(Figure 6).

휠체어에서 침대로 이송 작업(Chair to bed) 시, 이송 보조 로봇 돌봄(15.4% MVC)가 수동 돌봄 (24.8% MVC)보다 약 38% 유의하게 적은 근육 부하 점수를 보였으며, 모든 근육에서 이송 보조 로봇 돌봄에서 수동 돌봄 보다 유의하게 낮은 근육 부하 점수를 보였는데, 특히 상지근육인 척추기립근(ES), 상부승모근(UT), 상완이두근(BB)과 하지근육인 내측광근(VM)에서 평균이상의 감소를 보였다(Figure 6).

돌봄 유형(Manual care, Robot-aided care)에 따른 신체적 부하의 자세 부하 점수는 단위 작업 시 측정된 신체분절 각도를 앞서 3.2절의 %ROM(e.g. [공식 2])을 적용하여 정규화 후 5개 신체분절 각도의 평균을 통해 산출하였다.

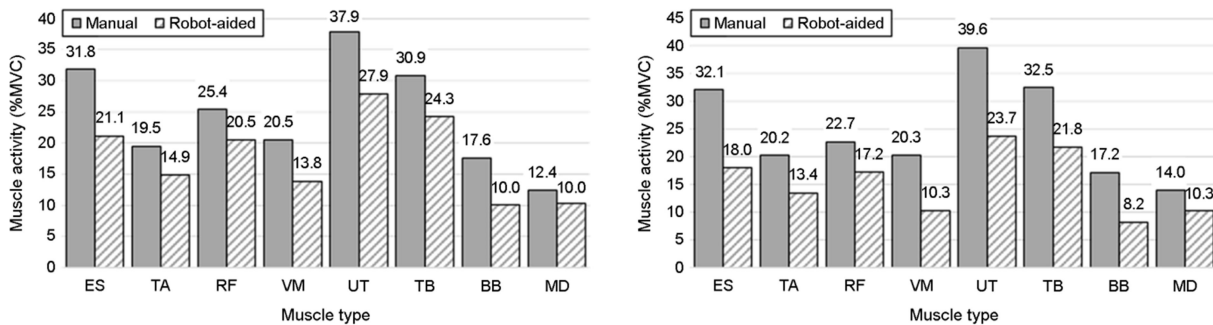


Figure 6. Muscle activity for each muscle according to manual care and robot-aided care [Bed to chair (left), Chair to bed (right)]

침대에서 휠체어로 이송 작업 시, 돌봄 유형에 따라 통계적으로 유의하지 않았으나($p>0.05$), 이송 보조 로봇 돌봄(21.5 %ROM)이 수동 돌봄(23.0% ROM)보다 낮은 자세 부하 점수를 보였으며, 목을 제외한 모든 부위에서 돌봄 유형에 따라 통계적으로 유의하였다($p<0.05$). 팔꿈치와 어깨 부위에서는 이송 보조 로봇이 수동 돌봄 보다 큰 자세 부하 점수를 보였지만, 그 외 부위에선 모두 낮은 자세 부하 점수를 보였고 허리 부위에서 가장 큰 감소가 나타났다(Figure 7).

휠체어에서 침대로 이송 작업 시, 돌봄 유형에 따라 통계적으로 유의하였으며($p<0.05$), 이송 보조 로봇 돌봄(20.2% ROM)이 수동 돌봄 (23.8% ROM)보다 약 15% 유의하게 낮은 자세 부하 점수를 보였으며, 허리를 제외한 모든 부위에서 돌봄 유형에 따라 통계적으로 유의하였다($p<0.05$). 팔꿈치에서는 이송 보조 로봇 돌봄이 수동 돌봄보다 큰 자세 부하 점수를 보였지만, 그 외 모든 부위에선 낮은 자세 부하 점수를 보였고 목 부위에선 가장 큰 감소를 보였다(Figure 7).

