Journal of the Korea Convergence Society
Vol. 11. No. 3, pp. 119-126, 2020

ISSN 2233-4890 / eISSN 2713-6353
https://doi.org/10.15207/JKCS.2020.11.3.119

관성 측정 장치의 융합연구 형태와 방법에 관한 체계적 고찰

이혜식[1], 박혜연[2*]
[1]연세대학교 일반대학원 작업치료학과 석·박사 통합과정
[2]연세대학교 보건과학대학 작업치료학과 교수

Systematic Review on the Type and Method of Convergence Study of Inertial Measurement Unit

Hey-Sig Lee[1], Hae-Yean Park[2*]
[1]Joint(M.S. & Ph.D) Course, Dept. of Occupational Therapy, Graduate School of Yonsei University
[2]Professor, Dept. of Occupational Therapy, College of Health Science, Yonsei University

요 약 본 연구의 목적은 관성 측정 장치(Inertial Measurement Unit, IMU)의 융합연구 형태와 방법에 대한 연구를 체계적 문헌고찰 방법으로 분석하여 IMU의 형태와 방법에 대한 경향을 파악하고자 한다. 연구수행은 PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)가이드라인을 이용하여 수행되었다. 3개의 데이터베이스에서 검색된 630편 중 최종적으로 선정기준에 부합하는 23편을 선정하였다. 본 연구결과 전 세계적으로 IMU를 사용한 다양한 연구를 진행하고 있음을 알 수 있었고, IMU의 형태는 스트랩, 전신 슈트, 벨트, 손목시계, 신발, 장갑이 있었다. 이 중, 스트랩 형태의 IMU가 11편으로 가장 많았다. IMU의 장점인 간소화와 실시간 데이터 수집, 적용의 쉬움으로 작업 활동, 보행, 관절 가동 범위 등의 측정 방법으로 사용되었다. 본 연구의 결과는 IMU의 연구를 진행하는 의료 및 재활 분야의 전문가들에게 기초 자료로 활용될 수 있으리라 기대된다.

주제어 : 경향, 관성 측정 장치, 센서, 융합연구, 체계적 고찰

Abstract The purpose of this study is to identify trends in the type and method of Inertial Measurement Unit (IMU) by investigating studies on the type and method of convergence study of the IMU by systematic review. The study was conducted using PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines. 23 studies that meet the selection criteria were selected from 630 studies identified by three databases. As a result of this study, showed that various research using IMU was being conducted around the world, and the type of IMU was strap, full body suit, belt, wrist watch, shoes and glove. Among them, the number of strap-type IMUs was the largest at 11. The IMU's strengths were simplicity, real-time data collection and ease of application, which were used as measurement methods such as task, walking, and range of joint. The result of this study is expected to be used as basic data for experts in the medical and rehabilitation fields that conduct IMU research.

Key Words : Trend, IMU, Sensor, Convergence Study, Systematic review

*This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea(NRF-2018S1A3A2074904)
*Corresponding Author : Hae Yean Park(haepark@yonsei.ac.kr)
Received December 23, 2019 Revised March 4, 2020
Accepted March 20, 2020 Published March 28, 2020

1. 서론

현재의 재활은 신체적, 인지적, 정신적 즉, 다면적인 관점에서 이루어지고, 대상자의 현상을 정확히 파악하기 위해서는 평가가 실시된다. 재활 분야에서 대상자의 평가는 중요한데, 그 이유는 대상자의 평가에 대한 근거를 기반으로 재활 목표가 정해지기 때문이다[1]. 다면적인 관점은 평가자 개인의 주관이 대상자의 평가에 영향을 미칠 수 있음을 뜻하고, 이는 평가가 객관적으로 정량화되지 못함을 의미한다[2]. 이러한 이유로 평가자가 직접 관찰하여 평가하는 전통적 방법에서 벗어나 객관적인 정량화가 가능한 장비를 사용하여 평가하는 것은 매우 중요하다[3].

