

Ergonomic Evaluation of the Medical Device Handle for Improvement of PUI Usability: Focus on the ENT Unit

Seung-Min Mo¹, Myung-Chul Jung²

¹Osan University, Department of Industrial Engineering, Osan, 18119

²Ajou University, Department of Industrial Engineering, Suwon, 16499

PUI 사용성 개선을 위한 의료기기 손잡이의 인간공학적 평가: 이비인후과 진료장치를 중심으로

모승민¹, 정명철²

¹오산대학교 산업공학과

²아주대학교 산업공학과

Corresponding Author

Seung-Min Mo

Osan University, Department of Industrial Engineering, Osan, 18119

Email : smmo@osan.ac.kr

Received : January 08, 2021

Revised : January 11, 2021

Accepted : January 23, 2021

Objective: The purpose of this study is to ergonomically evaluate subjective usability according to handle shape, diameter, angle and button position for endoscope, and spray of the Ear, Nose, and Throat (ENT) medical device to suggest optimal design guidelines.

Background: As medical demand increases, the prevalence of occupational diseases among doctors is high such as musculoskeletal and cerebral cardiovascular diseases. Therefore, it is required to design an ergonomic PUI (physical user interface) to minimize human mistakes and errors of a doctor in the medical system.

Method: Forty subjects participated in this study. This study produced a mock-up of an endoscope and spray with various handle types, angles, and diameter. For the pen-type endoscope, the shape of the handle (cylindrical, rectangular) and diameter (32, 35, 38mm) were considered as independent variables. For the pistol-type endoscope, the shape of the handle (cylindrical, rectangular) and angle (90°, 100°, 110°, 120°, 130°) were considered as independent variables. For the spray, the position of the button (upper-top, middle-front, middle-side, lower-front, lower-side) was considered as the independent variable. As a dependent variable, this study evaluated the subjective usability using by the visual analog scale on a scale of 0 to 100.

Results: The ANOVA result of a pen-type endoscope, there were significant differences in handle shape and diameter. The handle shape of rectangular and 32mm diameter had the significantly highest usability. The ANOVA result of the pistol-type endoscope, the handle angle had the significantly highest usability at 120°. As the angle increased up to 120°, subjective usability also tended to increase, but the angle of 130° decreased the trend. The ANOVA result of spray, the position of push button had the significantly highest subjective usability on bottom-front.

Conclusion: Based on the results of this study, the endoscope and spray should be designed to have a pistol-type cylindrical handle with a diameter of 32 to 35mm and an adjustable angle. If the adjustable design is difficult, it is suggested to design with an angle of about 120°. And also, it is suggested that the spray's button be positioned in the front, which can be pressed with the thumb.

Application: This study can apply ergonomic handle design guidelines for endoscopy and spray. Furthermore, it could contribute to the prevention of occupational musculoskeletal disorders.

Keywords: Medical device, Physical user interface, Usability, Endoscope, Spray, Musculoskeletal disorder

1. Introduction

대기 오염의 심화 및 건강 관리의 중요성이 높아지면서 최근 5년 간 국내 이비인후과의 진료인원은 지속적으로 증가하고 있는 추세이다(HIRA, 2020). Vijendren et al. (2016)은 설문 조사를 통해 영국 이비인후과 의사의 47.4%가 근골격계질환을 경험한 것으로 보고하였다. 국내의 경우, 의사는 일반 노동자 대비 근무강도가 높아 육체적·정신적 스트레스가 심하며 목, 허리 부위의 근골격계질환, 뇌심혈관계질환 등의 직업병 유병률도 높은 것으로 보고하였다(Kim, 2019). Kim and Kim (2008)의 연구는 이비인후과는 고긴장 집단의 비율이 높게 분석되어 근골격계질환과의 상관성이 높은 것으로 분석하였다. 따라서 이비인후과 의사에 대한 인간공학적인 작업 분석을 통한 적절한 작업 개선이 필요하다.

