

증강현실 재활 시스템과 물리치료사 측정 간의 신뢰도 및 타당도 비교

유재호*, 강혜윤*, 네칼 대국 마키세*
*선문대학교 물리치료학과

e-mail:naresa@sunmoon.ac.kr, rkdgpdb015@naver.com, daekooknek@gmail.com

Comparison of reliabilities and validity between AR based motion capture system and physical therapist

Jae-Ho Yu*, Hye-Yun Kang*, Nekar Daekook M*
*Dept. of Physical Therapy, Sunmoon University

요약

증강현실 재활 시스템은 실전에 적용이 가능하고 초보자가 사용하기에도 어렵지 않은 재활 프로그램을 제공하고 동작 캡처 센서가 내장되어 있어 관절가동범위 측정의 대안으로 사용할 수 있다. 이번 연구는 증강현실 재활 시스템을 사용하여 증강현실을 기반으로 한 관절가동범위의 측정과 각도계를 이용한 치료사의 관절가동범위의 측정 값의 차이를 비교하기 위한 것이다. 어깨관절 벌림, 어깨관절 굽힘, 어깨관절 가쪽돌림에 대한 3개의 상지 운동과 무릎관절 펴, 엉덩관절 벌림에 대한 2개의 하지 운동 및 몸통 굽힘을 측정하였다. 피험자의 능동관절범위운동에서의 오차를 방지하기 위해 증강현실 재활 시스템과 치료사의 측정을 동시에 수행하였다. 어깨관절 가쪽돌림과 몸통 굽힘을 제외하면 증강현실 재활 시스템과 치료사의 측정 값의 유의한 차이가 없었다. 피험자와 측정 대상 관절이 센서에서 정확히 인식된다면, 증강현실을 기반으로 한 관절가동범위의 측정 도구로 증강현실 재활 시스템은 관절가동범위 측정의 대안으로 좋은 전망을 기대할 수 있다.

1. 서론

관절가동범위란 관절이나 관절 주위의 움직임으로 평가하는 것으로 알려져 있다. 정상적인 관절가동범위의 움직임은 큰 노력없이 효율적으로 움직일 수 있도록 도와주는 역할을 하며, 사람의 움직임에 중요한 역할을 한다[1]. 또한, 관절의 기능부전을 평가하고 근골격계 구조의 결손이나 손상을 진단하기 위하여 사용하는 주요한 척도의 하나이다. 관절가동범위의 평가는 관절과 근육의 한계뿐만 아니라 부상의 위험도 식별할 수 있기 때문에 신체적 평가의 중요한 구성요소라고 할 수 있다. 또한 재활프로그램 중 회복 진행 상황을 판단하는 참고 자료로도 활용된다. 재활분야에서는 의사, 물리치료사, 접골사, 기타 의료전문가 등이 각도계를 사용하여 관절가동범위를 측정한다[2].

각도계는 물체를 위치로 회전시키거나 각도를 측정하는 도구로 정의된다. 특히 임상영역과 재활영역에서 수십년 동안 관절각도계는 관절의 제한 각도를 정량화 하고, 적절한 중재 프로그램을 결정하거나, 개입된 중재의 효과를 평가하기 위한 도구로 사용되었다. 많은 선행연구는 각도계 측정을 표준적인 근거로 사용하는 것을 강조하였으며, 관절가동범위를 측정하는 가장 유용하며 유효하고, 객관적인 방법으로 간주되어 왔다[3]. 하지만, 각도계 측정은 측정하는 사람 등 여러 요인에 의해 영향을 받을 수 있으며, 관절의 축과 이를 유지하는 능력 및 뼈의 대표적인 구조 위치 등을 알아야한다[7]. 게다가, 최근의 일부 연구에서는 각도계를 이용한 관절가동범위의 측정과 타당성 및 정확성에 대해 의문을 제기하고 있다[8]. 그로인해 관절각도계의 정확성과 타당성을 높이기 위해 임상 분야에 다양한 대체 방법을 적용했다. 선행연구에서 전자각도계의 신뢰성, 유효성, 유용성을 평가하였고, 전자 각

도계를 평가하였다. 또한 관성 감각 시스템은 관절가동범위를 평가할 수 있는 신뢰할 수 있는 측정 도구인 것으로 밝혀졌다[12].