대상자 동작 및 행동 분석의 정량화를 위한 장비에는 동작 분석 장치(Motion Analysis System)가 있다. 동작 분석 장치는 센서들을 이용하여, 움직이는 대상의 방향, 속도, 가속도 등의 데이터를 측정하고 수집한다[4]. 가장 대표적인 동작 분석 장치는 대상자의 움직임을 영상으로 녹화하고 분석하는 장치이다. 다수의 카메라로 영상 녹화를 할 수 있는 환경에서, 카메라가 대상자의 동작을 인식하고 분석하도록 대상자는 마커를 부착한다[5]. 이러한 방법은 다수의 카메라를 통해 다양한 방향에서 움직임에 대한 데이터를 수집할 수 있어서 비교적 정확한 방법으로 여겨진다. 하지만 영상 분석 방법은 실시간으로 데이터 분석이 어렵고, 다수의 카메라를 설치 할 일정 규모 이상의 공간이 필요하고, 측정 장비들이 고가의 가격대를 가지므로 일반적인 재활 기관에서 사용하기에는 어려움이 따른다. 이러한 단점들을 보완하기 위해, 관성 측정 장치(Inertial Measurement Unit; IMU)가 도입되었다. IMU는 가속도계와 각속도계, 지자기계를 측정하는 센서로 이루어져 있다. 초기에는 주로 위성이나 비행기의 항법장치 등에 사용되었지만, 현재는 스포츠, 인체의 움직임 분석 등에서도 사용되는 중이다[6,7].

기존의 영상 분석 방법과 같은 고가의 장비와 제한적인 환경이 필요하다는 단점을 보완한 IMU가 사용됨에 따라, 재활 분야에서도 IMU를 활용한 다양한 연구가 진행되고 있다. 재활 분야에서의 IMU의 사용은 크게 상지 운동 측정과 보행 분석을 위한 하지 운동 측정, 파킨슨병(Parkinson disease)과 같은 특정 질환의 증상 측정으로 나뉜다. 국내외의 현행 연구로는, 상지의 기능적 재활을 위해 IMU를 사용한 시스템 개발 연구[8], 상지 재활을 위한 IMU 기술이 도입된 재활 로봇 연구[9], IMU가 부착된 신발로 환자의 보행 분석 연구[10], 실외 작업 시 실시간 보행 분석 연구[11], 파킨슨병의 증상을 평가하는 연구[12], 다발성 경화증 환자의 이상 자세 관찰 연구[13] 등이 보고되었다. 그 외에도 일반적인 신체적 부상이나 산업재해로 인한 장애를 가진 사람들의 보행보조기구에 IMU를 부착해 재활치료의 효과를 높일 수 있다[14].

이와 같이 IMU는 재활 분야에서 다양하게 연구되어지고 있다. 특히, 객관적인 정량화가 필요한 움직임 평가에서 IMU의 필요는 높아지고 있다. 그러므로 재활 분야의 보건 의료 전문가는 IMU에 대한 지식을 습득하여 재활 서비스를 받는 대상자에게 적용할 필요가 있다. 하지만 현재 국내 연구 중 IMU의 형태와 방법에 관한 체계적 고찰을 진행한 연구는 없었다. 이에 본 연구에서는 IMU의 개념과 임상에서 사용되어지는 IMU의 형태 및 방법에 대해 분석하고, IMU의 경향을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 문헌검색전략

본 연구는 관성 측정 장치(Inertial Measurement Unit; IMU)의 형태와 방법에 대한 융합연구들을 PRISMA(Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) 가이드라인[15]을 이용하여 분석한 체계적 문헌고찰이다.

2.1.1 문헌검색 데이터베이스 및 검색어

IMU에 관한 최근 5년 동안(2014년도-2019년도) 게재된 연구들을 검토하기 위해 2019년 10월 28일부터 11월 8일 까지 국외 데이터베이스 PubMed, CINAHL, PsycINFO를 사용하여 문헌을 수집하였다. 검색어는 “IMU OR Inertial Measurement Unit”을 사용하여 국외 학술지에 게재된 논문을 검색하였다.

2.1.2 논문 선정기준

2014년부터 2019년까지 약 5년 동안 국외 학술지에 게재되어 온라인 상으로 문헌 접근이 가능한 연구를 포함기준으로 정하였다. 또한, IMU의 대상자와 목적, 방법 그리고 결과에 대한 사실을 제시한 논문을 포함기준으로 정하였다. 반면 IMU의 구체적인 방법과 결과가 제시되지 않은 경우와 영어로 작성되지 않은 경우, 온라인 상으로 전문 확인이 불가한 연구는 제외하였다.

2.2 문헌선택과정

문헌 수집과 선별은 저자 2명이 개별적으로 검토 후 진행하였다. 검토 방법은 데이터베이스에서 수집된 문헌에 대해 1차적으로 제목과 초록을 검토하여 선별한 후, 2차적으로 원문 검토를 통해 선정기준에 만족하는 문헌 23편을 최종적으로 선정하였다. 검토된 문헌에 대해 저자간의 의견이 불일치하는 경우, 문헌 재검토 및 논의를 통해 의견의 일치를 보았다. 수집, 선별 과정은 Liberati 등이 제시한 문헌 수집, 선별 방법인 PRISMA 흐름도를 통해 진행하였다.

