JESK J Ergon Soc Korea 2023; 42(4): 345-356
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2023.42.4.345
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

A Study on Digital Anthropometric Measurement Indexes based on a Systematic Literature Review for Spine Function Assessment and Healthcare Service

Jong Hyun Kim[1,2], Chang Gi Lee[1], Kwang Tae Jung[2]

[1]Korea Institute of Industrial Technology, Digital Healthcare R&D Department, Cheonan, 31056
[2]KOREATECH, Department of Industrial Design Engineering, Cheonan, 31253

척추 기능 평가 및 헬스케어 서비스를 위한 SLR 기법 기반의 디지털 인체 측정 항목 연구

김종현[1,2], 이창기[1], 정광태[2]

[1]한국생산기술연구원, 디지털헬스케어연구부문
[2]한국기술교육대학교, 디자인공학과

Corresponding Author
Kwang Tae Jung
KOREATECH, Department of Industrial Design Engineering, Cheonan, 31253
Email : ktjung@koreatech.re.kr

Received : July 12, 2023
Revised : August 08, 2023
Accepted : August 11, 2023

Copyright@2023 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

Objective: The aim of this study is to derive digital anthropometric indexes related to spinal function, conduct a comprehensive systematic literature review study on the decision criteria and analyze the importance between indexes.

Background: Due to the increase in office workers using personal computer and mobile usage time, the number of patients with spine-related diseases such as VDT syndrome is increasing, and it is necessary to study various health care services for them. In order to conveniently and accurately measure the state of spinal function using digital technology, it is necessary to derive anthropometric indexes and research on the evidence criteria.

Method: According to the systematic literature review research protocol, digital anthropometric indexes based on 5 assessment tools were derived. An integrated analysis was performed on the data of previous studies for the determination of normal and abnormal states in digital anthropometric indexes. The importance of digital anthropometric indexes through analytic hierarchy process for providing comprehensive spinal function information (service data) was analyzed.

Results: Distinct differences between data from normal and abnormal states were observed across all five tools and specific anthropometric indexes. In assessing the importance of anthropometric indexes within the five assessments, the priority order was as follows: Adams forward bend test (34.7%), cervical range of motion (27.5%), Tragus to wall distance (21.2%), Trendelenbrug test (10.9%), and Chest expansion test (5.8%).

Conclusion: The procedures and methodologies employed in this study to derive digital anthropometric indexes for assessing spinal function hold significance as a foundational step towards digitizing body function evaluation and anthropometry.

Application: Anticipated effect of this research include the provision of high-quality healthcare services and enhanced user experiences. This stems from the ability to

conveniently, accurately, and comprehensively assess, record, and leverage users' spinal health function data.

Keywords: Digital anthropometric, Spinal function assessment, Index of spinal health, Systematic literature review

1. Introduction

사무직 근로자가 늘어나면서, 컴퓨터 사용시간 증가, 스마트폰의 대중화 등의 영향으로 VDT (Visual Display Terminal) 증후군 질환자와 척추 관련 근골격계 질환자들이 증가하고 있다(Kong et al., 2019). VDT 증후근은 대부분 경추, 어깨, 등, 허리에서 발생하는 근육통, 경추간판장애, 목-허리디스크, 척추관협착증, 거북목증후근, 척추측만증 등이 원인이다(Mekhora et al., 2000). 이와 같은 척추 질환과 허리디스크 환자의 수는 매년 평균 40 만 명 이상 증가하고 있다. 척추 관련 질환은 약국 조제 현황(1위)과 질병 별 다빈도 질환 급여비 순위(2위) 모두 상위권에 해당하는 질환이다(KOSIS, 2021).

척추 관련 근골격계 질환 예방을 위해서는 지속적인 운동과 건강 관리가 필요함에 따라 개인별 척추 기능 상태를 평가하고, 지속적으로 운동을 수행하는 것이 질환 예방과 재활에 도움이 되는 것으로 나타났다(Andersen et al., 2011). 따라서, 맞춤형 근골격계 질환 예방을 위한 디지털 헬스케어 서비스 기술 구현, 치료 후 재활 지원과 재발 방지와 예방을 위한 척추 질환 및 예방과 관련된 디지털 인체 측정 기술에 대한 연구가 필요한 실정이다(Csepregi et al., 2022).

디지털 인체 측정은 카메라, 웨어러블 센서 등의 디바이스 기술과 측정 지표와 변수로 분석하여 서비스할 수 있는 데이터로 가공할 수 있는 소프트웨어 기술로 구분된다. 사용자의 건강 기능 상태를 측정하고, 평가(assessment), 분석하기 위해서는 측정한 데이터를 지표화하여, 사용자에게 맞는 건강 데이터와 서비스를 제공하는 기술이 함께 개발되어야 하지만, 측정 기술에 비해 측정 데이터를 지표화하고, 지표 간 중요도에 연구들은 미흡한 상황이다(Heymsfield et al., 2019).

본 연구의 대상이 되는 척추 기능 중심의 디지털 인체 측정과 관련된 선행연구 사례는 많지 않다. 결과 부분에서 도출된 선행연구들처럼 아날로그 방식의 척추 기능 평가도구(assessment tool)를 활용한 연구들이 주를 이루고 있다. 척추 건강 기능과 관련된 평가도구들의 예를 들어보면, Adams forward bend test (Komang-Agung et al., 2017), Tragus to wall distance (Heuft-Dorenbosch et al., 2003) 등과 같은 것들로 선행연구들이 있으며, 이들 연구에서는 측정자와 인체 측정용 각도계, 문진 등의 방법을 활용한 아날로그 방식으로 측정되었다.