이비인후과의 의사(전문의, 레지던트 등)는 장시간 정적인 자세로 의료기기를 반복적으로 사용하는 작업 패턴으로 보고되었다(Jo et al., 2017; Jung and Mo, 2020). 비록 이비인후과 의사에게 국한되지만 이러한 작업 패턴은 대부분의 의사에게 유사하게 발생하고 있는 형태로 장시간 반복적으로 노출될 경우 근골격계질환 발생 가능성이 높다. 사용성이 좋지 않은 의료기기는 의사의 작업 부하를 가중시키며 이러한 작업 부하는 주의력 결핍, 휴먼 에러 증가로 작업 효율이 저하되고 치료의 질과 연관성이 높아 의료 사고 발생 가능성이 높다. 따라서 의료기기의 형태, 손잡이, 직경 등의 물리적 사용자 인터페이스(UI, Physical User Interface)는 자세와 편의성에 밀접한 연관성이 있기 때문에 사용성 및 인터페이스 개선을 위한 인간공학적인 설계가 요구된다.

사용성 향상을 위해 의료기기, 수공구, 컨트롤러 등을 대상으로 손잡이를 인간공학적으로 개선할 수 있는 연구는 지속적으로 진행되었다. Sánchez-Margallo et al. (2020)은 복강경 손잡이의 직경이 증가할수록 손바닥의 압력이 증가하여 사용성이 감소하는 것으로 분석하였다. Tony et al. (2019)은 진동 수공구의 손잡이 형태 변화에 따른 진동 감소 효과를 분석하여 작업자에게 진동 전달을 최소화할 수 있는 손잡이 형태를 제안하였다. Veisi et al. (2019)는 신발 제조업에서 사용하는 수공구의 손잡이를 인간공학적으로 개선하였다. Guo et al. (2017)은 다양한 컨트롤러 손잡이 형태에 대해 고속열차 운전자의 불편도를 평가하여 운전자의 안전성을 향상시킬 수 있도록 손바닥이 아래로 향한 파이프, T자 형태를 설계 디자인으로 제안하였다. Kong and Kim (2015)은 산업용 수공구의 손잡이 모양에 대해 개별 손가락의 힘을 분석하여 역계단식 형태가 가장 높은 악력을 발생할 수 있는 것으로 분석하였다. 이와 같이 대부분 산업 현장의 작업자에게 근골격계질환 예방을 위한 사용성이 향상된 손잡이 설계안을 제시할 수 있는 선행 연구가 진행되었다. 일부 연구는 복강경 손잡이의 형태를 인간공학적으로 평가하였지만 이는 복강경 기기에 국한되며 일반적인 의료기기에 확대할 수 있는 정량적인 설계 가이드를 제시하기 위하여 추가 연구가 필요하다(González et al., 2017; Tung et al., 2015).

따라서 본 연구의 목적은 이비인후과 진료 시 빈번하게 사용하는 내시경과 스프레이를 대상으로 형태, 손잡이 모양, 직경, 각도, 버튼 위치 변화에 따른 주관적 사용성을 인간공학적으로 평가하여 최적의 설계 가이드를 도출하는 것이다. 본 연구 결과를 기반으로 의료기기의 UI 사용성을 향상시킬 수 있는 설계 지침을 제안할 수 있을 것이다.

2. Method

2.1 Subjects

본 연구에 참여한 피실험자는 실제 이비인후과에서 외래 진료를 하고 있는 의사 40명(남 25, 여 15)을 대상으로 실험을 수행하였다. 모든 피실험자는 손목, 팔꿈치, 어깨 등의 상지 부위의 근골격계질환 등의 병력이 없었으며 전반적인 실험의 절차 및 주관적 사용성 평가 방식을 설명 후 실험 참가의 동의를 얻었다. 피실험자의 평균 연령은 45.4세, 평균 신장은 169.1cm, 평균 체중은 65.9kg이었다(Table 1).