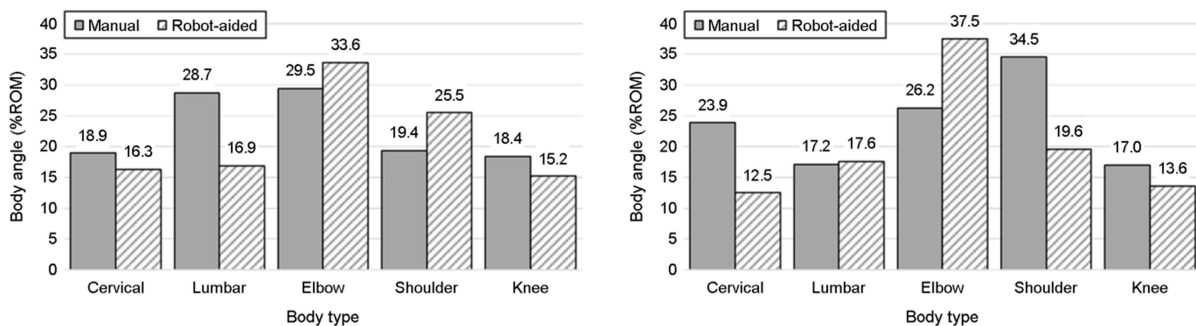


Figure 7. Range of motion for each body according to manual care and robot-aided care (Bed to chair (left), Chair to bed (right))

돌봄 유형(Manual care, Robot-aided care)에 따른 신체적 부하의 주관적 전신 부하 점수는 단위 작업 시 측정한 RPE score를 앞서 3.2절의 %RPE(e.g. [공식 3])를 적용하여 정규화 후 전체 단위 작업의 평균을 통해 산출하였다.

이와 같은 주관적 전신 부하 점수는 2가지 작업 유형(Bed to chair, Chair to bed) 모두에서 돌봄 유형에 따라 통계적으로 유의하지 않았으나($p>0.05$), 침대에서 휠체어로 이송 작업과 침대에서 휠체어로 이송 작업 모두 이송 보조 로봇 돌봄이 수동 돌봄 보다 주관적 전신 부하 점수가 낮은 경향을 보였다.

돌봄 유형(Manual care, Robot-aided care)에 따른 신체적 부하 점수는 도출된 하위 지표 별 점수를 앞서 3.3절의 [공식 6]에 적용하여 산출하였으며, 침대에서 휠체어로 이송 작업의 신체적 부하 점수는 이송 보조 로봇 돌봄이 약 23.4점으로 수동 돌봄 28.9점 보다 약

19% 낮은 점수를 보였으며, 침대에서 휠체어로 이송 작업의 신체적 부하 점수는 이송 보조 로봇 돌봄이 약 21.2점으로 수동 돌봄 29.0점 보다 약 27% 낮은 점수를 보였다(Table 4).

Table 4. Physical load score according to bed to chair and chair to bed

Lower index (Weight)	Bed to chair		Chair to bed	
	Manual	Robot-aided	Manual	Robot-aided
Muscle load ($\beta_1=0.466$)	24.5	17.8	24.8	15.4
Subjective discomfort ($\beta_2=0.281$)	41.6	34.4	40.8	31.8
Posture load ($\beta_3=0.253$)	23.0	21.5	23.8	20.2
<i>Score_{Physical}</i>	28.9	23.4	29.0	21.2

3.4.2 Mental load score

돌봄 유형(Manual care, Robot-aided care)에 따른 정신적 부하의 안전 스트레스, 난이도 스트레스, 감정적 스트레스 점수는 단위 작업 시 측정된 각각의 스트레스 점수를 앞서 3.2절의 %MS(e.g. [공식 4])를 적용하여 정규화 후 전체 단위 작업의 평균을 통해 산출하였다.

이와 같은 안전 스트레스, 난이도 스트레스, 감정적 스트레스 점수는 2가지 작업 유형(Bed to chair, Chair to bed) 모두에서 돌봄 유형에 따라 통계적으로 유의하지 않았으나($p>0.05$), 침대에서 휠체어로 이송 작업과 침대에서 휠체어로 이송 작업 모두 정신적 부하의 3가지 하위 지표에서 이송 보조 로봇 돌봄이 수동 돌봄 보다 낮은 경향을 보였다.

돌봄 유형(Manual care, Robot-aided care)에 따른 정신적 부하 점수는 도출된 하위 지표 별 점수를 앞서 3.3절의 [공식 7]에 적용하여 산출하였으며, 침대에서 휠체어로 이송 작업의 정신적 부하 점수는 이송 보조 로봇 돌봄이 약 24.7점으로 수동 돌봄 27.7점 보다 약 11% 낮은 점수를 보였으며, 휠체어에서 침대로 이송 작업의 정신적 부하 점수는 이송 보조 로봇 돌봄이 약 24.6점으로 수동 돌봄 26.6점 보다 약 8% 낮은 점수를 보였다(Table 5).