선행연구에서 활용되는 척추 기능의 인체 측정 방식으로 의료진에 의하여 측정하는 방법은 측정하는 사람에 따라 오차가 발생하고, 수기로 기록됨에 따라 정량화하기 어려운 단점이 있다(Heymsfield et al., 2019). 이처럼 디지털화 되지 않은 정보는 데이터의 가공을 통해 얻을 수 있는 디지털 서비스 정보, 예를 들면 건강 나이, 척추 건강 점수 등과 예측된 데이터인 3차 서비스 데이터를 기대하기 어렵고, 서비스 대상자에 대한 건강 이력 관리 뿐만 아니라 개인 간의 표준화된 데이터 관리 및 서비스가 어렵기 때문에, 디지털 인체 측정과 측정 지표에 대한 연구가 매우 중요한 상황이다.

본 연구에서는 Systematic Literature Review (SLR) 기법(Xiao and Watson, 2017)을 통해 척추 기능의 디지털화가 가능하고, 측정 데이터의 정량화가 가능한 5가지 디지털 인체 측정 지표를 선정하였다. 5가지 지표를 통합한 척추 기능 상태를 나타내기 위해서는 5가지 지표별로 가중치를 적용하여 통합하는 과정이 필요하다. 따라서 5가지 지표 간의 가중치 데이터 획득을 위하여, 지표 간 중요도 분석을 수행하였다. 척추 기능에 대한 5가지 디지털 인체 측정 지표 간 중요도 분석은 관련 전문가를 대상으로 Analytic Hierarchy Process (AHP) 분석을 통해 수행되었다. 통합된 척추 기능 상태 지표는 '뇌 나이 서비스', '신체 나이 서비스' 등과 같이 사용자에게 보다 쉽고, 직관적으로 하나의 지표로 서비스 될 수 있어, 질병이 없는 상태를 점수화함으로써 질환 예방에 기여하는 장점이 있다(Fuellen et al., 2019).

2. Method

본 연구에서는 디지털 기술(3D depth camera)로 측정 가능한 척추 기능 항목을 선정하고, 선행연구들을 참고하여 측정 항목별 판정 기준을 도출하였다. 체계적 문헌 고찰 방법에 따라 문제를 정의하였고, 문헌 고찰 프로토콜을 통해 5가지 디지털 인체 측정 항목과 정상과 이상 결과에 대한 분석을 수행하였다.

체계적 문헌 고찰에서 도출된 5가지 항목들의 상대적 중요도를 구하기 위하여 AHP를 활용하였다.

2.1 Protocol and process of systematic literature review

척추 기능 평가(assessment)를 위한 디지털 인체 측정 항목 도출을 위한 체계적 문헌 고찰 프로토콜은 7가지 단계로 수행된다(Xiao and Watson, 2017; Ha, 2018). SLR 프로토콜의 7가지 단계 중 1단계는 문제를 정의하는 단계(Formulating the research problem)로 디지털로 측정 가능한 척추 기능 항목 도출하는 것과 항목별 기능에 대한 정상과 이상 상태의 통합된 결과를 도출하는 것으로 정의하였다. 2단계는 프로토콜을 개발하는 현재의 단계(Developing and validation the review protocol)로 SLR 프로토콜을 수립하였다. 3단계는 문헌 검색(Searching the literature)에 대한 것으로 Google Scholar를 활용하였고, 측만증, 경추 질환, 골반 균형에 대한 키워드와 사정 도구(assessment tool), 측정(measurement), 시험(test)의 단어를 조합하여 검색하였다. 4단계는 검색된 문헌 중 필요한 논문을 선정하는 단계(Screening for inclusion)로 척추 기능에 대한 사정 방법들을 5가지로 분류하여 31개의 논문을 선정하였다. 5단계는 선정된 논문에 대하여 품질을 평가하여 논문들을 정리하는 단계(Assessing quality)로 디지털 측정이 가능한 측정 항목 5가지에 대한 25개 논문으로 정리하였다. 6단계는 데이터를 도출하는 단계(Extracting data)로 최종 도출된 25개 논문에서 정상과 이상 기능 상태에 대한 결과들을 도출하였다. 마지막으로 7단계는 데이터 분석 및 통합하는 단계(Analyzing and synthesizing data)로 5가지로 분류된 측정 항목에서 정상과 이상 기능 상태에 대한 결과들을 통합하였다(Table 1).

Table 1. The protocol of systematic literature review for digital anthropometric measurement of spine function assessment

Step	Contents
1. Formulating the research problem	- Derivation of digitally measurable spinal function indexes - Definition of outcome criteria for spinal functional status (normal and abnormal)
2. Developing and validating the review protocol	- Development of SLR protocols for analysis procedures and keywords, scopes and criteria
3. Searching the literature	- Paper search by Google Scholar - Key word: Cervical disease, Scoliosis ankylosing spondylitis, pelvic balance - Search word: Key word + assessment tool
4. Screening for inclusion	- 31 related papers selected - Classified by the same assessment method (classified into 5 types)
5. Assessing quality	- 25 papers were drawn, excluding methods such as subjective evaluation and questionnaire, which cannot be measured digitally
6. Extracting data	- By referring to 25 papers, the assessment method is divided into 5 categories - Extraction of data by normal and abnormal groups from five assessment methods
7. Analyzing and synthesizing data	- Derivation of 5 digital anthropometric indexes - Definition of normal and abnormal functional state range in five anthropometric indexes

본 연구에서는 디지털로 측정 가능한 척추 기능 평가(assessment) 방법을 도출하고, 상태에 대한 정상과 이상 기능 결과 값을 도출하기 위하여, 1. 문헌 검색(Searching), 2. 문헌 분류(Screening), 3. 데이터 결과 분석(Analysis) 3단계의 흐름으로 체계적 문헌 고찰을 수행

하였다(Yoon and Lee, 2023). 검색 과정에서는 프로토콜 단계 Table 1에서 설명한 바와 같이 경추 질환(Cervical disease, N=77, (after screening, N=4)), 측만증(Scoliosis, N=36, (after screening, N=6)), 강직성 척추염(Ankylosing spondylitis, N=20, (after screening, N=9)), 골반 균형(Pelvic Balance, N=6)의 키워드 검색으로 각각 77개, 36개, 20개, 10개로 총 143개의 논문이 검색되었고, 이들 중 디지털 측정이 가능한 방식(3D depth camera)과 데이터 유·무를 기준으로 논문을 분류하였고, 각각 4개, 6개, 9개, 6개로 선정하였다. 그리고 분석 단계에서는 척추 기능에 대한 5가지 디지털 인체 측정 방법(Table 2)과 이에 대한 결과 데이터를 통합 분석하였다(Figure 1).