2.3 문헌의 질적 수준 분석

본 연구에 선정된 문헌의 질적 수준을 분석하기 위해 Arbesman, Scheer와 Lieberman이 개발한 근거수준 5단계 모델[16]을 사용하였다. 가장 높은 근거수준인 Level 1(메타분석, 체계적 고찰, 무작위대조실험연구)부터 Level 5(사례연구)까지 있어 이에 따라 연구들을 분석하였다.

3. 결과

3.1 분석대상 논문의 선택 및 특성

본 연구에서 체계적 고찰을 위한 논문을 국외 데이터베이스에서 검색한 결과, 681개의 논문 중 중복된 논문 51개를 제외하여 총 630개의 논문이 검색되었다. 검색된 630개의 논문에서 1차적으로 제목과 초록을 통해 선정 기준에 부합하지 않는 451개의 논문을 제거하였다. 1차적 검토를 통해 선별된 179개는 2차적으로 원문검토를 통해 재선별하였다. 관성 측정 장치의 형태와 방법에 대한 연구가 아닌 논문(n=115), 연구결과가 기재되지 않은 논문(n=40), 원문 접근이 불가한 논문(n=1), 총 156개를 제외하였다. 최종적으로 23개의 문헌이 최종 선정되었다. (Fig. 1 참고)

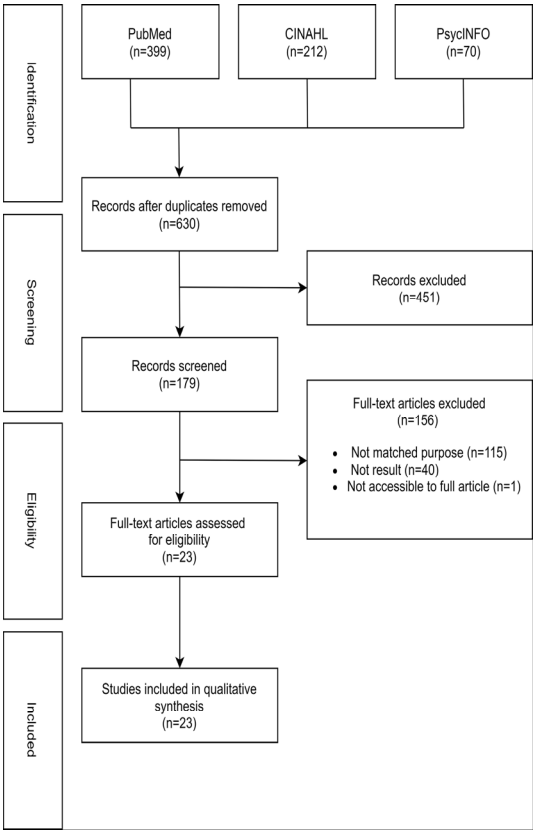

Fig. 1. PRISMA Flow Diagram for Study Selection

3.2 문헌의 질적 수준 분석

본 연구에서 최종적으로 선정된 28편의 문헌에 대한 질적 수준 분석은 Arbesman, Scheer와 Lieberman(2008)에 의해 개발된 근거수준 5단계 모델을 사용하여 실시되었다. 최종 선정된 28편의 문헌에 대한 연구의 질을 분석한 결과 가장 높은 수준의 근거인 1단계에 해당하는 연구는 2편(8.7%)이었고, 2단계 8편(34.78%), 3단계 13편(56.52%)이었다. 각 문항에 대한 결과는 다음과 같다. (Table 1 참고)

Table 1. Level of Evidence

Evidence Level	Study design	n(%)
1	Randomized Controlled Trials	2(8.7)
2	Two groups, non-randomized studies	8(34.78)
3	One group, non-randomized studies	13(56.52)