Table 5. Mental load score according to bed to chair and chair to bed

Lower index (Weight)	Bed to chair		Chair to bed	
	Manual	Robot-aided	Manual	Robot-aided
Safety stress ($\gamma_1=0.478$)	27.0	24.8	26.5	24.1
Difficulty stress ($\gamma_2=0.300$)	31.8	27.3	28.8	28.3
Emotion stress ($\gamma_3=0.222$)	23.6	21.1	23.8	20.8
<i>Score_{Mental}</i>	27.7	24.7	26.6	24.6

3.4.3 Total load score

돌봄 유형(Manual care, Robot-aided care)에 따른 신체적/정신적 최종 부담 종합 점수는 도출된 상위 지표 점수를 앞서 3.3절의 [공식 5]에 적용하여 산출하였으며, 침대에서 휠체어로 이송 작업의 종합 점수는 이송 보조 로봇 돌봄이 약 23.7점으로 수동 돌봄 28.6점 보다 약 17% 낮은 점수를 보였으며, 휠체어에서 침대로 이송 작업의 종합 점수는 이송 보조 로봇 돌봄이 약 22.0점으로 수동 돌봄 28.5점

보다 약 23% 낮은 점수를 보였다(Table 6).

Table 6. Total load score according to bed to chair and chair to bed

Upper index (Weight)	Bed to chair		Chair to bed	
	Manual	Robot-aided	Manual	Robot-aided
Physical load ($\alpha_P=0.768$)	28.9	23.4	29.0	21.2
Mental load ($\alpha_M=0.232$)	27.7	24.7	26.6	24.6
$Score_{Total}$	28.6	23.7	28.5	22.0

4. Discussion

본 연구는 이송 보조 돌봄 작업 시 수동 돌봄(Manual Care)과 이송 보조 로봇 돌봄(Robot-aided Care)의 작업 부담을 비교하기 위해 돌봄 작업의 특성이 반영된 평가 체계를 개발하기 위해 수행되었다.

문헌 조사를 통해 1차로 선정한 신체적/정신적 부하의 하위 지표에 대하여 전문가 적절성 평가를 통해 신체적 부하의 하위 지표로서 근육 부하, 주관적 전신 부하, 자세 부하, 정신적 부하의 하위 지표에선 안전 스트레스, 난이도 스트레스, 감정 스트레스를 각각 도출하였고, 각 하위 지표 별 평가 요소를 선정하였다(Table 7).

Table 7. Evaluation elements for upper and lower index

Upper index	Lower index	Evaluation factor	Measurement method
Physical load	Muscle load	Erector spinae (ES), Biceps brachii (BB), Triceps brachii (TB), Middle deltoid (MD), Upper trapezius (UT), Rectus femoris (RF), Vastus medialis (VM), Tibialis anterior (TA)	Electromyography (Muscle activity)
	Posture load	Lumbar, Cervical, Shoulder, Elbow, Knee Flexion/Extension	Motion analysis
	Subjective discomfort	6 Point (No exertion at all) ~ 20 Point (Maximal exertion)	Borgs' RPE scale
Mental load	Safety stress	Items that measure mental stress caused by the risk of injury (fall, collision, etc.) of the operator himself or the person being cared for.	0~10 point (0: Rest ~ 10: Extremely stress)
	Difficulty stress	Items that measure mental stress caused by the order of work or the difficulty of a procedure	
	Emotion stress	Items that measure stress caused by negative emotions such as discomfort, tension, etc.	

인간공학 전문가 및 요양보호사 40명의 AHP 평가 결과, 이송 보조 돌봄 작업은 신체적 부하(0.768)가 정신적 부하(0.232)보다 큰 작업으로 나타났다. 신체적 부하에서 가장 중요한 지표는 근육 부하(0.466)였고, 주관적 전신 부하(0.281), 자세 부하(0.253) 순으로 높은 중요도를 보였고, 정신적 부하에서 가장 중요한 지표는 안전 스트레스(0.478)였고, 난이도 스트레스(0.300), 감정 스트레스(0.222) 순으로 높은 중요도를 보였다. 이는 이송 보조 돌봄은 신체적 노동 비중이 높아 신체적 무리를 동반하고(Choi, 2019) 부자연스러운 자세, 반복성, 과도한 힘 사용으로 인해 돌봄 작업을 수행하는 요양보호사 중 98.1%가 근골격계 증상을 호소한다는 기존 연구와 유사한 결과를

보인다(Lee et al., 2011; Choi, 2019).