최근 재활분야에서 가상현실(VR), 증강현실(AR), 컴퓨터, 스마트폰 애플리케이션 등 신기술 활용이 증가함에 따라 스마트폰 각도계를 비롯한 새로운 방법들이 계속 등장하고 있다[7]. Milani 등이 실시한 연구에 따르면 현재 존재하는 스마트폰 애플리케이션 중 재활에 사용 가능한 의료 애플리케이션은 약 4만개에 이른다고 말했다. 몇몇 연구에 따르면 기존의 수동 각도계보다 애플의 각도계와 스마트폰 사진이 정확도와 신뢰성이 약간 높다는 결과가 나왔다[13]. 그럼에도 불구하고 스마트폰 애플리케이션은 몸통 움직임과 같은 특정 움직임을 측정할 때 표준 각도계와 차이를 보인다. 이러한 이유 때문에 아직은 스마트폰 애플리케이션과 각도계를 서로 바꿔서 사용하기 어렵다[16]. 또한, 동작 포착 시스템은 추적 마커를 사용하여 관절가동범위를 측정하는 데에 사용되었다. 이러한 장치는 일반적으로 추적 마커를 위하여 측정 중에 전자기 또는 광전자 장치를 사용한다. 하지만 이러한 시스템은 비용이 많이 들고 복잡한 설정을 필요로 하며, 관절가동범위 측정에 유효한 도구인지 아직 증명되지 않았다[18]. 따라서 의료 전문가들을 돕기 위하여 비용이 저렴하며 유효하고 관리하기 쉬운 측정 도구 또는 응용 프로그램이 필요하다.

따라서 본 연구의 목적은 증강현실 기반의 측정도구를 사용하여 관절가동범위를 측정할 때 검사자간 신뢰도와 검사자 내 신뢰도, 유효성을 평가하고 그 신뢰성을 표준 관절각도계와 비교하는 것이다.

1. 방법

2.1 연구 설계

본 연구는 치료사가 전 세계적으로 사용하는 각도계에 비하여 증강현실을 기반으로 한 측정도구인 증강현실 재활 시스템의 관절가동범위 측정의 유용성과 타당성을 평가하는 사례 보고서이다.

2.2 참가자

본 연구는 남녀의 신장별 측정결과를 비교하기 위해 건강한 성인 남자 3명, 여자 3명, 총 6명으로 구성되었다. 남자는 160cm, 170cm, 180cm의 신장을 가진 사람으로 선정되었으며, 여자는 150cm, 160cm, 170cm의 신장을 가진 사람으로 선정되었다. 대상자 선정 기준은 관절의 구축 등 관절에 대한 질환을 가지지 않은 사람, 정상 관절가동범위 내에서 완전한 운동이 가능한 사람을 포함하였다. 제외기준은 관절의 구축 등 관절에 대한 질환을 가지고 있는 사람, 정상 관절가동범위 내에서 완전한 운동이 불가능한 사람, 정상 관절가동범위 내에서 완전한 운동이 가능하지만 통증이 나타나는 사람, 능동관절운동이 불가능한 사람은 제외되었다.(표 1)