Table 2. Characteristic of the Studies

No.	Author (year)	Nation	Age (n)	Attachment part	Method	Outcome	Type
1	Anwary et al. (2018)	UK	69.4 (10)	-two foot	-walking distance	Gait Asymmetry	strap
2	Armstrong et al. (2018)	USA	48.75 (4)	-trunk -the center of the rear cross bar of the wheelchair	-trunk angle -return time to erect	-Collisions -Turns	strap
3	Barrois et al. (2016)	France	70.9 (48)	-head -lower back(L3-L4) -both feet	-9 walking trials	The Western Ontario and MACmaster Universities osteoarthritis index	strap
4	Barrois et al. (2017)	France	57.5 (17)	-body	-walking	Turning strategies	strap
5	Camps et al. (2018)	Spain	69.29 (21)	-waist	-several ADL	Freezing of gait episodes	belt
6	Dai et al. (2015)	China	72.75 (8)	-hand	-hand grasping range	Bradykinesia assessment system	glove
7	Delrobaei et al. (2016)	Canada	63.69 (13)	-upper limbs	-joint angle	Bradykinesia index	suit
8	Delrobaei et al. (2018)	Canada	65.28 (22)	-body	-sitting	Unified parkinson's disease rating scale	suit
9	Han et al. (2019)	Korea	26.2 (80)	-foot	-walking	-Phase coordination index -Gait asymmetry	shoes
10	Hausamann et al. (2019)	Germany	21-28 (10)	-head -trunk	-calibration routine	Head stabilization	strap
11	Kianifar et al. (2017)	Canada	30.8±5.5 (14)	-dominant leg -waist	-joint angle	Single leg squat	strap
12	Kitagawa & Ogihara (2016)	Japan	23.0±1.0 (10)	-dorsum of the foot	-stride length	Walking	strap
13	Leuenberger et al. (2017)	Switzerland	52.7±13.6 (10)	-wrist	-activity count -gross arm movement	Box and Block Test	wrist watch
14	Lukšys et al. (2018)	Lithuania	61.53 (19)	-upper extremity	-motor tasks	Unified parkinson's disease rating scale	strap
15	Memar et al. (2018)	Canada	45-85 (30)	-body	-walking	-Sit-to-stand bradykinesia index -Walking bradykinesia index	suit
16	Nam et al. (2019)	Korea	23-35 (10)	-upper body -each arm -each hand including the fingers	-ADL tasks	Action research arm test	strap
17	Nguyen et al. (2017)	Canada	67±6 (12)	-full body	-walking 5-10m	Timed Up and Go task	suit
18	Özinga et al. (2017)	USA	62.9±8.3 (14)	-body	-Sensory Organization Test	-Center of mass -Sensory Organization Test	suit
19	Pau et al. (2014)	Italy	=>65 (17/17)	-waist(L4-L5)	-walking	Vigorous & Light physical activity	belt
20	Sgrò et al. (2017)	Italy	9.17±0.97 (64)	-lower back(L3-L4)	-jumping	Standing Long Jump	belt
21	Stetter et al. (2019)	Germany	26.1±2.9 (13)	-right leg via a knee sleeve	-sport-specific movements	-Ground reaction force -Knee joint forces	strap
22	Stuart et al. (2019)	USA	40.70 (29)	-waist	-walking activities	Macro- and micro-level mobility	belt
23	Wittmann et al. (2016)	Switzerland	60±11.5 (11)	-lower and upper arm -trunk	-ADL tasks	-ArmeoSenso -Fugl-Meyer Assessment Upper Extremity -Wolf Motor Funtion Test	strap

3.3 연구의 분류

본 연구에서는 PICO(Patient, Intervention, Comparison, Outcome) 형식을 참고하여 관성 측정 장치가 사용된 연구들을 저자/연도, 국가, 대상자 연령/수, 부착위치, 측정방법, 결과, 형태 순으로 나열하였다. (Table 2 참고)

3.3.1 연구 대상자 분류

최종 선정된 23편의 논문을 연구대상자 특정 질환별로 분류하였다. 질환이 없는 건강한 대상자로 진행된 논문이 9편(39.13%)으로 가장 많았고, 다음으로 파킨슨병(Parkinson disease)이 8편(34.78%), 뇌졸중이 3편(13.04%), 가벼운 외상성 뇌손상이 1편(4.35%), 척수 손상이 1편(4.35%), 하지 골관절염이 1편(4.35%)이었다.

3.3.2 IMU 실행자 분류

최종 선정된 23편의 논문을 IMU 실행자로 분류하였다. 실행자는 의료 관계자와 IMU 전문가로 나누었다. 의료 관계자가 IMU를 실행한 논문이 12편(52.17%)으로 가장 많았고, 다음으로 IMU 전문가가 IMU를 실행한 논문이 11편(47.83%)이었다.

3.3.3 IMU 형태 분류

최종 선정된 23편의 논문을 IMU 형태로 분류하였다. 가장 많이 사용된 관성 측정 장치의 형태는 스트랩 형태로 11편(47.82%)이었고, 전신 슈트 형태가 5편(21.74%), 벨트 형태가 4편(17.39%), 손목시계 형태가 1편(4.35%), 신발 형태가 1편(4.35%), 장갑 형태가 1편(4.35%)이었다.

4. 고찰

본 연구에서는 IMU의 형태와 방법에 대해 알아보고자 체계적 고찰을 실시하였다. 선정된 논문의 질적 수준 분석은 근거수준 5단계 모델을 사용하여 실시되었고, 선정된 논문들의 근거수준이 모두 3단계 이상으로 보통 수준의 논문들임을 알 수 있다.