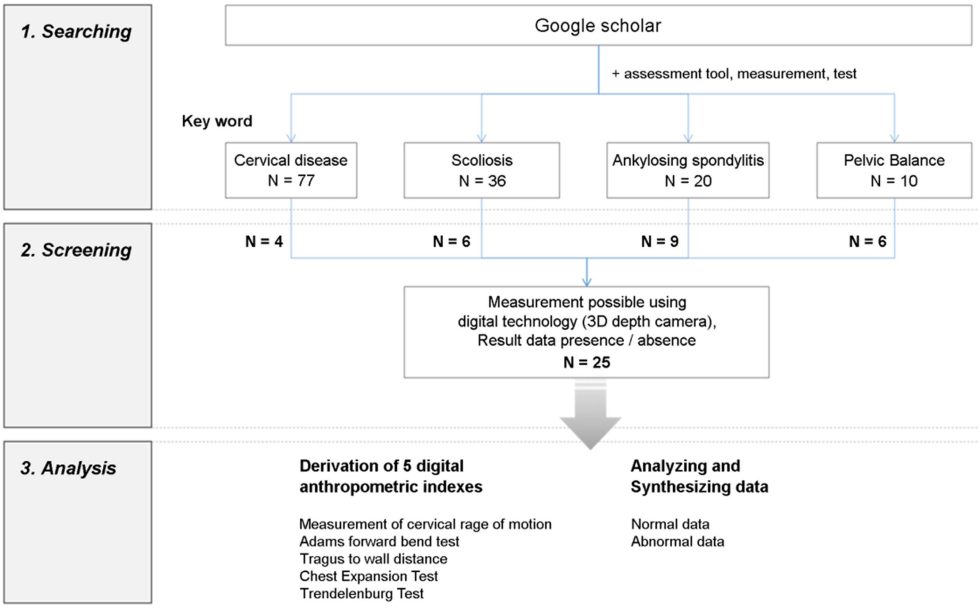


Figure 1. Systematic Literature Review flow for digital anthropometric measurement of spine function assessment

2.2 Analysis of importance among 5 digital anthropometric indexes

척추 기능 평가(assessment)를 위한 5가지 디지털 인체 측정 항목은 ① 경추 가동 범위(Cervical range of motion), ② 측만 각도(Adams forward bend test), ③ 전만 여부(Tragus to wall distance), ④ 척추 강직 여부(Chest expansion test), ⑤ 골반의 균형성(Trendelenburg test)에 대한 기능을 사정할 수 있고, 사정 결과의 통합은 종합적인 척추의 기능 상태를 나타낼 수 있다(Table 2).

Table 2. Anthropometric indexes and measurement methods of the five assessment tools

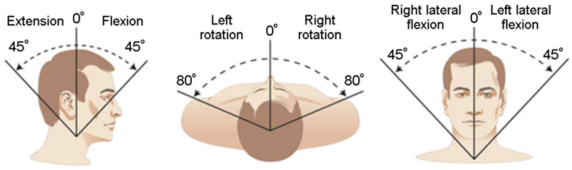
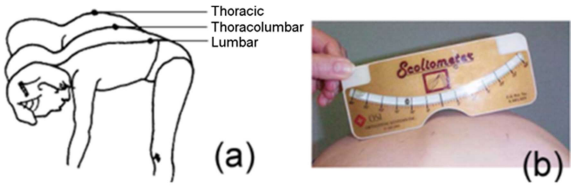
Assessment tool	Anthropometric indexes	Measurement	Reference
① Cervical range of motion	Flexion - Extension, R-L Rotation, R-L Lateral bending		(Carrison and Bledsoe, 2015)

Table 2. Anthropometric indexes and measurement methods of the five assessment tools (Continued)

Assessment tool	Anthropometric indexes	Measurement	Reference
② Adams forward bend test	Angle of scoliosis		(Patias et al., 2010)
③ Tragus to wall distance	Distance between points		(Tudini et al., 2020)
④ Chest expansion test	Chest circumference length		(Digiovanni, 2019)
⑤ Trendelenburg test	Pelvic obliquity angle		(Hardcastle and Nade, 1985)

따라서, 5가지 사정 결과의 통합을 위해서는 각 항목의 상대적 중요도를 도출해야 하므로, 본 연구에서는 AHP를 활용하여, 항목 간 중요도를 분석하였다. AHP 평가 결과의 일관성을 확인하기 위해 일관성 지수(Consistency index, C.I)를 활용하였다. C.I 지수가 0.1 이하인 경우 AHP 분석 결과에 대한 높은 신뢰성을 보이므로, 일관성 지수를 0.1 이하로 관리하였다(Shin et al., 2022).

AHP 분석은 9점 척도로 5가지 항목 간 총 10번의 쌍대 비교 분석을 통해 수행되었다. 5명의 분야 전문가가 설문에 참여하였고(인간공학전문가, 디지털 헬스케어 전문가, 의공학과 교수, 재활전문의, 재활치료사), 결과 분석은 Expertchoice (Decision Science, Korea) 소프트웨어를 통해 수행되었으며, 획득된 데이터 중 C.I 지수가 0.1 이상이거나, 평가 항목에 대한 점수가 누락된 경우는 재 평가를 요청하였다.