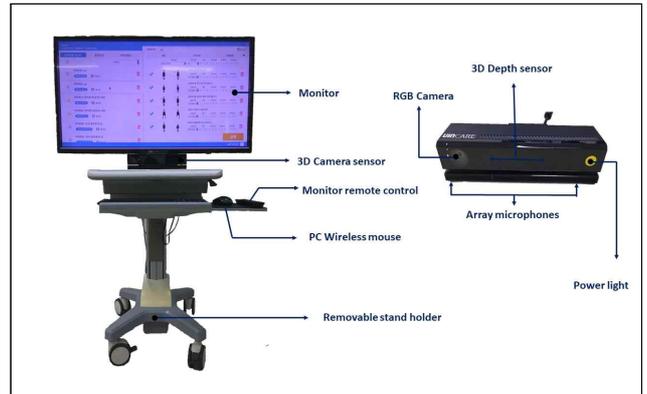
표 1. 참가자들의 일반적 특성

신장(cm)	나이	성별
150	23	여
160	23	여
170	24	여
160	30	남
170	26	남
180	24	남

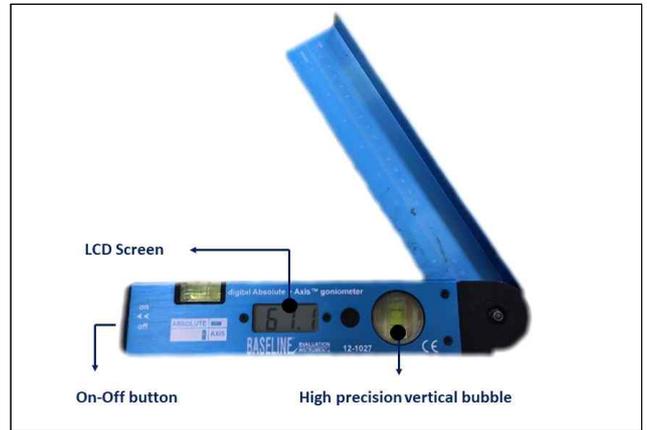
2.3 연구 도구

본 연구에서는 LCD 화면에 0°~180°가 나타나는 Baseline® Digital Absolute Axis™ Goniometer 12-1027 라는 각도계를 사용하였다. 측정 자세의 단순함과 측정 결과가 화면을 통하여 명확하게 나타나는 디지털 각도계를 위하여 선택되었다. 증강현실 기반 재활시스템 (유인케어-82B, Korea, 유인케어, 2016)는 하지와 상지에 대한 여러 재활 운동이 포함되어 있으며 실시간으로 피드백이 가능한 디지털 의료 시스템이다. 프로그래밍된 작업이 제대로 수행되거나 잘못된 작업이 수행될 때 시각 및 청각적인 안내가 적용되어 피험자가 적절하고 즉각적인 피드백을 받을 수 있다. 이 장치는 일반 PC, 3D 모션 분석 센서 및 소프트웨어라는 세가지의 주요 구성요소가 포함된다. 키넥트 카메라의 적외선 및 모션 캡처 기술을 사용하여 신체 움직임을 실시간으로 감지 및 인식하고, 운동 가이드를 제공하며 3차원 공간에서의 움직임을 기록 및 측정한다. 수집된 모든 정보와 데이터를 PC에 저장하여 쉽게 관리 할 수 있다. 본 연구에서 사용된 장비는 3.1GHz Intel Core i5 및 8GB RAM과 소프트웨어 UINCARE-82B가 설치

된 Window 8에서 작동하는 컴퓨터에서 실행되었다. 사용된 모니터는 1920x1080 (Full HD) 해상도로 제조된 Whestinghouse WH40BSAC이다. 기기의 외관과 세부 사항은 아래 그림 1~2에 나타내었다.