신체적 부하의 근육 부하는 침대에서 휠체어로 이송 작업(Bed to chair) 시 이송 보조 로봇을 사용할 경우 수동 돌봄 보다 약 27%, 휠체어에서 침대로 이송 작업(Chair to bed) 시에는 약 38% 적은 근육 부하 점수를 보였다. 침대에서 휠체어로 이송 작업과 휠체어에서 침대로 이송 작업 모두 공통적으로 상지 근육인 척추기립근(ES), 상부승모근(UT) 그리고 상완이두근(BB)과 하지 근육인 내측광근(VM)에서 평균이상의 감소를 보였다. Hwang et al. (2019) 역시도 보조 로봇 사용 시 상완 근육(BB, TB, MD, UT)과 허리 근육(ES)의 근활성도가 감소한다고 보고하였고 Brinkmann et al. (2020)에서는 로봇 사용 시 허리 근육 (ES)의 근활성도는 감소하지만 하지 근육인 대퇴직근(RF)는 일정한 반면 내측광근(VM)의 근활성도가 증가했다는 보고가 있다.

자세 부하는 침대에서 휠체어로 이송 작업 시 이송 보조 로봇을 사용할 경우 약 7%, 휠체어에서 침대로 이송 작업 시에는 약 15% 적은 부하 점수를 보였다. 침대에서 휠체어로 이송 작업 시에는 허리 부위에서 가장 큰 감소가 나타났고, 휠체어에서 침대로 이송 작업 시는 목 부위에서 가장 큰 감소를 보였다. 이는 로봇을 사용할 경우 수동 돌봄에 비하여 목이나 허리 부위에서 최대 가동 범위(Range of motion) 대비 굴곡/신전이 적게 발생한다는 의미함으로 로봇을 사용할 경우 허리 부하 감소에 기여한다고 사료된다(Dutta et al., 2012; Wiggermann et al., 2021; Zhou and Wiggermann, 2019).

주관적 전신 부하는 침대에서 휠체어로 이송과 휠체어에서 침대로 이송 작업 모두에서 돌봄 유형에 따른 부하점수의 유의한 차이를 보이지 않았지만 이송 보조 로봇 사용 시 수동 돌봄 보다 낮은 부하점수를 보였는데, 이는 로봇을 사용할 경우 수동 돌봄에 비하여 적은 힘으로 작업 수행이 가능하기 때문에 주관적으로 느끼는 부하가 줄어든 것으로 사료된다(Wiggermann et al., 2021; Zhou and Wiggermann, 2019).

정신적 부하의 3가지 스트레스는 침대에서 휠체어로 이송과 휠체어에서 침대로 이송 작업 모두에서 돌봄 유형에 따른 부하 점수의 유의한 차이를 보이지 않았지만 이송 보조 로봇 사용 시 수동 돌봄 보다 낮은 부하 점수를 보였는데, Kulich et al. (2021)에서 간병인들의 돌봄 작업 시 로봇 사용이 신체적 요구와 작업 요구 및 만족도에서 긍정적인 영향을 미쳤다는 보고가 있다.

결과를 종합해봤을 때, 침대에서 휠체어로 이송 작업과 휠체어에서 침대로 이송 작업 시 보조 로봇을 사용할 경우 작업 부하가 수동 돌봄에 비하여 감소하였는데, 이는 상위/하위 평가 지표의 중요도를 고려할 때 가장 중요한 평가 지표인 신체적 부하(0.768)의 근육 부하(0.466)가 보조 로봇 사용 시 크게 감소하였기 때문으로 사료된다. 특히 공통적으로 척추기립근(ES), 상부승모근(UT), 상완이두근(BB), 내측광근(VM)의 부하가 감소하였으며, 이러한 결과는 요양사들의 주요 근골격계 증상 통증 호소 부위(Choi, 2019)에 대한 부하 감소에 충분한 기여를 할 것으로 사료된다. 근육 부하를 제외한 신체적 부하의 하위 지표와 정신적 부하의 하위 지표도 로봇을 사용할 경우 작업 부하가 수동 돌봄에 비하여 감소하였으며, 이는 요양사들의 이송 보조 돌봄 시 신체적/정신적 부하 경감을 위해 보조 로봇 사용이 효과적인 대안으로 판단된다.