3. Results

3.1 Result of deriving anthropometric indexes for spinal function assessment

척추의 주요 기능(질환) 4가지(Cervical disease, Scoliosis, Ankylosing spondylitis, Pelvic Balance)에 대한 논문 검색 결과에서 강직성 척추염과 관련된 항목을 강직성 척추염에 대한 사정 방법(Chest Expansion Test)과 척추전만증에 대한 사정 방법(Tragus to Wall Distance)으로 구분하여, 총 5가지 사정도구(Assessment tool)에 대한 인체 측정 항목들(Anthropometric Indexes)과 항목별 정상과 이상 상태에 대한 결과 값을 도출하였다(Table 3).

5가지 사정도구에 대한 각각의 인체 측정 항목은 다음과 같다. ① Cervical range of motion에 대한 인체 측정 항목은 '굴곡-신전(Flexion-Extension)', '좌우 회전(R-L Rotation)', '좌우 측면 굽힘(R-L Lateral Bending)'이다. ② Adams forward bend test에 대한 인체 측정 항목은 '허리를 숙인 상태에서 측정한 좌우 측만 각도(Angle of Scoliosis)'이다. ③ Tragus to wall distance는 '벽과 귀구슬까지 측정한 거리'이다. ④ Chest expansion test의 인체 측정 항목은 '들숨과 날숨 간 가슴둘레 차이'이다. ⑤ Trendelenburg test의 인체 측정 항목은 '지지하는 다리의 골반이 상승하였을 때, 좌우 골반의 수평 각도(Pelvic obliquity Angle)'를 측정한 것이다(Table 2).

Table 3. Derivation of Anthropometric Indexes for spinal function assessment and normal data and abnormal data in anthropometric indexes

Assessment tool	Anthropometric indexes	Normal data	Abnormal data	Measurement (device)	Reference
① Cervical range of motion	Flexion - Extension	57.3~72.4°	45.9~47.3°	Camera motion capture system, Myrin goniometer	(Stenneberg et al., 2017; Feng et al., 2019; Oliveira-Souza et al., 2020; Cánovas-Ambit et al., 2021)
	R-L Rotation	67.2~73.5°	57.0~57.3°		
	R-L Lateral bending	38.5~52.9°	36.2~35.8°		
② Adams forward bend test	Angle of scoliosis		5~7°	Scoliometer	(Suh et al., 2011; Adobor et al., 2011; Du et al., 2016; Komang-Agung et al., 2017; Yılmaz Hurriyet et al., 2020; Kluszczyński et al., 2022)
③ Tragus to wall distance	Distance between points	11.0~14.5cm	16.1~18.0cm	Tape measure, Rigid ruler	(Viitanen et al., 1998; Heuft-Dorenbosch et al., 2003; Fallahi and Jamshidi, 2016; Calvo-Gutiérrez et al., 2016; Gündüz et al., 2017; Tudini et al., 2020)
④ Chest expansion test	Chest circumference length	5.0~8.0cm	1.6~4.0cm	Tape measure	(Heuft-Dorenbosch et al., 2003; Cho et al., 2013; Fallahi and Jamshidi, 2016; Memetoğlu et al., 2016; Hsieh et al., 2016; Calvo-Gutiérrez et al., 2016; Gündüz et al., 2017)
⑤ Trendelenburg test	Performance time	> 30s	< 5s	Video	(Hardcastle and Nade, 1985; Mjaaland et al., 2019; Manafi Rasi et al., 2020; Majeed et al., 2021)
	Check raised legs	Pelvic elevation	Pelvic descent	Observation	(Apeldoorn et al., 2016)
	Pelvic obliquity angle		4.3°	Motion capture system	(Stevens et al., 2020)

3.2 Results of data integration analysis in anthropometric indexes

정상과 이상 상태에 대한 결과 값은 Table 3에 정리된 논문들의 결과 데이터에서 각 사정 평가도구 별 결과 데이터를 통합하여 작성하였다.

3가지 경추 가동 범위의 Flexion - Extension ROM 정상 상태 평균은 62.64(±4.6)°, 이상 상태 평균은 51.74(±6.8)°, R-L Rotation ROM은 정상 상태 평균이 72.60(±6.2)°, 이상 상태 평균이 59.75(±2.1)°, R-L Lateral bending ROM은 정상 상태 평균이 43.45(±5.1)°, 이상 상태 평균이 34.62(±1.3)°로 나타났다. Adams forward bend의 측만 측정에 대한 결과는 이상 상태(환자)에 대한 평균이 6.13(±1.0)°로 나타났다. Tragus to wall distance의 전만 측정에 대한 결과는 정상 상태 평균이 12.44(±2.0)cm, 이상 상태 평균이 16.55(±0.9)cm로 나타났으며, 상태 간 4.1cm 차이가 있었다. Chest expansion test의 결과는 정상 상태 평균이 6.17(±1.6)cm, 이상 상태 평균이 3.14(±1.2)cm로 나타났으며, 상태 간 3.03cm 차이가 있었다. Trendelenburg test에서 골반 뒤틀린 각도(지지한 발의 골반이 올라간 각도(Pelvic obliquity Angle))는 이상 상태의 평균이 4.3°로 나타났다(Table 4).