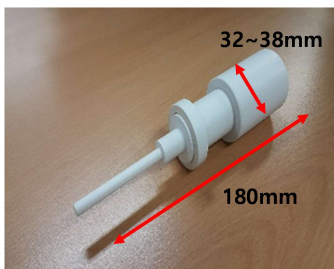
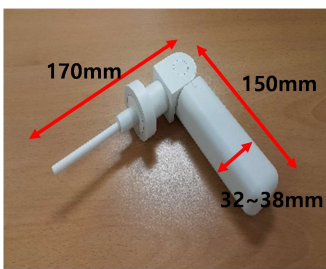
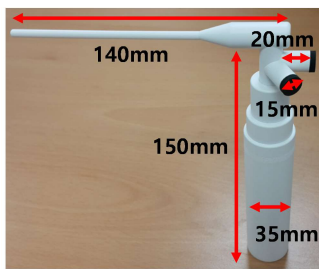
Table 1. Anthropometric data of subjects

Age (year)	Height (cm)	Body weight (kg)
45.4 (± 8.4)	169.1 (± 5.7)	65.9 (± 12.5)

2.2 Apparatus

본 연구는 이비인후과에서 가장 사용 시간이 높고 빈번하게 사용하는 진료장치로 내시경과 스프레이를 고려하였다(Jung and Mo, 2020). 이비인후과에서 실제 사용하는 다양한 내시경과 스프레이의 손잡이 형태 및 각도를 조사하여 각도 조절이 가능한 건, 팬형태의 내시경, 조작 버튼 위치를 조절할 수 있는 스프레이를 고려하였다. Table 2는 본 연구에서 실험에 사용한 내시경과 스프레이의 Mock-up과 상세 치수이다.

Table 2. Example of mock-up of endoscope and spray

Device	Endoscope		Spray
Type	Pen	Pistol	
Image			

2.3 Experimental design

진료장치 중 내시경은 펜타입과 건타입의 2수준 형태로 분류하였다. 펜타입의 내시경은 손잡이의 모양(원형, 직사각형)과 직경(32, 35, 38mm)을 독립변수로 설정하였으며 건타입의 내시경은 손잡이의 모양(원형, 직사각형)과 각도(90°, 100°, 110°, 120°, 130°)를 독립변수로 고려하였다. 진료장치 중 스프레이는 버튼의 위치를 다르게 설계하여 6수준으로 설정하였다(Table 3). 본 연구에서 고려한 내시경과 스프레이 진료장치의 독립변수인 모양, 직경, 각도, 버튼 위치의 수준은 현재 이비인후과에서 사용하고 있는 진료 장치를 조사한 결과를 반영하였다.

Table 3. Independent variables and levels of endoscope and spray


Device	Type	Independent variable	Level	
Endoscope	Pen	Handle shape	Cylindrical	

Table 3. Independent variables and levels of endoscope and spray (Continued)

Device	Type	Independent variable	Level	
Endoscope	Pen	Handle shape	Rectangular	
		Diameter	32mm	
			35mm	
			38mm	
	Pistol	Handle shape	Cylindrical	
			Rectangular	
		Angle	90°	
			100°	

Table 3. Independent variables and levels of endoscope and spray (Continued)




Device	Type	Independent variable	Level	
Endoscope	Pistol	Angle	110°	
			120°	
			130°	
Spray	-	Button position	Upper-top	
			Middle-front	
			Middle-side	
			Middle-back	

Table 3. Independent variables and levels of endoscope and spray (Continued)

Device	Type	Independent variable	Level	
Spray	-	Button position	Lower- front	
			Lower-side	

본 연구는 repeated-measure factorial design의 실험계획으로 피실험자 1인당 랜덤화된 실험조건에서 총 3회 반복 수행하였으며 이에 따른 종속변수는 정신물리학 척도인 VAS (Visual analog scale)로 설정하여 해당 실험조건에서 피실험자가 주관적으로 느끼는 사용성을 0점(매우 불편함)~100점(매우 편안함) 척도로 평가하였다.