다만 개발한 평가 체계에 대한 검증을 실제 돌봄 현장 및 요양사가 아닌 실험실 기반으로 20, 30대 성인을 대상으로 했다는 점과 적은 피험자를 대상으로 수행했다는 연구의 한계점을 지닌다. 향후 이러한 한계점을 보완하여 추후 보다 많은 피험자 수의 실제 요양사를 섭외하여 수동 돌봄과 이송 보조 로봇 돌봄을 수행하고 해당 결과를 본 연구의 평가 체계에 적용하는 연구를 진행하고자 한다.

5. Conclusion

본 연구에서는 이송보조 돌봄 작업의 특성을 반영한 신체적/정신적 부하의 작업 부담 평가 지표를 선정하여 종합 평가 체계를 개발하였고, 이를 이용하여 수동 돌봄(Manual Care)과 이송 보조 로봇 돌봄(Robot-aided Care)에 따른 작업 부담을 정량적인 점수로 비교하였다.

개발한 작업 부담 평가 체계는 기존 연구들과 달리 제한적인 신체적 부하 증감으로만 수동 돌봄과 이송 보조 로봇 돌봄 비교하는 것이 아닌, 주로 발생하는 안전 사고 유형과 요양사의 직무 스트레스를 고려할 수 있는 정신적 부하를 포함하여 비교를 할 수 있는 정량적인 기준을 제시하였다.

이승보조 돌봄 작업 유형(Bed to chair, Chair to bed)에 따른 수동 돌봄과 이승 보조 로봇 돌봄 비교한 결과, 2가지 작업 유형 모두에서 로봇 사용 시 수동 돌봄에 비하여 낮은 부하 점수를 보였으며, 이는 돌봄 현장에서 요양사의 작업 부담 경감을 위한 보조 로봇 사용에 대한 근거로 활용할 수 있다. 또한 여러 종류의 이승 보조 로봇 돌봄의 정량적인 비교를 통해 도입할 로봇의 돌봄 작업 부담 평가 기준으로 활용할 수 있다.

Acknowledgement

This research was supported by the Translational Research Program for Care Robots funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (HK19C0004).

References

- Åstrand, P.O. and Rodahl, K., Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise; 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1986.
- Borg, G.A.V., Psychophysical Bases of Perceived Exertion, *Medical Science Sports Exercise*, 14(5), 377, 1982.
- Brinkmann, A., Fifelski, C., Lau, S., Kowalski, C., Meyer, O., Diekmann, R. and Hein, A., Quantification of Lower Limb and Spine Muscle Activity in Manual Patient Handling-A Case Study, In The Importance of Health Informatics in Public Health during a Pandemic, 249-252, IOS Press, 2020.
- Choi, D.S., A Study on the Industrial Accidents of Care Workers - Focused on Care Work and subsequent Musculoskeletal Disorders, *Human Rights*, 19, 289-316, 2019.
- Choi, S.E. and Kim, W.H., A Study on the Aging and Health Expenditure, *Monthly Public Finance Forum*, 263, 78-81, 2018.
- Choi, H.K., A Study on Supports for Work-Family Balance of Caregivers of the Elderly, *Korea Social Policy Review*, 18(4), 271-298, 2011.
- Cho, C.M., Task Analysis of Geriatric Care Helpers Based on DACUM Method, *The Korean Society of Living Environmental System*, 15(1), 66-75, 2008.
- Cordes, C.L. and Dougherty, T.W., A review and an integration of research on job burnout, *Academy of Management Review*, 18(4), 621-656, 1993.
- Davey, C., Wiles, R., Ashburn, A. and Murphy, C., Falling in Parkinson's disease: the impact on informal caregivers. *Disability and Rehabilitation*, 26(23), 1360-1366, 2004.
- Draicchio, F., Chini, G., Marchesi, A., Silvetti, A. and Ranavolo, A., Electromyographic and Kinematic Patient Handling Risk Assessment: Overhead Lift Versus Floor Lift, In Advances in Physical Ergonomics and Human Factors (pp. 245-254). Springer, Cham, 2016.
- Dutta, T., Holliday, P.J., Gorski, S.M., Baharvandy, M.S. and Fernie, G.R., A biomechanical assessment of floor and overhead lifts using one or two caregivers for patient transfers, *Applied Ergonomics*, 43(3), 521-531, 2012.
- Feyen, R., Lie, Y., Chaffin, D., Jimmerson, G. and Joseph, B., Computeraided ergonomics: a case study of incorporating ergonomics analyses into workplace design, *Applied Ergonomics*, 31, 291-300, 2000.