Table 4. Normal and abnormal status data integration results by anthropometric indexes

Assessment tool	Anthropometric Indexes	Normal data	Abnormal data
Cervical range of motion	Flexion - Extension	62.64(±4.6)°	51.74(±6.8)°
	R-L Rotation	72.60(±6.2)°	59.75(±2.1)°
	R-L Lateral bending	43.45(±5.1)°	34.62(±1.3)°
Adams forward bend test	Angle of scoliosis		6.13(±1.0)°
Tragus to wall distance	Distance between points (tragus to wall)	12.44(±2.0)cm	16.55(±0.9)cm
Chest expansion test	Chest circumference length	6.17(±1.6)cm	3.14(±1.2)cm
Trendelenburg test	Pelvic obliquity Angle (Raised leg pelvis descent)		4.3°

3.3 Result of importance analysis among 5 digital anthropometric indexes

척추 기능 평가(assessment)를 위한 5가지 사정도구들의 평가 결과들 간의 중요도에 대한 AHP 평가의 결과는 Figure 2와 같다.

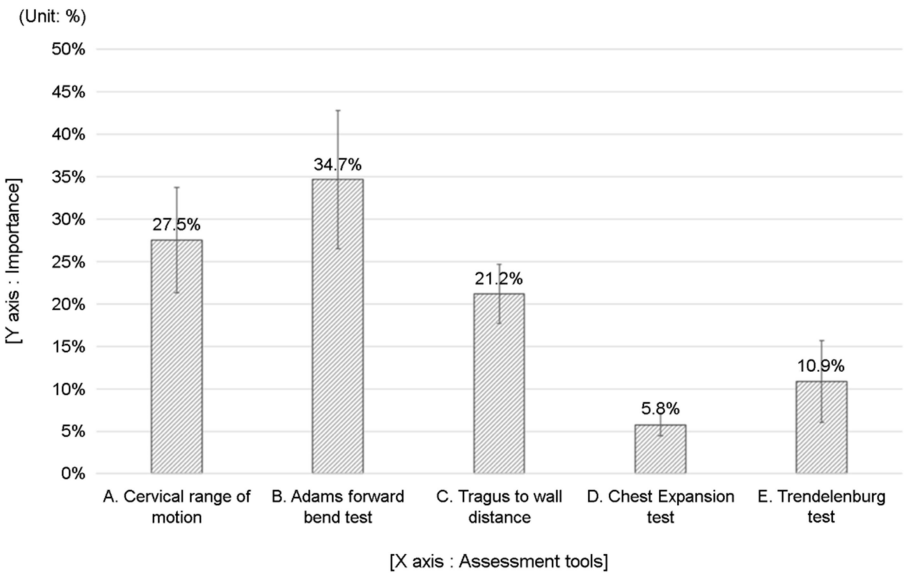


Figure 2. Result of importance among 5 digital anthropometric indexes (Error bars represent standard Deviation, Consistency index = 0.05, Error count = 0)

Figure 2의 중요도 평가 결과에서 보면 측만을 판단할 수 있는 B. Adams forward bend test가 중요도 34.7(±8.1)%로 가장 중요한 인체 측정 항목의 사정방법으로 나타났다. 다음으로는 경추 가동 범위를 평가할 수 있는 A. Cervical range of motion으로 27.5(±6.2)%, 전만을 확인할 수 있는 C. Tragus to wall distance가 21.2(±7.0)%로 나타났다. 그리고 골반 균형을 확인할 수 있는 사정도구인 E. Trendelenbrug test가 10.9(±4.8)%의 중요도를 나타냈고, 마지막으로 척추의 강직 여부를 확인할 수 있는 D. Chest expansion test의 중요도가 5.8(±1.3)%로 나타났다. 그리고 중요도 분석은 일관성 지수(Consistency index)는 0.05, 오류 횟수는 0회로 나타났다(Figure 2).

4. Discussion

본 연구는 디지털 인체 측정 방법을 활용한 척추 기능 평가(assessement)를 위하여 인체 측정 지표에 대한 연구를 수행하였다. 척추 기능을 평가하고 척추 질환을 판단하는 선행연구들의 체계적인 분석을 통해 디지털로 측정 가능한 인체 측정 지표를 도출하였고, 이들의 정상과 이상 상태에 대한 결과 데이터 통합을 수행하였다. 본 연구에서 측정하는 디지털 기술은 SLR 프로토콜에서 설명하였듯이 깊이 카메라(3D Depth camera)에 의한 방식을 고려하여 참고문헌들을 선정하였다.

체계적 문헌 고찰 연구(Systematic Literature Review)를 통해 총 5가지의 사정도구를 도출하였다. 사정도구들은 각각 척추 질환과 관련된 인체 측정을 통해 척추 기능을 평가(assessment)하는 도구들로 ① Cervical range of motion, ② Adams forward bend test, ③ Tragus to wall distance, ④ Chest expansion test, ⑤ Trendelenburg test, 이렇게 5가지가 도출되었다.

SLR을 토대로 문헌을 검색, 분류, 분석하는 3가지 과정 중 분류에서 디지털 측정이 가능한 방식(3D depth camera)과 데이터 유·무를 기준으로 논문을 분류하여, 각각 4개, 6개, 9개, 6개로 깊이 카메라의 활용을 고려하여 문헌들을 선정하였다. 이렇게 선정된 문헌들은 대개 측정자와 관찰(Video)을 통한 평가 방식을 활용하여 인체 측정을 수행하였다. 따라서 문답(문진) 형식의 사정도구와 전문의 주관적 판단이 개입되는 평가 방식들은 배제 되었다. 이렇게 도출된 사정도구들은 척추 기능에서 경추 가동 범위, 척추의 측만 각도, 전만 여부, 강직 여부, 골반 균형에 대한 기능을 사정할 수 있는 인체 측정 지표들이다.