[그림 1] 증강현실 기반 재활 시스템

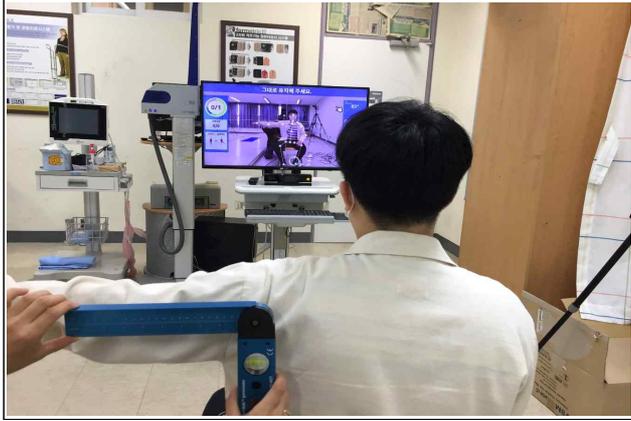


[그림 2] 전자 각도계

2.4 연구 절차

대상자는 증강현실을 기반으로 한 평가도구인 증강현실 재활 시스템을 통하여 관절가동범위를 능동적으로 측정하였다. 피험자의 동작에서 최대한의 오차를 줄이기 위하여 치료사는 대상자가 증강현실 재활 시스템을 통하여 관절가동범위를 측정하는 동시에 관절가동범위 측정을 진행하였다. 동작의 구성은 유인케어에서 어깨관절 벌림, 어깨관절 굽힘, 어깨관절 가쪽돌림, 무릎관절 펴, 몸통 굽힘, 엉덩관절 벌림으로 최대한 전신의 관절가동범위를 측정할 수 있는 동작들로 구성하였다. 어깨관절 벌림은 앉은 자세에서 어깨관절의 해부학적 자세 0°에서 시작하여 90°의 벌림위치까지 도달하는 자세로 측정하였다. 어깨관절 굽힘은 앉은 자세에서 해부학적 자세 0°에서 시작하여 180°의 굽힘위치까지 도달하는 자세로 측정하였다. 어깨관절 가쪽돌림은 앉은 자세에서 어깨관절 90° 벌림, 팔꿈관절 90° 굽힘 자세에서 시작하였으며, 유인케어 모니터 상에서 대상자의 손이 대상자의 귀 위치에 도달하는 자세까지 측정하였다. 무릎관절 펴는 앉은 자세에서 무릎관절이 90° 굽힘 상태에서 시작하였으며, 대상자의 발바닥이 모니터에

보일 수 있도록 무릎관절을 완전히 펴는 자세를 측정하였다. 몸통 굽힘은 앉은 자세에서 대상자의 마루뺨이 모니터에 보일 수 있도록 완전히 굽히는 자세를 측정하였다. 엉덩관절 벌림은 선 자세에서 측정하고자 하는 반대편의 손으로 의자를 잡고 엉덩관절의 해부학적 자세 0°에서 시작하여 50°의 벌림위치에 도달하는 자세까지 측정하였다. <그림 3>



[그림 3] 측정 시 모습

2.4 통계

통계 프로그램은 SPSS version 22.0을 사용하였다. 대상자의 수가 정규성 검증을 통과하지 못하여 비모수 통계방법인 ‘wilcoxon bimon’s’를 사용하였으며, 비모수 검정을 사용하였기 때문에 사후검정은 진행하지 않았다. 모든 통계의 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였다.

2. 결과

어깨관절 가쪽돌림과 몸통 굽힘은 유의한 차이가 있었다 ($p < .05$). 하지만 어깨관절 가쪽돌림과 몸통 굽힘을 제외한 나머지 네 개의 동작에서는 유의한 차이가 없었다 ($p > .05$). (표 2)

표 2. ‘wilcoxon bimon’s’를 통한 통계 결과

동작	치료사	유인케어	z값	p값
어깨관절 벌림	95.40±4.88	96.46±8.59	-1.105	.917
어깨관절 굽힘	162.25±17.14	155.85±14.37	-1.153	.249
어깨관절 가쪽돌림	70.50±6.46	78.91±7.08	-2.201	.028*
무릎관절 펴	2.91±1.78	2.51±1.11	-.674	.500
엉덩관절 벌림	95.28±9.08	69.55±16.33	-1.992	.046*

* $p < .05$

3. 고찰

본 연구의 목적은 관절가동범위 측정을 위한 증강현실 재활 시스템의 유효성과 적절성을 평가하여 표준 각도계와 비교하는 것이었다. 우리의 가설은 두 가지의 방법이 유의한 차이가 없을 것이라는 것이었다. 주요 연구 결과는 어깨관절 가

쪽돌림과 몸통 굽힘을 제외한 모든 동작에서 두 측정 방법 간에 유의한 차이를 보이지 않았으므로 가설이 옳았다고 말할 수 있다.