2.4 Protocol

실험에 전 피실험자에게 실험의 취지와 절차를 설명하고 내시경과 스프레이 Mock-up을 사용하여 진료 시나리오를 사전 연습하여 일정 시간 동안 실험에 친숙해질 수 있도록 시간을 부여하였다. 본 연구는 피실험자가 수행하는 작업을 선정하기 위해 이비인후과 외래 진료 영상 분석 결과와 Jung and Mo (2020)의 연구 결과를 반영하여 대표 동작을 도출하였다. 피실험자가 수행한 대표 동작은 약 5분 동안 좌식 자세로 내시경을 사용하여 환자의 귀, 코, 입 부위를 검진한 후 스프레이를 집어 약을 주입하는 진료 시나리오를 설정하였다(Figure 1). 랜덤화된 실험조건에서 대표 동작을 수행한 후 VAS 사용성 설문지를 제공하여 내시경과 스프레이의 주관적 사용성을 체크하였다. 또한 건타입 내시경의 경우 피실험자가 각도를 조절할 수 있도록 설정하여 피실험자가 가장 선호하는 각도를 체크하였다. 실험조건이 변경될 때 마다 약 5분 간의 휴식시간을 부여하였다.

**Figure 1.** Experimental procedure using endoscope and spray

2.5 Statistics

본 연구의 실험계획에 따라 주관적 사용성의 유의한 차이를 통계적으로 분석하기 위하여 분산분석을 수행하였다. 각 독립변수의 수준 별로 평균과 표준 편차의 범위를 구하고 내시경과 스프레이 진료장치를 구분하여 각 변수에 따른 주효과 및 교호작용을 분석하였다 ($\alpha=0.05$). 유의하게 분석된 인자에 대하여 Tukey test를 통한 수준 간 유의성 차이도 함께 분석하였다. 통계분석은 SAS 9.4 (SAS institute Inc.) 통계패키지를 사용하였다.

3. Results

3.1 Endoscope - pen type

펜타입 내시경의 손잡이 모양과 직경 변화에 따른 주관적 사용성의 분산분석 결과, 손잡이 모양($p=0.0397$), 직경($p<0.0001$)은 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 손잡이 모양*직경의 교호작용($p=0.0788$)은 유의하지 않았다. 직사각형 손잡이 모양의 평균 사용성은 52.6이며 32mm의 직경의 평균 사용성은 55.3으로 분석되어 주관적 사용성이 가장 높게 나타났다. 손잡이 직경이 증가할수록 주관적 사용성은 감소하는 추세로 분석되었다(Figure 2).

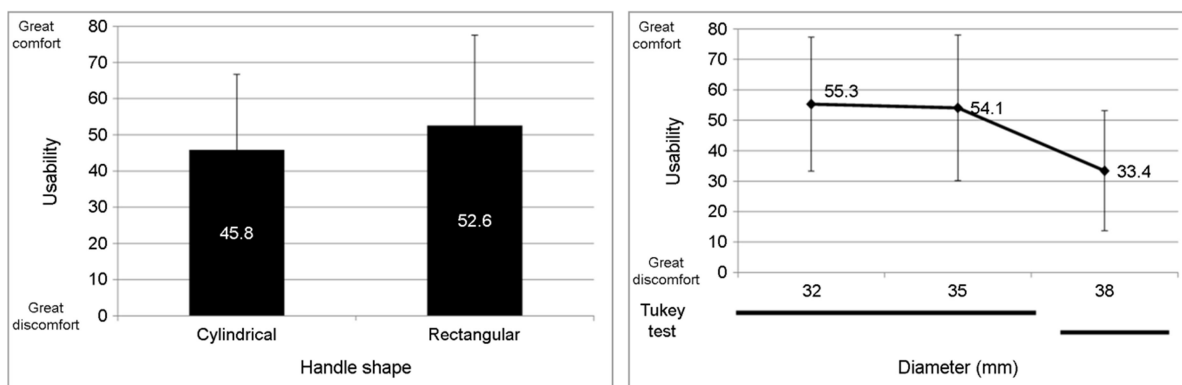


Figure 2. Result of subjective usability by the handle shape and diameter of endoscope - pen type

3.2 Endoscope - pistol type

건타입 내시경의 손잡이 모양과 각도 변화에 따른 주관적 사용성의 분산분석 결과, 손잡이 모양($p=0.2027$)의 주효과는 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 각도($p<0.0001$)의 주효과는 유의한 차이로 분석되었다. 손잡이 모양*각도의 교호작용($p=0.7472$)은 유의하지 않았다. 원형 손잡이 모양의 평균 사용성은 50.1로 직사각형과 비교하여 약간 높게 분석되었다. 손잡이와 내시경의 각도가 90°부터 120°까지는 각도가 증가할수록 주관적 사용성도 함께 증가하는 경향이 나타났지만 130°는 오히려 감소하는 것으로 분석되었다. 이에 따라 건타입 내시경에서 가장 사용성이 높은 각도는 120°로 파악되었으며 피실험자가 선호하는 평균 각도는 122.2° (± 11.6)로 분석되었다 (Figure 3).