선정된 논문들을 국가 별로 분류했을 때, 캐나다가 5편으로 가장 많았고 다음으로 미국, 스위스, 독일, 한국 등 여러 나라에서 IMU의 연구가 진행 되고 있음을 알 수 있다. 그리고 게재년도 별로 분류했을 때, 최근 3년간의 논문이 21편으로 약 91%의 비중을 차지했다. 이는 현재 전 세계적으로 IMU에 대한 관심사가 높고, 최근에 IMU에 대한 연구가 계속적으로 진행되고 있음을 시사한다.

또한 선정된 논문의 연구대상자 연령이 아동부터 노인까지 다양하고, 파킨슨병이나 뇌졸중 등의 다양한 질환을 가진 대상자가 분류된 결과는 IMU가 연령의 차이나 특정 질환의 유무에 관계없이 모든 대상자에게 적용가능하다는 점을 시사한다. 게다가 IMU 실행자의 분류 결과, 의료 관계자의 비율이 더 많다는 점은 현재 의료 분야에서의 IMU에 대한 관심이 높고, 추후 의료 관계 분야에서도 IMU의 임상 실적용 가능성이 높음을 시사한다.

선정된 논문들에서 사용된 IMU를 형태로 분류하여 분석한 결과, IMU의 형태는 스트랩, 전신 슈트, 벨트, 손목시계, 신발, 장갑 순으로 많았다. 이러한 결과는 IMU의 형태가 다양함을 보여주고, 대부분 환자들에게 적용 가능함을 시사한다.

가장 많이 사용된 IMU 형태는 스트랩 형태였다[17-27]. 이러한 점은 IMU의 장점과 관련이 있다. 기존의 동작 분석 장치와 비교하여 IMU가 가지는 장점 중 하나는 간소화다. 작아진 크기와 가벼워진 무게로 대상자는 오랜 시간동안 IMU를 착용할 수 있으므로, 연구자는 대상자의 데이터 수집이 용이하다. 측정 방법으로 분류한 결과, 작업 활동, 보행, 관절 가동 범위 순으로 많이 사용하였다. 다만, 선정된 논문들에서는 IMU가 측정에 대해서만 사용이 되는 경향이 있었다. 추후 측정에만 국한되지 않고 나아가, 연구자가 측정한 IMU 데이터 결과를 바탕으로 대상자의 중재 계획을 세우거나 목표를 설정하는데 근거를 마련하는 연구가 필요할 것이다. 다음으로 많이 사용된 IMU 형태는 전신 슈트 형태였다[28-32]. IMU는 기존의 동작 분석 장치 중 영상 분석 방법처럼 전신의 데이터를 수집하기에는 어려움이 있는데, 이를 보완하고자 다수의 IMU가 탑재되어 있는 전신 슈트 형태가 있다. 기존의 영상 분석 방법처럼 전신의 움직임에 대한 데이터를 수집할 수 있다는 점은 동일하지만, IMU 전신 슈트는 실시간으로 전신의 움직임에 대한 데이터 수집이 가능하다는 장점이 있다. 측정 방법으로 분류한 결과, 보행, 관절 가동 범위, 앉기, 작업 활동을 사용하였다. 연구가 전신 슈트를 착용하고 진행되므로, 오랜 기간 동안의 측정은 어렵다는 단점이 있다. 벨트 형태의 IMU는 주로 몸통의 움직임 측정에 쓰인다[33-36]. 측정 방법으로 분류한 결과, 보행, 점프, 작업 활동을 사용하였다. 활동의 속도나 거리보다, 몸통의 정렬과 움직임을 중점으로 보기 위함이다. 벨트 형태의 IMU는 대상자의 신체 일부가 절단 및 마비되어 스트랩 형태의 IMU 착용이 불가한 경우에 사

용이 용이할 것이다. 또한 일상에서 자주 사용하는 물건 형태의 IMU로 진행한 연구도 존재한다. 대상자가 최대 48시간 동안 불편함을 호소하지 않고 데이터를 수집할 수 있도록 고안된 손목시계 형태의 IMU[37], 보행 분석을 위한 신발 형태의 IMU[38], 손의 쥠을 평가하기 위한 장갑 형태의 IMU[39]를 사용하였다.