어깨관절 가쪽돌림은 앉은 자세에서 측정을 실시하였다. 우리가 측정에 사용한 도구에서 동작의 시작 자세는 어깨관절 90° 벌림, 팔꿈치관절 90° 굽힘이다. 이 동작에서 치료사가 관절가동범위를 측정할 때의 축은 자뼈의 팔꿈치머리돌기로 설정하고, 운동팔은 자뼈의 장축과 평행하게 설정하였다[19]. 하지만 유인케어는 피험자의 손과 자뼈의 팔꿈치머리돌기, 어깨뼈의 봉우리돌기를 인식하여 센서를 설정하였다. 선행연구에 따르면 어깨관절의 관절가동범위의 측정은 대상작용을 제어했는가, 능동관절가동범위를 측정하였는가, 수동관절가동범위를 측정하였는가에 따라 다양한 결과를 가져올 수 있다고 하였다[20]. 따라서 동작을 실시할 때, 대상자의 손목 펴기 발생하여도 증강현실 재활 시스템은 그 동작조차 어깨관절의 가쪽돌림으로 인식하게 되어 결과값에서 유의한 차이가 발생하였다는 것을 알 수 있다.

증강현실을 기반으로 한 원격재활프로그램은 치료사/검사자에게 바쁜 시간 속에서 시간을 절약할 수 있는 이점을 제공하며, 의료시설에서 고립된 지역에도 적절한 의료환경을 제공할 수 있으며 비용을 절감할 수 있다. 게다가, 치료사/검사자는 양손을 활용할 수 없는 상황이 생길 수도 있고, 각도계를 특정 위치에 올바르게 정렬하지 못하여 관절가동범위 측정 시 결과에 영향을 미칠 수 있다[22]. 그러나 이러한 상황에서 유인케어의 사용은 치료사/검사자가 자유로워지고 대상자의 움직임 패턴을 관찰 할 수 있도록 도움을 줄 수 있다. RehabGesture 및 KinectSpace와 같은 잘 알려진 원격 재활 프로그램은 키넥트 센서를 사용하여 동작, 움직임을 인식하고 피험자에게 시각적 피드백을 제공할 수 있다[23]. 그러나 선행된 연구에서는 이러한 소프트웨어가 동작을 수행할 때 진행 중인 움직임에 대하여 상세한 글로 된 설명과 음성 안내를 제공한다는 것은 언급되지 않았다. 증강현실 재활 시스템은 대상자가 안내된 움직임을 올바르게 수행할 수 있도록 동작 시연과 글로 된 설명, 음성 안내도 제공한다.

관절가동범위를 측정하려면 치료사/검사자가 각 관절의 구조와 기능, 측정 자세, 뼈의 해부학에서 대표적인 구조, 각도계의 정렬, 정상 끝느낌을 알고 결과를 올바르게 기록할 수 있어야 한다[24]. 그럼에도 불구하고 유인케어에 내장된 센서는 대상자가 동작을 실행할 때 축과 움직임 팔을 자동으로 인식하고 표시한다. 따라서 측정의 잠재적 오류의 가능성이 적어진다. 더욱이 기계의 설정변수는 잘 구조화 되어 있으며 조작이 매우 용이하다. 원하는 동작을 선택하고 클릭하는 것만으로도 관절가동범위를 측정할 수 있으며, 치료사/검사자는 정확하고 신뢰할 수 있는 검사자료를 얻기 위하여 이전의 임

상경험이나 다른 컴퓨터 기술을 필요로 하지 않는다.

선행된 연구에 따르면, 키넥트 센서는 관절의 축, 운동팔, 고정팔을 인식할 수 있으며 키넥트 센서는 대상 접합부, 축 이동 접합부를 인식 및 발견하기 어려울 수 있다. 또한 이 센서의 정확도는 대상자의 센서의 상대적인 거리에 의해 영향을 받을 수 있다 Seo 등은 키넥트의 정확도는 움직임에 따라 달라지고, 키네틱 센서도 그에 따라 달라져야 한다고 덧붙였다[25]. Galna 등은 박수치기, 발가락 움직이기 등 미세한 움직임을 통해 뼈의 주요 구조물을 인식하지 못하는 키넥트 센서의 한계를 이용하여 키넥트 센서의 부정확성을 설명하려고 노력하였다[26]. 또한 본 연구에서는 타이트한 옷을 입지 않은 사람은 표적 관절을 인식하지 못하는 어려움이 있었고, 검사자가 관절가동범위를 각도계로 측정할 때 센서가 대상자만 인식하지 않는 어려움이 있었다. 즉, 카메라의 화면에 두 사람이 있을 때는 정확하게 인식하는 것이 어려워진다. 이는 앉은 자세에서 몸통 굽힘을 측정 한 결과 유인케어와 각도계 사이의 유의한 차이를 설명할 수 있다. 앉은 자세에서 몸통을 굽히는 동안 시상면에서의 움직임이 수행되면서 센서에 영향을 미쳐 몸통 움직임을 뚜렷하게 포착할 수 없었다.