측정된 지표의 결과 값들은 전문가(전문의, 치료사 등)에 의해 척추 기능 상태를 판단하였고, 선행연구들에서는 정상과 이상(환자) 상태에 대한 인체 측정을 수행하는 연구들을 수행하였다. 따라서 향후에 측정된 인체 측정 결과 값의 판단과 기준 수립을 위하여 선행연구의 결과들을 정상과 이상 상태로 구분하여 데이터 통합 분석을 수행하였다. 정상과 이상 상태의 통합 결과 경추 가동역 검사에서는 3가지 인체 측정 항목 모두에서 정상 상태가 이상 상태에 비해 ROM 10° 크게 나타났다. 이는 경추 가동 범위의 측정과 이력 관리를 척추의 기능적 관리와 사정이 가능함을 확인할 수 있었다. 이와 같은 경향은 나머지 4가지 사정도구들과 인체 측정 항목에서도 나타났다. 측만 각도를 평가할 수 있는 Adams forward bend test에서는 척추 측만의 이상 상태의 평균이 6°로 나타났으며, 3~4°에서 건강 관리가 필요할 것으로 판단되었다. 척추 전만을 나타내는 Tragus to wall distance 역시 이상 상태가 정상보다 4cm 더 길게 나타났다. 들숨과 날숨에 나타나는 가슴둘레 차이로 척추 강직 여부를 판단하는 Chest expansion test도 정상 상태가 이상에 비해 둘레 차이가 3cm 크게 나타났다. 골반의 균형 기능을 평가하는 방법의 Trendelenbrug test에서 골반 평형 각도(Pelvic obliquity)의 측정은 이상 상태 각도가 4.3°로 나타났다. 다만 Tredelenbrug test는 선행연구들에서도 마찬가지로 정량 각도의 측정보다는 지지하는 다리의 골반 상승 여부 자체가 정상과 이상 상태를 나누는 기준으로 활용되고 있어, 골반의 평형 각도가 0° 이상으로 나타나면, 이상 상태를 확인하는 기준이 된다(Apeldoorn et al., 2016; Stevens et al., 2020).

본 연구에서 척추 기능 사정도구 5가지의 인체 측정 항목들에 세부적인 결과들을 통합하여, 사용자에게 쉽고, 직관적으로 통합된 하는 지표가 필요하다. 예를 들면 '나의 척추 건강 점수는 몇 점' 이와 같은 방식으로 하는 지표로 서비스할 수 있게 하기 위해서는 5가지 도구의 인체 측정 항목들 간의 중요도(가중치, 우선 순위 등)에 대한 데이터가 필요하다. 이와 같은 통합적인 척추 기능 상태 결과는 보다 인식하기 쉬운 정보이며, 질병이 없는 상태를 점수화함으로써 질환 예방에 기여하는 장점이 있다. 또한 향후 사용자들과 서비스 정보 제공자에게 데이터 관리와 맞춤형 서비스의 기준이 될 수 있다. 5가지 척추 기능 상태 통합을 위해 인체 측정 항목 간 중요도를 분석한 결과 측만 각도를 평가할 수 있는 측정 항목이 가장 높은 중요도(37.4%)를 나타냈고, 두 번째로는 경추 가동역(27.5%), 세 번째는 전만에 대한 측정 항목(21.2%)으로 나타났다. 다음으로는 골반 균형과 척추 강직 여부로 나타났다. 중요도 분석을 위한 설문은 주로 의료진과 의공학, 헬스케어 전문가를 대상으로 수행한 결과로 전반적으로 가장 교정이 필요하고, 일상생활에 미치는 영향이 큰 항목에 대한 가중치가 중요하게 나타난 것으로 사료된다.

5. Conclusion

본 연구는 디지털 인체 측정을 통해 척추 기능을 평가하고 사용자에게 보다 나은 헬스케어 서비스를 제공하기 위하여 척추 기능과 관련된 인체 측정 항목의 도출과 판정 근거 기준 마련을 위한 체계적 문헌 고찰 연구(SLR)를 수행하였다. 척추 기능에 대한 5가지 사정방법으로 평가하고 결과에 따라 5가지 항목, 경추 가동역, 측만 각도, 전만, 강직 여부, 균형 기능에 대한 척추 건강의 정상과 이상 상태를 판정할 수 있는 데이터 조사 분석연구를 수행하였다. 또한 척추 기능에 대한 통합적인 정보를 제공하여 질환 예방에 대한 효과를 높이기 위하여, 5가지 사정 결과 항목들 간의 중요도 분석을 수행하였다.

본 연구를 통해 도출된 5가지 사정도구의 디지털 인체 측정 항목들은 3차원 깊이 카메라를 활용해 간편하게 측정하고, 척추 기능 상태 정보화 서비스, 사용자의 척추 기능에 따라 맞춤형으로 제공될 수 있는 헬스케어 서비스, 바른 척추 자세를 유도하는 헬스케어 서비스 등 다양한 고객 맞춤형 척추 기능 및 건강 관리 서비스에 활용 가능할 것으로 기대된다. 이처럼 디지털 인체 측정 기술을 개발 적용하려는 본 연구의 노력은 신체 기능 정보의 디지털화를 통해 '기록의 용이성', '측정의 편의성', '데이터의 정량화', '판단의 정확성' 등을 달성하고, 궁극적으로는 사용자에게 제공하는 헬스케어의 효과를 높이는 것을 목적으로 한다.

따라서 향후 연구로 5가지 디지털 인체 측정 알고리즘이 적용된 3차원 깊이 카메라 기술 개발과 본 연구의 중요도 지표를 활용한 통합적인 척추 건강 관리 서비스 연구를 통해 척추 기능에 대한 디지털 헬스케어 서비스 연구를 수행할 계획이다.

본 연구는 척추 기능 위주의 항목을 대상으로 수행되었지만, 측정 항목의 도출, 서비스 정보화, 신체 기능에 대한 판정 근거에 대한 선행연구 고찰에 관한 연구 방법은 신체 기능에 대한 평가를 토대로 건강 관리, 운동 처방 등을 구현하는 헬스케어 서비스 연구와 개발에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

"본 연구는 중소벤처기업부의 혁신기술개발사업 지원에 의한 연구임(과제명: 미러형 척추 기능 평가를 통한 맞춤형 척추 재활 기기·서비스 플랫폼 개발), [과제번호: S3250825]".