본 연구에서 분석한 23편의 연구결과는 IMU의 형태가 다양함을 보여주고, 신체의 움직임에 대한 데이터를 다각도로 수집할 수 있음을 보여준다. 본 연구의 한계점으로는 문헌 검색 기간이 5년으로 짧다는 것이다. IMU는 현재 각계 분야에서 연구되어지고 있는 기술로 문헌 검색 기간을 10년으로 설정했을 시, 본 연구의 목적과 부합하는 문헌을 저자 두 명이서 선별하기에는 어려움이 있었다. 앞으로 IMU의 선행연구와 같이 재활 분야에서도 IMU를 사용한 연구를 통해, 현재의 객관적으로 정량화되지 못하는 평가를 보완할 방법을 모색해야 한다.

5. 결론

본 연구는 IMU의 융합연구 형태와 방법에 대한 경향을 파악하기 위해 체계적 고찰을 실시하였다. PRISMA 가이드라인에 따라 연구를 수행하였고, 최종적으로 23편의 논문이 선정되었다. 본 연구 결과, 전 세계적으로 IMU를 사용한 다양한 연구를 진행하고 있음을 알 수 있었다. IMU의 형태는 스트랩, 전신 슈트, 벨트, 손목시계, 신발, 장갑이 있었으며 23편의 선정 논문 중 스트랩 형태의 IMU가 11편으로 가장 많았다. IMU의 장점인 간소화와 실시간 데이터 수집, 적용의 쉬움으로 작업 활동, 보행, 관절 가동 범위 등의 측정 방법으로 사용되었다. 추후 본 연구의 결과는 IMU의 연구를 진행하는 의료 및 재활 분야의 전문가들에게 기초 자료로 활용될 수 있으리라 기대된다.

REFERENCES

[1] Y. G. Kim. (2007). A Search on the Necessity of Occupational Therapy in Community Based Rehabilitation in Public Health Centers. *The Journal of Korean Society of Occupational Therapy, 15(3),* 13-24.

[2] Y. Koumpouros. (2016). A systematic review on existing measures for the subjective assessment of rehabilitation and assistive robot devices. *Journal of healthcare engineering, 2016.* DOI : 10.1155/2016/1048964

[3] Z. Zhang, Q. Fang & X. Gu. (2015). Objective assessment of upper-limb mobility for poststroke rehabilitation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 63(4),* 859-868. DOI : 10.1109/TBME.2015.2477095

[4] M. Ye, C. Yang, V. Stankovic, L. Stankovic & A. Kerr. (2016). A depth camera motion analysis framework for tele-rehabilitation: Motion capture and person-centric kinematics analysis. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 10(5),* 877-887. DOI : 10.1109/JSTSP.2016.2559446

[5] U. C. Ugbolue, E. Papi, K. T. Kaliarntas, A. Kerr, L. Earl, V. M. Pomeroy & P. J. Rowe. (2013). The evaluation of an inexpensive, 2D, video based gait assessment system for clinical use. *Gait & posture, 38(3),* 483-489. DOI : 10.1016/j.gaitpost.2013.01.018

[6] T. Seel, J. Raisch & T. Schauer. (2014). IMU-based joint angle measurement for gait analysis. *Sensors, 14(4),* 6891-6909. DOI : 10.3390/s140406891

[7] H. H. Kim, J. K. Kim, J. H. Seo, Y. J. Park & Y. B. Park. (2011). Feasibility on Evaluation of Movement System Impairment Syndromes by MEMS-IMU. *The Journal Of The Korea Institute Of Oriental Medical Diagnostics, 15(3),* 261-27.

[8] Á. Gil-Agudo et al. (2013). A novel motion tracking system for evaluation of functional rehabilitation of the upper limbs. *Neural regeneration research, 8(19),* 1773. DOI : 10.3969/j.issn.1673-5374.2013.19.005

[9] C. Cifuentes, A. Braidot, L. Rodríguez, M. Frisoli, A. Santiago & A. Frizera. (2012, June). Development of a wearable ZigBee sensor system for upper limb rehabilitation robotics. *In 2012 4th IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)* (pp. 1989-1994). IEEE. DOI : 10.1109/BioRob.2012.6290926

[10] J. Bae & M. Tomizuka. (2013). A tele-monitoring system for gait rehabilitation with an inertial measurement unit and a shoe-type ground reaction force sensor. *Mechatronics, 23(6),* 646-651. DOI : 10.1016/j.mechatronics.2013.06.007

[11] F. Cavallo, A. M. Sabatini & V. Genovese. (2005, August). A step toward GPS/INS personal navigation systems: real-time assessment of gait by foot inertial sensing. *In 2005 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (pp. 1187-1191). IEEE. DOI : 10.1109/IROS.2005.1544967

[12] D. Rodríguez-Martín, C. et al. (2017). A waist-worn inertial measurement unit for long-term monitoring of Parkinson's disease patients. *Sensors, 17(4),* 827. DOI : 10.3390/s17040827