- Garg, A. and Owen, B., Prevention of back injuries in healthcare workers, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14(4), 315-331, 1994.
- Hansson, G.Å., Balogh, I., Ohlsson, K., Rylander, L. and Skerfving, S., Goniometer measurement and computer analysis of wrist angles and movements applied to occupational repetitive work, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 6(1), 23-35, 1996.
- Hochschild, A., Irwin, N. and Ptashne, M., Repressor structure and the mechanism of positive control, *Cell*, 32(2), 319-325, 1983.
- Hwang, E.H., Jung, D.Y., Kim, M.J., Shin, S.J. and Kim, K.H., Comparison of Frequency and Difficulty of Care Helper Jobs in Long Term Care Facilities and Client Homes. *Journal of Korean Public Health Nursing*, 26(1), 101-112, 2012.
- Hwang, J., Ari, H., Matoo, M., Chen, J. and Kim, J.H., Effects of patient turning devices on muscular demands of caregivers, In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (Vol. 63, No. 1, pp. 1069-1072). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications, 2019.
- Johnson, P.W., Jonsson, P. and Hagberg, M., Comparison of measurement accuracy between two wrist goniometer systems during pronation and supination, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 12, 413-420, 2002.
- Kim, S.H. and Woo, H.Y., Community Services Supporting Family Caregivers for the Elderly: Lessons from the Comparison between Korea and the United States, *Family and Environment Research*, 51(3), 275-284, 2013.
- Kroemer, K.H.E., Kroemer, H.J. and Kroemer-Elbert, K.E., Engineering Physiology: Bases of Human Factors/Ergonomics, 2nd ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- Kuzuya, M., Masuda, Y., Hirakawa, Y., Iwata, M., Enoki, H., Hasegawa, J., Izawa, S. and Iguchi, A., Falls of the elderly are associated with burden of caregivers in the community, *International Journal of Geriatric Psychiatry: A journal of the psychiatry of late life and allied sciences*, 21(8), 740-745, 2006.
- Kulich, H.R., Wei, L., Crytzer, T.M., Cooper, R.A. and Koontz, A.M., Preliminary evaluation of an automated robotic transfer assist device in the home setting. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 1-8, 2021.
- Lammert, O., Maximal aerobic power and energy expenditure of Eskimo hunters in Greenland, *Journal of Applied Physiology*, 33(2), 184-188, 1972.
- Lee, S.Y., Lee, Y.G., Ju, Y.S., Kim, M.H. and Choi, K.S., Investigation on the musculoskeletal disorder of nursing home assistants and development of the disease prevention manual. Incheon: Occupational Safety and Health Research Institute, 2011.
- Lee, Y.J., Yeo, Y.S. and Jung M.G., Physiological workload evaluation of screw driving tasks in automobile assembly jobs. *Korean Institute of Industrial Engineers*, 693-698, 1998.
- Marras, W.S., Knapik, G.G. and Ferguson, S., Lumbar spine forces during manoeuvring of ceiling-based and floor-based patient transfer devices, *Ergonomics*, 52(3), 384-397, 2009.
- McCormick, E. J. and Sanders, M.S., Human factors in engineering and design, McGraw-Hill Companies, 1982.