우리의 연구에는 몇 가지의 제한점이 존재한다. 먼저 센서는 측정 대상자의 전신을 인식해야 했기 때문에 대상자별로 유인케어와의 거리가 달랐다. 두 번째는 대상자의 옷에 따라 센서의 이상이 존재하였다. 마지막으로 센서가 대상자가 아닌 엉덩관절 벌림을 측정하기 위하여 가져다 놓은 의자를 인식하기도 하였다. 따라서 관절가동범위를 측정하는 증강현실 연구에 대한 후속 연구를 위해 우리는 몇 가지를 제안하는 바이다. 첫째, 대상자의 옷은 타이트한 옷이나 측정 대상 관절이 노출된 옷으로 제한되어야 한다. 둘째, 능동관절가동범위 측정 중 보상작용을 제한하는 방법을 고려하여야 한다. 셋째, 센서가 오류나 우연으로 인하여 이상이 발생하지 않도록 주의하여야 한다.

참고문헌

[1] Reese, Bandy, and Falk. "Measurement of range of motion and muscle length: background, history, and basic principles.", *Joint range of motion and muscle length testing*, 2nd ed. St Louis: Saunders Elsevier, pp. 3-30, 2010년.

[2] Gandbhir, and Bruno. "Goniometer." 2020년.

[3] Gajosik, and Richard, "Clinical measurement of range of motion: review of goniometry emphasizing reliability and validity.", *Physical therapy* 67.12, pp. 1867-1872, 1987년.

[4] Milanese, and Steven, et al. "Reliability and concurrent validity of knee angle measurement: smart phone app

versus universal goniometer used by experienced and novice clinicians." *Manual therapy* 19.6, pp. 569-574, 2014년.

[5] Meislin, Megan, Eric. Wagner, and Alexander. "A comparison of elbow range of motion measurements: smartphone-based digital photography versus goniometric measurements." *The Journal of hand surgery* 41.4, pp. 510-515, 2016년.

[6] Cuesta-Vargas, Antonio., Alejandro, and Jonathan. "The use of inertial sensors system for human motion analysis." *Physical Therapy Reviews* 15.6, pp. 462-473, 2010년

[7] Milani, et al. "Mobile smartphone applications for body position measurement in rehabilitation: a review of goniometric tools." *PM&R* 6.11, pp. 1038-1043, 2014년

[8] Furness, et al. "Reliability and concurrent validity of the iPhone® Compass application to measure thoracic rotation range of motion (ROM) in healthy participants." *PeerJ* 6, pp. e4431, 2018년.

[9] Medina-Mirapeix, et al. "An Optoelectronic System for Measuring the Range of Motion in Healthy Volunteers: A Cross-Sectional Study." *Medicina* 55.9, pp. 516, 2019년.

[10] Lee, Seung Hak, et al. "Measurement of shoulder range of motion in patients with adhesive capsulitis using a kinect." *PloS one* 10.6, pp. e0129398, 2015년.

[11] Kim, and Yoo. "The Effects of Scapular Stabilization Exercise before Rotator Cuff Repair on Pain and ROM of Middle-aged Women." *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine* 2.1, pp. 63-76, 2014년.

[12] Mullaney, et al. "Reliability of shoulder range of motion comparing a goniometer to a digital level." *Physiotherapy theory and practice* 26.5, pp.327-333, 2010년.

[13] Brandao, et al. "RehabGesture: an alternative tool for measuring human movement." *Telemedicine and e-Health* 22.7, pp. 584-589, 2016년.

[14] Norkin, and Joyce. *Measurement of joint motion: a guide to goniometry*. FA Davis, 2016년.

[15] Seo, et al. "Modifying Kinect placement to improve upper limb joint angle measurement accuracy." *Journal of Hand Therapy* 29.4, pp. 465-473, 2016년.