References

Adobor, R.D., Rimeslatten, S., Steen, H. and Brox, J., School screening and point prevalence of adolescent idiopathic scoliosis in 4000 Norwegian children aged 12 years, *BMC Scoliosis Journal*, 23(6), 2011.

Andersen, L.L., Saervoll, C.A., Mortensen, O.S., Poulsen, O.,M., Hannerz, H. and Zebis, M.K., Effectiveness of small daily amounts of progressive resistance training for frequent neck/shoulder pain: Randomised controlled trial, *International Association for the Study of Pain*, 152, 440-446, 2011.

Apeldoorn, A.T., Helvoirt, H.V., Meihuizen, H., Tempelman, H., Vandeput, D., Knol, D.L., Kamper, S.J. and Ostelo, R.W., The Influence of Centralization and Directional Preference on Spinal Control in Patients With Nonspecific Low Back Pain, *Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 46(4), 258-269, 2016.

Calvo-Gutiérrez, J., Garrido-Castro, J.L., González-Navas, C., Castro-Villegas, M.C., Ortega-Castro, R., López-Medina, C., Font-Ugalde, P., Escudero-Contreras, A. and Collantes-Estévez, E., Inter-rater reliability of clinical mobility measures in ankylosing spondylitis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 17, 382, 2016.

Cánovas-Ambit, G., García-Vidal, J.A., Martín-San Agustín, R., Dalla-Vecchia, A.A., Sánchez-Barbadora, M. and Medina-Mirapeix, F., Validity and reliability of Veloflex to measure active cervical range of motion in asymptomatic and symptomatic subjects, *PeerJ*,

9, e11228, 2021.

Carrison, D. and Bledsoe, B.E., Why EMS Should Limit the use of Rigid Cervical Collars, Journal of Emergency Medical Services, 2015. https://www.jems.com/patient-care/why-ems-should-limit-use-rigid-cervical/ (retrieved August 01, 2023).

Cho, H.P., Kim, T.K., Kim, T.H., Lee, S.H. and Lee, K.H., Spinal Mobility, Vertebral Squaring, Pulmonary Function, Pain, Fatigue, and Quality of Life in Patients With Ankylosing Spondylitis, *Annals of Rehabilitation Medicine*, 37(5), 675-682, 2013.

Csepregi, E., Gyurcsik, Z., Veres-Balajti, I., Nagy, A., Szekanecz, Z. and Szántó, S., Effects of Classical Breathing Exercises on Posture, Spinal and Chest Mobility among Female University Students Compared to Currently Popular Training Programs, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 3728, 2022.

Digiovanni, R.L., Spondyloarthritis, American College of Osteopathic Internists 2019, https://www.acoi.org/sites/default/files/uploads/DiGiovanniSpondyloarthritis_0.pdf

Du, Q., Zhou, X., Negrini, S., Chen, N., Yang, X., Liang, J. and Sun, K., Scoliosis epidemiology is not similar all over the world: a study from a scoliosis school screening on Chongming Island (China). *BMC Musculoskeletal Disorders*, 17, 303, 2016.

Fallahi, S. and Jamshidi, A.R., Diagnostic Delay in Ankylosing Spondylitis: Related Factors and Prognostic Outcomes, *Archives of Rheumatology*, 31(1), 24-30, 2016.

Feng, M., Liang, L., Sun, W., Liu, G.W., Yin, X., Han, T., Wei, X. and Zhu, L., Measurements of cervical range of motion using an optical motion capture system: Repeatability and validity, *EXPERIMENTAL AND THERAPEUTIC MEDICINE*, 18, 4193-4202, 2019.

Fuellen, G., Jansen, L., Cohen, A.A. Luyten, W., Gogol, M., Simm, A., Saul, N., Cirulli, F., Berry, A., Antal, P., Köhling, R., Wouters, B. and Möller, S., Health and Aging: Unifying Concepts, Scores, Biomarkers and Pathways, *Aging and Disease*, 10(4), 883-900, 2019.

Gündüz, O.H., Özcan-Ekşi, E.E., Giray, E. and Yağci, İ., What Impairs Balance in Ankylosing Spondylitis? Posture or Disease Activity?, *Archives of Rheumatology*, 32(3), 221-226, 2017.

Ha, I.K., Analysis of the Trend of Unmanned Aerial Vehicles by SLR Method, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 43(7), 1107-1115, 2018.

Hardcastle, P. and Nade, S., The significance of the Trendelenburg test, *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 67(5), 741-746, 1985.

Heuft-Dorenbosch, L., Spoorenberg, A., Tubergen, A., Landewé, R., Tempel, H., Mielants, H., Dougados, M. and Heijde, D., Assessment of enthesitis in ankylosing spondylitis, *Annals of the Rheumatic Diseases*, 62(3), 127-132, 2003.

Heymsfield, S., Bourgeois, B., Bennett, K., Sommer, M.J., Li, X. and Shepherd, J., Digital Anthropometry: Critical Review, *European Journal of Clinical Nutrition*, 72(5), 680-687, 2019.

Hsieh, L.F., Wei, J.C.C., Lee, H.Y., Chuang, C.C., Jiang, J.S. and Chang, K.C., Aerobic capacity and its correlates in patients with ankylosing spondylitis, *International Journal of Rheumatic Diseases*, 19, 490-499, 2016.

Kluszczyński, M., Mosler, D. and Wąsik, J., Morphological differences in scoliosis curvatures as a cause of difficulties in its early detection based on angle of trunk inclination, *BMC Musculoskeletal Disorders*, 23, 948, 2022.