[13] A. J. Solomon, J. V. Jacobs, K. V. Lomond & S. M. Henry. (2015). Detection of postural sway abnormalities by wireless inertial sensors in minimally disabled patients with multiple sclerosis: a case-control study. *Journal of neuroengineering and rehabilitation, 12(1),* 74.
DOI : 10.1186/s12984-015-0066-9

[14] T. H. Kim. C. W. Ro & J. W. Yoon. (2016). Development of Smart Stick Using Motion Sensing and GPS for Elderly Users' Safety. *Journal of the Korea Convergence Society, 7(4),* 45-50.
DOI : 10.15207/JKCS.2016.7.4.045

[15] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff & D. G. Altman. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *Journal of Clinical Epidemiology, 62(10),* 1006-1012
DOI : 10.1371/journal.pmed.1000097

[16] M. Arbesman, J. Scheer & D. Lieberman. (2008). Using AOTA's critically appraised topic(CAT) and critically appraised paper(CAP) series to link evidence to practice. *Occupational Therapy Practice, 13(5),* 18-22.

[17] A. Anwary, H. Yu & M. Vassallo. (2018). An automatic gait feature extraction method for identifying gait asymmetry using wearable sensors. *Sensors, 18(2),* 676.
DOI : 10.3390/s18020676

[18] K. L. Armstrong, L. M. Lombardo, K. M. Foglyano, M. L. Audu & R. J. Triolo. (2018). Automatic application of neural stimulation during wheelchair propulsion after SCI enhances recovery of upright sitting from destabilizing events. *Journal of neuroengineering and rehabilitation, 15(1),* 17.
DOI : 10.1186/s12984-018-0362-2

[19] R. Barrois, T. Gregory, L. Oudre, T. Moreau, C. Truong, A. A. Pulini, ... & A. Yelnik. (2016). An automated recording method in clinical consultation to rate the limp in lower limb osteoarthritis. *PloS one, 11(10),* e0164975.
DOI : 10.1371/journal.pone.0164975

[20] R. P. M. Barrois, D. Ricard, L. Oudre, L. Tlili, C. Provost, A. Vienne, ... & A. P. Yelnik. (2017). Observational study of 180 Turning strategies Using inertial Measurement Units and Fall risk in Poststroke hemiparetic Patients. *Frontiers in neurology, 8,* 194.
DOI : 10.3389/fneur.2017.00194

[21] P. Hausamann, M. Daumer, P. MacNeilage & S. Glasauer. (2019). Ecological Momentary Assessment of Head Motion: Towards Normative Data of Head Stabilization. *Frontiers in human neuroscience, 13,* 179.
DOI : 10.3389/fnhum.2019.00179

[22] R. Kianifar, A. Lee, S. Raina & D. Kulić. (2017). Automated assessment of dynamic knee valgus and risk of knee injury during the single leg squat. *IEEE journal of translational engineering in health and medicine, 5,* 1-13.
DOI : 10.1109/JTEHM.2017.2736559

[23] N. Kitagawa & N. Ogihara. (2016). Estimation of foot trajectory during human walking by a wearable inertial measurement unit mounted to the foot. *Gait & posture, 45,* 110-114.
DOI : 10.1016/j.gaitpost.2016.01.014

[24] D. Lukšys, G. Jonaitis & J. Griškevičius. (2018). Quantitative analysis of parkinsonian tremor in a clinical setting using inertial measurement units. *Parkinson's Disease,* 2018.
DOI : 10.1155/2018/1683831

[25] H. S. Nam, W. H. Lee, H. G. Seo, Y. J. Kim, M. S. Bang & S. Kim. (2019). Inertial Measurement Unit Based Upper Extremity Motion Characterization for Action Research Arm Test and Activities of Daily Living. *Sensors, 19(8),* 1782.
DOI : 10.3390/s19081782

[26] B. J. Stetter, S. Ringhof, F. C. Krafft, S. Sell & T. Stein. (2019). Estimation of Knee Joint Forces in Sport Movements Using Wearable Sensors and Machine Learning. *Sensors, 19(17),* 3690.
DOI : 10.3390/s19173690

[27] F. Wittmann, J. P. Held, O. Lambercy, M. L. Starkey, A. Curt, R. Höver, ... & R. R. Gonzenbach. (2016). Self-directed arm therapy at home after stroke with a sensor-based virtual reality training system. *Journal of neuroengineering and rehabilitation, 13(1),* 75.
DOI : 10.1186/s12984-016-0182-1