3.3 Spray

스프레이의 버튼 위치에 따른 주관적 사용성의 분산분석 결과, 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다($p<0.0001$). 하단-정면의 버튼 위치의 평균 사용성은 64.5로 가장 높게 분석되었으며 중단-정면, 하단-측면, 중단-측면, 중단-후면, 최상단 순으로 분석되었다(Figure 4).

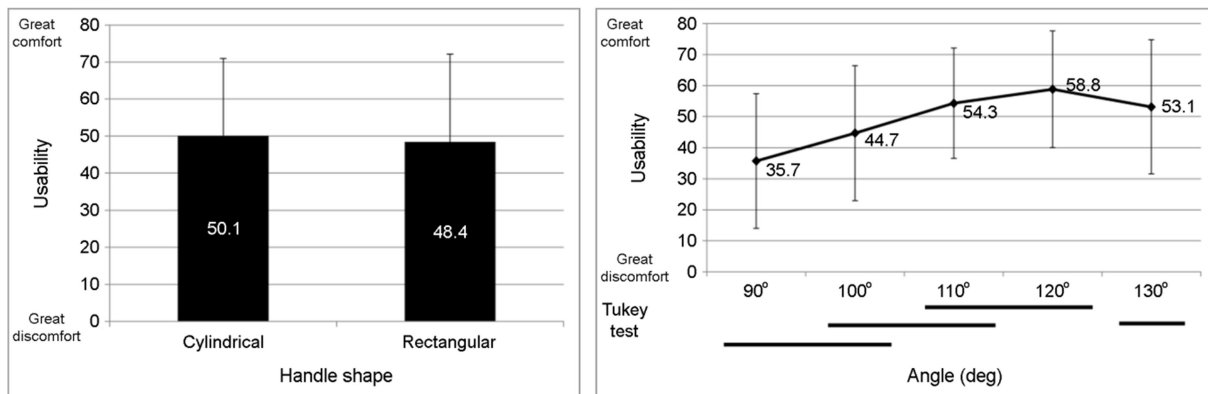


Figure 3. Result of subjective usability by the handle shape and angle of endoscope - pistol type

