

## 관성측정장치를 이용한 경추관절 가동범위 측정의 검사 내 반복성 및 검사-재검사 신뢰도 연구

김현호<sup>1</sup>, 김경욱<sup>2</sup>, 박지민<sup>2</sup>, 김은석<sup>2</sup>, 이민준<sup>2</sup>, 강종원<sup>2</sup>, 이상훈<sup>2</sup>, 박영배<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 한의과대학 진단·생기능의학과

<sup>2</sup>경희대학교 한의과대학 침구의학과



### [Abstract]

#### Test-retest Reliability and Intratest Repeatability of Measuring Cervical Range of Motion Using Inertial Measurement Unit

Hyun Ho Kim<sup>1</sup>, Kyung Wook Kim<sup>2</sup>, Ji Min Park<sup>2</sup>, Eun Seok Kim<sup>2</sup>, Min Jun Lee<sup>2</sup>, Jung Won Kang<sup>2</sup>, Sang Hoon Lee<sup>2</sup> and Young Bae Park<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Biofunctional Medicine and Diagnostics, College of Korean Medicine, Kyung Hee University

<sup>2</sup>Department of Acupuncture and Moxibustion Medicine, College of Korean Medicine, Kyung Hee University

**Objectives** : To assess the test-retest reliability and the intratest repeatability in measuring the cervical range of motion of healthy subjects with wireless microelectromechanical system inertial measurement unit(MEMS-IMU) system and to discuss the feasibility of this system in the clinical setting to evaluate the cervical spine musculoskeletal .

**Methods** : 12 healthy people who were evaluated as no- or mild-disability with neck disability index were participated. Their cervical motion were measured with IMU twice in consecutive two days for the test-retest reliability study. Intratest repeatability was calculated in the two tests separately. The calculated intraclass correlation coefficients(ICC) were discussed and compared with the those of the previous studies.

**Results** : Cervical range of motion data were acquired and statistically processed: left rotation(61.64°), right rotation(65.12°), extension(61.98°), flexion(52.81°), left bending(39.31°), right bending(41.08°). ICCs were 0.77~0.98(intratest repeatability) and 0.74~0.93 (test-retest reliability) in the primary motion. In the coupling motion, intratest repeatability ICCs were 0.93~0.99(transverse primary plane), 0.88~0.97(sagittal primay plane), and 0.77~0.93(coronal primary plane). Test-retest reliability of coupling motion were 0.90~0.97(transverse primary plane), 0.00~0.72(sagittal primary plane), and 0.04~0.76(coronal primary plane).

**Conclusions** : Several types of range-of-motion devices are now on use in many fields including medicine, but the practicality of the devices in clinical use is questionable for the convenient and economical aspects. In this study, we presented the reliability of cervical range of motion test with the developed wireless MEMS-IMU system and discussed its potential utility in clinical use.

#### Key words :

CROM;  
 Cervical range of motion;  
 Coupling motion;  
 IMU;  
 Inertial sensor

Received : 2013. 07. 17.

Revised : 2013. 08. 24.

Accepted : 2013. 08. 24.

On-line : 2013. 09. 20.

\* Corresponding author : Department of Biofunctional Medicine and Diagnostics, College of Korean Medicine, Kyung Hee University, 23, Kyungheedaero, Dongdaemun-gu, Seoul, 130-872, Republic of Korea

Tel : 82-2-958-9240 E mail : bmppark@khu.ac.kr

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

*The Acupuncture* is the Journal of Korean Acupuncture & Moxibustion Medicine Society. (<http://www.TheAcupuncture.or.kr>)

Copyright © 2013 KAMMS, Korean Acupuncture & Moxibustion Medicine Society. All rights reserved.