- Öberg, T., Muscle fatigue and calibration of EMG measurements. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 5(4), 239-243, 1995.
- Powers, S.K. and Howley, E.T., Exercise Physiology: Theory and Application to Fitness and Performance, 2nd ed., Brown & Benchmark Publishers, Dubuque, 1993.
- Retsas, A. and Pinikahana, J., Manual handling activities and injuries among nurses: an Australian hospital study, *Journal of Advanced Nursing*, 31(4), 875-883, 2000.
- Rizzo, J.R., House, R.J. and Lirtzman, S.I., Role conflict and ambiguity in complex organizations, *Administrative Science Quarterly*, 15, 150-164, 1970.
- Ruchinskas, R., Clinical prediction of falls in the elderly. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 82(4), 273-278, 2003.
- Shin, H.J. and Kim, K.H., Emotional Labor and Professional Quality of Life in Korean Psychiatric Nurses, *Health and Social Welfare Review*, 35(4), 190-216, 2015.
- Smith, D.R., Mihashi, M., Adachi, Y., Koga, H. and Ishitake, T., A detailed analysis of musculoskeletal disorder risk factors among Japanese nurses, *Journal of Safety Research*, 37(2), 195-200, 2006.
- Soderberg, G.L., Selected Topics in Surface Electromyography for Use in the Occupational Setting: Expert Perspectives. Rockville, Md: US Dept of Health and Human Services, Public Health Service, Publication No. 91-100, 1992.
- Strimpakos, N., Georgios, G., Eleni, K., Vasilios, K. and Jacqueline, O., Issues in relation to the repeatability of and correlation between EMG and Borg scale assessments of neck muscle fatigue, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 15(5), 452-465, 2005.
- Tatiana, de O.S., Helenice, J.C.G.C. and Gert-Åke, H., Improving goniometer accuracy by compensating for individual transducer characteristics, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(4), 704-709, 2009.
- Trinkoff, A.M., Lipscomb, J.A., Geiger-Brown, J. and Brady, B., Musculoskeletal problems of the neck, shoulder, and back and functional consequences in nurses. *American Journal of Industrial Medicine*, 41(3), 170-178, 2002.
- Um, M.Y. and Harrison, D.F., Role stressors, burnout, mediators, and job satisfaction: A stress-strain outcome model and an empirical test, *Social Work Research*, 22(2), 100-115, 1998.
- Wagner, L.M., Dionne, J.C., Zive, J.R. and Rochon, P.A., Fall risk care processes in nursing home facilities. *Journal of the American Medical Directors Association*, 12(6), 426-430, 2011.
- Waters, T.R., Putz-Anderson, V. and Garg, A., Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation. Cincinnati, *National Institute for Occupational Safety and Health*, 1994.
- Wiggermann, N., Zhou, J. and McGann, N., Effect of repositioning aids and patient weight on biomechanical stresses when repositioning patients in bed, *Human Factors*, 63(4), 565-577, 2021.

Winter, D.A., Biomechanics and Motor Control of Human Movement, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., Ontario, 2005.

Yang, S.H., Jo, M.S. and Park, B., An Ergonomic Research on Injurious Factors Causing Musculoskeletal Disorders at an Automotive Glass Manufacturing Company. In Proceedings of the Safety Management and Science Conference (pp. 251-257). Korea Safety Management and Science, 2005.

Zhou, J. and Wiggermann, N., Physical Stresses on Caregivers when Pulling Patients Up in Bed: Effect of Repositioning Aids and Patient Weight, *In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 63(1), 1057-1061, 2019.

Author listings

Yong-Ku Kong: ykong@skku.edu

Highest degree: PhD, Industrial Engineering, Pennsylvania State University

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

Areas of interest: Physical ergonomics, WMSDs, Occupational safety and health, Ergonomics design

Kyeong-Hee Choi: kyunghe7@naver.com

Highest degree: M.S, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Position title: PhD Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Areas of interest: Physical ergonomics, WMSDs, Ergonomics design

Hyun-Ho Shim: shim2906@naver.com

Highest degree: M.S, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Position title: PhD Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Min-Uk Cho: crayonmm@naver.com

Highest degree: B.S, Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University

Position title: M.S Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Min-Jung Kim: xsk1013@naver.com

Highest degree: B.S, Safety Engineering, Dongguk University

Position title: M.S Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Sang-Soo Park: qkrtdtn34@naver.com

Highest degree: B.S, Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University

Position title: M.S Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Jin-Woo Shim: sorksnn33@naver.com

Highest degree: B.S, Industrial health, Catholic University of Pusan

Position title: M.S Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design

Seoung-Yeon Kim: kimsy9035@naver.com

Highest degree: B.S, Industrial Management Engineering, Hanbat University

Position title: M.S Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University

Areas of interest: Physical ergonomics, Hand prosthesis, Ergonomics design