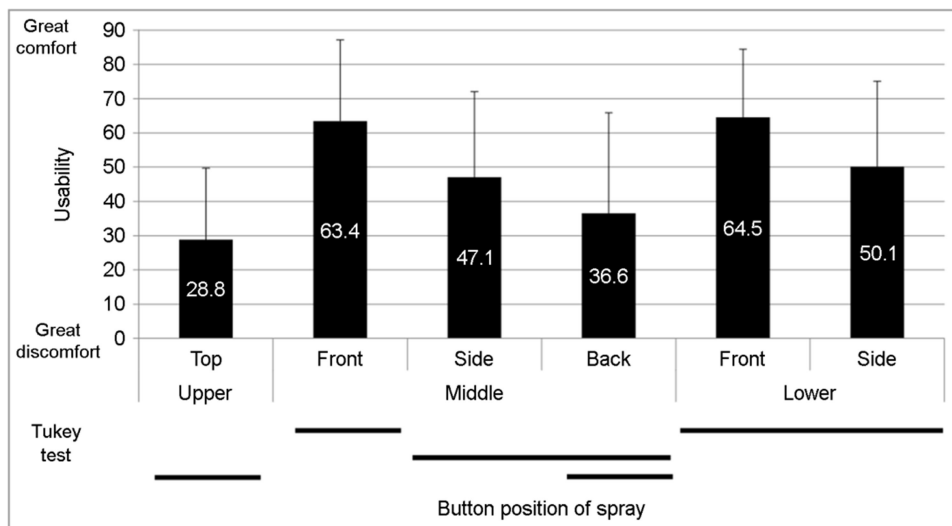


Figure 4. Result of subjective usability by button position of spray

4. Discussion

본 연구는 이비인후과 진료장치인 내시경과 스프레이를 대상으로 손잡이 모양, 각도, 사이즈 변화에 따른 주관적 사용성을 인간공학적으로 평가하여 사용성이 높은 손잡이 설계 인자를 분석하였다. 이에 따라 본 연구 결과를 반영하여 펜타입 내시경의 손잡이는 직사각형 모양의 32mm 직경의 사용성이 높게 나타났으며 건타입 내시경의 손잡이는 원형 모양의 120° 각도의 사용성이 높게 나타났다. 스프레이의 버튼 위치는 상·하단부의 정면인 경우 사용성이 높게 분석되었다.

일반적으로 이비인후과 진료 시 의사는 육안으로 확인이 어려운 귀, 코, 입에 내시경의 렌즈 팁을 넣는 동작을 취한다. 이러한 동작으로 펜타입 내시경의 손잡이를 엄지와 검지 손가락 사이에 끼우는 자세로 파지하여 external precision grip 형태로 내시경을 미세 조정한다. 이러한 자세에서 내시경을 미세 조정하기 위해 엄지와 검지 손가락 관절이 내시경 손잡이의 각진 부위와 밀착하여 더 강한 악력으로 정확한 파지가 가능해진다. 따라서 본 연구 결과 펜타입 내시경의 손잡이는 모서리가 있는 직사각형 모양의 사용성이 약간 높게 분석되어 더 편안한 것으로 해석할 수 있다.

손잡이의 직경은 최대 악력 및 사용성과 밀접한 관련성이 있으며 이러한 요인이 장시간 반복되면 작업 부하 및 피로에 영향을 미친다. 일반적으로 악력을 고려한 최적의 손잡이 직경 범위는 약 $33(\pm 5)$ mm 보고되었다(Blackwell et al., 1999; Edgren et al., 2004; Kong and Lowe, 2005). 본 연구에서 주관적 사용성이 가장 높게 분석된 32mm도 이 범위에 포함된다. 이는 32mm 직경에서 가장 높은 악력을 발생할 수 있기 때문에 의사가 가장 선호하는 그립감으로 주관적 사용성이 높게 파악된 것으로 사료된다. 본 연구 결과와 유사하게 Rossi et al. (2012)은 원기둥 모양의 손잡이의 33mm 직경에서 최대발휘악력이 분석하였으며 손사이즈를 고려하여 34.1mm를 이론적인 최적의 손잡이 직경으로 보고하였다. 본 연구 결과와 유사하게 González et al. (2018)은 복강경 손잡이의 인간공학적인 디자인을 연구하여 성별을 고려한 최적의 손잡이 직경을 평균 33.5mm로 보고하였다. 따라서 본 연구 결과를 반영하여 펜타입 내시경의 손잡이는 직사각형 모양의 32~35mm 직경의 범위로 제안한다.

건타입 내시경은 펜타입과 다르게 내시경의 팁과 손잡이의 연결 부위가 권총 형태로 구부러져 있는 디자인이다. 이에 내시경 사용 시 펜타입과 비교하여 손목 관절의 굴곡·신전 및 편향이 상대적으로 적게 발생하여 손목의 작업 부하를 경감시킬 수 있는 형태이다 (Agostinucci and McLinden, 2016; Duke et al., 2004). 이에 따라 내시경의 사용 높이는 의사의 얼굴 정도의 높이로 90° 에 가까울수록 손목의 외측 편향이 발생하여 오히려 손목의 부하를 가중시켜 사용성이 낮아지게 된다. 본 연구 결과에 따라 선호하는 평균 각도는 122.2° 로 분석되었으며 120° 각도 수준에서 가장 높은 사용성이 분석되었다. 이는 의사가 환자의 귀, 코, 입 부위를 내시경으로 검사할 때 손목의 외측 편향 각도가 작아 손목 관절 각도가 중립을 유지할 수 있기 때문에 편안하게 느낀 것으로 판단된다. 본 연구 결과 건타입 내시경의 손잡이 모양은 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 분석되었다. 건타입 내시경의 손잡이는 power grip 형태로 파지하기 때문에 직사각형 모양의 손잡이는 손바닥의 접촉스트레스로 인해 불편감이 가중될 수 있다. 이러한 원인으로 펜타입 내시경과 다르게 건타입 내시경의 손잡이는 원기둥 형태의 사용성이 약간 높게 분석된 것으로 사료된다. 따라서 본 연구 결과를 반영하여 건타입 내시경의 손잡이는 원기둥 모양의 약 120° 각도로 설계할 것을 제안한다.