[28] M. Delrobaei, S. Tran, G. Gilmore, K. McIsaac & M. Jog. (2016). Characterization of multi-joint upper limb movements in a single task to assess bradykinesia. *Journal of the neurological sciences, 368,* 337-342.
DOI : 10.1016/j.jns.2016.07.056

[29] M. Delrobaei, S. Memar, M. Pieterman, T. W. Stratton, K. McIsaac & M. Jog. (2018). Towards remote monitoring of Parkinson's disease tremor using wearable motion capture systems. *Journal of the neurological sciences, 384,* 38-45.
DOI : 10.1016/j.jns.2017.11.004

[30] S. Memar, M. Delrobaei, M. Pieterman, K. McIsaac & M. Jog. (2018). Quantification of whole-body bradykinesia in Parkinson's disease participants using multiple inertial sensors. *Journal of the neurological sciences, 387,* 157-165.
DOI : 10.1016/j.jns.2018.02.001

[31] H. Nguyen, K. Lebel, P. Boissy, S. Bogard, E. Goubault & C. Duval. (2017). Auto detection and segmentation of daily living activities during a Timed Up and Go task in people with Parkinson's disease using multiple inertial sensors. *Journal of neuroengineering and rehabilitation, 14(1),* 26.
DOI : 10.1186/s12984-017-0241-2

[32] S. J. Ozinga, S. M. Linder & J. L. Alberts. (2017). Use of mobile device accelerometry to enhance evaluation of postural instability in Parkinson disease. *Archives of physical medicine and rehabilitation, 98(4),* 649-658.

DOI : 10.1016/j.apmr.2016.08.479

[33] J. Camps, A. Sama, M. Martin, D. Rodriguez-Martin, C. Perez-Lopez, J. M. M. Arostegui, ... & A. Prats. (2018). Deep learning for freezing of gait detection in Parkinson's disease patients in their homes using a waist-worn inertial measurement unit. *Knowledge-Based Systems, 139,* 119-131.
DOI : 10.1016/j.knosys.2017.10.017

[34] M. Pau, B. Leban, G. Collu & G. M. Migliaccio. (2014). Effect of light and vigorous physical activity on balance and gait of older adults. *Archives of gerontology and geriatrics, 59(3),* 568-573.
DOI : 10.1016/j.archger.2014.07.008

[35] F. Sgrò, P. Mango, S. Pignato, R. Schembri, D. Licari & M. Lipoma. (2017). Assessing Standing Long Jump Developmental Levels Using an Inertial Measurement Unit. *Perceptual and motor skills, 124(1),* 21-38.
DOI : 10.1177/0031512516682649

[36] S. Stuart, L. Parrington, D. N. Martini, N. Kreter, J. C. Chesnutt, P. C. Fino & L. A. King. (2019). Analysis of free-living mobility in people with mild traumatic brain injury and healthy controls: quality over quantity. *Journal of neurotrauma, 37(1),* 139-145
DOI : 10.1089/neu.2019.6450

[37] K. Leuenberger, R. Gonzenbach, S. Wachter, A. Luft & R. Gassert. (2017). A method to qualitatively assess arm use in stroke survivors in the home environment. *Medical & biological engineering & computing, 55(1),* 141-150.
DOI : 10.1007/s11517-016-1496-7

[38] S. H. Han, C. O. Kim, K. J. Kim, J. Jeon, H. Chang, E. S. Kim & H. Park. (2019). Quantitative analysis of the bilateral coordination and gait asymmetry using inertial measurement unit-based gait analysis. *PloS one, 14(10).*
DOI : 10.1371/journal.pone.0222913

[39] H. Dai, H. Lin & T. C. Lueth. (2015). Quantitative assessment of parkinsonian bradykinesia based on an inertial measurement unit. B*iomedical engineering online, 14(1),* 68.
DOI : 10.1186/s12938-015-0067-8

이 혜 식(Hey-Sig Lee) [정회원]

· 2018년 2월 : 연세대학교 작업치료학과 졸업(작업치료학사)
· 2018년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 작업치료학(석·박사 통합과정)
· 관심분야 : 노인작업치료, 지역사회작업치료
· E-Mail : yozohzzz@gmail.com

박 혜 연(Hae Yean Park) [정회원]

· 2009년 2월 : 연세대학교 작업치료학과(작업치료학석사)
· 2011년 8월 : 연세대학교 작업치료학과(작업치료학박사)
· 2015년 3월 ~ 2020년 2월 : 연세대학교 보건과학대학 작업치료학과 조교수
· 2020년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 보건과학대학 작업치료학과 부교수
· 관심분야 : 아동작업치료, 지역사회작업치료, 메타분석, 운전재활
· E-Mail : haepark@yonsei.ac.kr