Komang-Agung, I.S., Dwi-Purnomo, S.B. and Susilowati, A., Prevalence Rate of Adolescent Idiopathic Scoliosis: Results of School-based Screening in Surabaya, Indonesia, *Malaysian Orthopaedic Journal*, 11(3), 17-22, 2017.

Kong, Y.K., Choi, K.H., Shin, J.M., Kim, J.K., Shim, H.H., Cho, M.U. and Lee, J.H., Study of Neck Fatigue and Flexion-Relaxation Parameters Associated with Forward Head Posture (FHP) Risk Level in VDT Works, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 37(6), 667-679, 2019.

Korean Statistical Information Service Home Page, Frequent Symptom Direct Dispensing Statistics at Pharmacies (2021), Frequent Disease Insurance Spending Statistics (2021), https://kosis.kr/ (retrieved July 04, 2023).

Majeed, F., Tufail, K., Nasir, A.S., Arif, M. and Shafique, Z., Hip Abductor Strength following Total Hip Arthroplasty: A Prospective Study of Lateral Approach in 38 Patients, *Journal of Sharif Medical and Dental College Lahore, Pakistan*, 7(1), 25-29, 2021.

Manafi Rasi, A., Zandi, R., Qoreishi, M. and Habibollahzadeh, A., Magnetic Resonance Imaging Assessment of Hip Abductor after Total Hip Arthroplasty Using a Direct Lateral Approach, *The Archives of Bone and Joint Surgery*, 8(1), 83-88, 2020.

Mekhora, K., Liston, C.B., Nanthavanij, S. and Cole, J.H., The effect of ergonomic intervention on discomfort in computer users with tension neck syndrome, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 26(3), 367-379, 2000.

Memetoğlu, Ö.I., Bütün, B. and Sezer, İ., Chest Expansion and Modified Schober Measurement Values in a Healthy, Adult Population, *Archive of Rheumatology*, 31(2), 145-150, 2016.

Mjaaland, K.E., Kivle, K., Svenningsen, S. and Nordsletten, L., Do Postoperative Results Differ in a Randomized Trial Between a Direct Anterior and a Direct Lateral Approach in THA?, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 477(1), 145-155, 2019.

Oliveira-Souza, A.I.S., Carvalho, G.F., Florêncio, L.L., Fernández-de-las-Peñas, C., Dach, F. and Bevilaqua-Grossi, D., Intrarater and Interrater Reliability of the Flexion Rotation Test and Cervical Range of Motion in People With Migraine, *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 43(9), 874-881, 2020.

Patias, P., Grivas, T.B., Kaspiris, A., Aggouris, C. and Drakoutos, E., Areview of the trunk surface metrics used as Scoliosis and other deformities evaluation indices, *Scoliosis*, 5(12), 2010.

Shin, Y.S., Hong, J.S., Kim, Y.M., Sim, W.J. and Kim, J.H., A Study on the Safety of a Tricycle Tandem for Two Persons for the Elderly and Persons with Disability using Standard Survey and Analytic Hierarchy Process, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 41(2), 77-88, 2022.

Stenneberg, M.S., Rood, M., Bie, R., Schmitt, M.A., Cattrysse, E. and Scholten-Peeters, G.G., To What Degree Does Active Cervical Range of Motion Differ Between Patients With Neck Pain, Patients With Whiplash, and Those Without Neck Pain? A Systematic Review and Meta-Analysis, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98(7), 1407-1434, 2017.

Stevens, W.R., Jo, C.H. and Tulchin-Francis, K., Clinically derived biomechanical criteria for the Trendelenburg test, *Clinical Biomechanics*, 78, 2020.

Suh, S.W., Modi, H.N., Yang, J.H. and Hong, J.Y., Idiopathic scoliosis in Korean schoolchildren: a prospective screening study of over 1 million children. *European Spine Journal*, 20, 1087-1094, 2011.

Tudini, F.T., Myers, B.J. and Bohannon, R.W., Forward flexed posture: reliability and determinants of tragus-to-wall measurement, *Physiotherapy Theory and Practice*, 38(4), 579-586, 2020.

Viitanen, J.V., Kokko, M.L., Heikkilä, S. and Kautiainen, H., Neck mobility assessment in ankylosing spondylitis: a clinical study of nine measurements including new tape methods for cervical rotation and lateral flexion, *British Journal of Rheumatology*, 37(4), 377-381, 1998.

Yılmaz, H., Zateri, C., Ozkan, A.K., Kayalar, G. and Berk, H., Prevalence of adolescent idiopathic scoliosis in Turkey: an epidemiological study, *The Spine Journal*, 20(6), 947-955, 2020.

Yoon, S.H. and Lee, S.C., A Systematic Literature Review on the Effects of Non-Driving Tasks on the Takeover Process in Highly Automated Driving, *Journal of Ergonomic Society Korea*, 42(1), 1-14, 2023.

Xiao, Y. and Watson, M., Guidance on Conducting a Systematic Literature Review, *Journal of Planning Education and Research*, 39(1), 93-112, 2017.

Author listings

Jong Hyun Kim: ddalki@kitech.re.kr
Highest degree: M.Sc., Industrial Design Engineering, Korea University of Technology and Education
Position title: Senior Researcher, Digital Healthcare R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology
Areas of interest: Usability Evaluation, Product Service System

Chang Gi Lee: leechangki@kitech.re.kr
Highest degree: MS, Electronics Information Engineering, Korea University
Position title: Researcher, Digital Healthcare R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology
Areas of interest: Human-product Interaction, Monitoring System, Usability Evaluation

Kwang Tae Jung: ktjung@kut.ac.kr
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, KAIST
Position title: Professor, Department of Industrial Design Engineering, KOREATECH
Areas of interest: Ergonomic design, UI/UX