이비인후과 진료장치 중 가장 빈번하게 사용하는 스프레이는 의사가 주로 손가락으로 버튼을 눌러 약을 주입 또는 분사하는 용도로 사용한다. 이에 따라 버튼을 반복적으로 누르기 때문에 손가락 및 손목의 피로와 영향을 미치며 버튼 위치 및 반발력 등의 요인이 생체역학적으로 중요하다(Ashish et al., 2008). 스프레이 버튼이 최상단, 측면에 있는 경우 손목 관절의 비틀림, 편향이 복합적으로 발생한 자세로 엄지 손가락으로 버튼을 누르기 때문에 부적절한 자세가 반복적으로 발생하여 부하가 높다. 반면, 버튼이 정면에 위치한 경우 손목 관절의 중립 각도를 유지하면서 엄지 손가락으로 누를 수 있기 때문에 주관적 사용성이 높게 분석된 것으로 판단된다. 따라서 본 연구 결과를 반영하여 스프레이의 버튼 위치는 엄지 손가락으로 누를 수 있는 정면에 위치시키는 것이 바람직하다.

본 연구는 내시경과 스프레이의 손잡이 모양, 직경, 각도 등을 변화하여 주관적 사용성을 평가하였으며 분석 결과를 반영하여 인간공학적인 PUI 설계 지침을 제안하였다. 다만, 주관적인 사용성 지표 결과로 PUI 사용성 개선안을 도출하기에는 제한점이 존재한다. 따라서 향후에는 이러한 제한점을 보완하여 3D 동작 분석을 통한 관절의 생체역학적 변수(각도, 각속도, 각가속도 등), 근전도를 적용한 생리학적 근활성도·피로도 등을 인간공학적으로 평가하여 작업 부하를 복합적으로 평가할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

5. Conclusion

본 연구 결과를 기반으로 이비인후과 진료장치인 내시경과 스프레이에 대한 인간공학적인 PUI 설계 지침을 도출하였다. 내시경과 스프레이는 가급적 건타입 형태로 직경 32~35mm인 원기둥 모양의 손잡이와 각도 조절이 가능하도록 설계해야 한다. 생산공정, 내구성 등의 기술적 제약으로 조절식 설계가 어려울 경우 약 120° 각도로 설계할 것을 제안한다. 스프레이의 버튼 위치는 엄지 손가락으로 누를 수 있는 정면에 위치시키는 것이 바람직하다. 아직까지 대부분의 의료기기는 생산성, 내구성을 우선으로 사용자 인터페이스를 고려한 연구가 미흡하다. 따라서 향후에는 의사를 고려한 의료기기의 인간공학적인 PUI, GUI 인터페이스 설계가 요구된다. 이는 내시경과 스프레이 진료장치에 대해 인간공학적인 설계 지침을 적용할 수 있으며 나아가 작업 부하를 경감하여 직업성 근골격계질환을 예방하는데 기여할 수 있을 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 2020학년도 오산대학교 교내 연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

References

- Agostinucci, J. and McLinden, J., Ergonomic comparison between a 'right angle' handle style and standard style paint brush: An electromyographic analysis, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 56, 130-137, 2016.
- Ashish, D.N., Rodrigo, K. and Zong, M.L., Finger joint motion generated by individual extrinsic muscles: a cadaveric study, *Journal of Orthopaedic Surgery*, 3(27), 1-7, 2008.
- Blackwell, J.R., Kornatz, K.W. and Heath, E.M., Effect of grip span on maximal grip force and fatigue of flexor digitorum superficialis, *Applied Ergonomics*, 30(5), 401-405, 1999.
- Duke, K., Mirka, G. and Sommerich, C., Productivity and ergonomic investigation of bent handle pliers, *Human Factors*, 46(2), 234-243, 2004.
- Edgren, C.S., Radwin, R.G. and Irwin, C.B., Grip force vectors for varying handle diameters and hand sizes, *Human Factors*, 46(2), 244-251, 2004.
- González, A.G., Rodríguez, D.R. and Sanz-Calcedo, J.G., Ergonomic analysis of the dimension of a precision tool handle: a case study, *Procedia Manufacturing*, 13, 1336-1343, 2017.
- González, A.G., Salgado, D.R., Moruno, L.G. and Rios, A.S., An ergonomic customized-tool handle design for precision tools using additive manufacturing: a case study, *Applied Sciences*, 8(7), 1-13, 2018.
- Guo, B., Tian, L. and Fang, W., Effects of operation type and handle shape of the driver controllers of high-speed train on the drivers' comfort, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 58, 1-11, 2017.
- Health Insurance Review and Assessment Service, 2020. Health insurance care statistics, Number of medical personnel indicated by the clinic, <http://opendata.hira.or.kr/op/opc/olapHthInsRvStatInfo.do#none>, (Accessed 20 January, 2021).
- Jo, E., Jung, J., Mo, S.M., Jung, M.C. and Hong, S., A study on ergonomic design factors in the ENT medical unit, *Journal of Industrial Design*, 11(4), 1-8, 2017.
- Jung, M.C. and Mo, S.M., Work analysis and ergonomic improvement for the user of medical device: focus on the ENT unit, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 46(2), 173-178, 2020.
- Kim, S.G., Medical doctor's job and prevention of occupational diseases - doctors and cerebrovascular disease, *Korea Industrial Health Association*, 377, 43-53, 2019.
- Kim, Y.C. and Kim, J.K., A Study on Evaluation of work ability and job stress for doctor, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 27(4), 9-14, 2008.
- Kong, Y.K. and Kim, D.M., The relationship between hand anthropometrics, total grip strength and individual finger force for various handle shapes, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 21(2), 187-192, 2015.
- Kong, Y.K. and Lowe, B.D., Optimal cylindrical handle diameter for grip force tasks, *International Journal of Industrial Ergonomics*,

35(6), 495-507, 2005.

Rossi, J., Berton, E., Gre'lot, L., Barla, C. and Vigouroux, L., Characterisation of forces exerted by the entire hand during the power grip: effect of the handle diameter, *Ergonomics*, 55(6), 682-692, 2012.

Sánchez-Margallo, J.A., González, A.G., Moruno, L.G., Gómez Blanco, J.C., Pagador, J.B. and Sánchez-Margallo, F.M., Comparative study of the use of different sizes of an ergonomic instrument handle for laparoscopic surgery, *Applied Science*, 10(4), 1-14, 2020.

Tony, B., Alphin, M.S. and Velmurugan, D., Influence of handle shape and size to reduce the hand-arm vibration discomfort, *Work*, 63(3), 415-426, 2019.

Tung, K.D., Shorti, R.M., Downey, E.C. and Boswick, A.S., The effect of ergonomic laparoscopic tool handle design on performance and efficiency, *Surgical Endoscopy*, 29(9), 2500-2505, 2015.

Veisi, H., Choobineh, A., Ghaem, H. and Shafiee, Z., The effect of hand tools' handle shape on upper extremity comfort and postural discomfort among hand-woven shoemaking workers, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 74, 102833, 1-9, 2019.

Vijendren, A., Yung, M., Sanchez, J. and Duffield, K., Occupational musculoskeletal pain amongst ENT surgeons - are we looking at the tip of an iceberg?, *The Journal of Laryngology & Otology*, 130(5), 490-496, 2016.

Author listings

Seung-Min Mo: smmo@osan.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Ajou University

Position title: Assistant Professor, Department of Industrial Engineering Osan University

Areas of interest: Ergonomics, Industrial safety, Biomechanics, Human-robot interaction

Myung-Chul Jung: mcjung@ajou.ac.kr

Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Pennsylvania State University

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

Areas of interest: Work design, Ergonomics, Product development, Human enhancement