## 1. 서론

근골격계의 건강상태에 관한 평가는 주로 근골격계의 내부 구조를 영상으로 확인하는 일반 방사선검사, 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI), 전산화 단층촬영(computerized tomography, CT), 초음파검사(ultrasonography) 등이 사용되고 있다. 그러나 이러한 검사는 근골격계의 단면적인 구조에 대한 정보를 줄 뿐, 관절가동범위(range of motion, ROM) 등 해당 관절의 기능에 대한 정보를 직접 주지는 못한다. 관절가동범위의 확인은 그 관절의 상태와 치료의 효과를 평가하고, 장애 판정에 기준을 삼을 때 필수적인 평가방법이기<sup>1,2)</sup>, 근골격계 질환을 평가할 때에는 관절가동범위를 반드시 확인해야 한다. 또한 회전을 수행하는 주평면(principle plane)에서의 관절가동범위 외에도 타 평면에서의 부수적인 회전이 다양한 생·병리적 원인으로 발생하는데, 이러한 부수적인 회전을 커플링 모션(coupling motion)이라고 하며, 이는 해당 관절의 안정성 또는 기능을 판단하는 기준이 될 수 있다<sup>3-5)</sup>.

관절가동범위를 측정하기 위해 사용되는 대표적인 도구로는 측각기(goniometer), 경사계(inclinometer) 등이 있다. 이러한 기계식 측정 장치는 사용이 간편하고 경제적이며 쉽게 측정이 가능하다는 장점이 있으나, 측정자 사이의 신뢰도가 현저히 떨어지거나 정확도가 떨어지는 등 그 한계가 분명히 존재한다<sup>6,7)</sup>. 또한 눈으로 직접 눈금을 읽어야 하는 경우가 많으며, 자동화가 되어 있지 않은 관계로 자료의 저장이나 빠른 연산이 불가능하며, 단순한 측각기 혹은 경사계는 한 평면에서의 각도만 측정이 가능하여서 다른 평면에서의 움직임 정보, 즉 커플링 모션의 정보는 소실된다는 단점이 있다.

측정 기술과 센서 기술이 발달함에 따라 단순한 기계식 측각기의 한계에서 벗어나 인체 관절의 복잡한 움직임을 측정하는 시스템이 개발되었는데, 광학적 카메라와 마커를 이용한 영상장비, 전자기장의 왜곡을 이용한 장비, 초음파의 반사를 이용한 장비 등이 있으며, 이를 이용하여 인체의 다양한 관절 운동을 측정하는 연구가 지속적으로 진행되었다<sup>8-11)</sup>. 그러나 이러한 장비는 독립된 공간이 필요하고, 고가의 장비를 동반해야 하며, 경우에 따라서는 피험자의 운동을 제한하는 경우가 있어서 병원이나 개인 클리닉에서는 사용하기가 어려운 것이 사실이다<sup>12)</sup>. 그러다 보니 이러한 장비는 주로 고부가가치 산업인 애니메이션, 영화, 스포츠 산업에서 사용되고 있다<sup>3)</sup>.

이에 대한 대안으로 관성측정장치(inertial measure-

ment unit, IMU)를 이용한 측정 시스템이 제안되었고 연구되었다. 관성측정장치란 가속도센서, 각속도센서, 지자기센서 등의 조합으로 만들어진 센서시스템이며, 이는 세 가지 종류의 정보를 가공하여 방향(orientation) 정보를 제공하는 장비로서, 초기에는 주로 미사일이나 위성의 자세 제어 등에 사용되었다. 관성측정장치는 독립된 공간이 필요 없고, 가격이 비교적 저렴하며 크기가 작다는 것, 그리고 기존 장비에 비해 특히 실시간으로 데이터의 수집과 처리가 가능하다는 장점이 있어서 의학계에서도 이를 이용한 인체 관절운동 측정 가능성에 대한 연구가 진행되었으며<sup>14,15)</sup>, 관성측정장치 및 사용 센서를 이용한 측정의 신뢰도와 타당도에 관한 연구도 발표되었다<sup>16,17)</sup>. 초기에는 인체에 부착하여 사용하기에 부담이 될 크기와 무게, 그리고 유선 환경(wired condition)이라는 제한이 있었다<sup>18,19)</sup>. 그러나 1990년대와 2000년대 초반에 급격히 발전한 미세전자기계시스템(microelectromechanical system, MEMS)과 결합하여 개발된 미세전자기계시스템 관성측정장치(MEMS inertial measurement unit, MEMS-IMU)는 앞서 언급한 기존 장치보다 훨씬 경제적이고 편리하며, 장비의 크기와 무게의 측면에서도 편의성이 크게 향상되었기에 이를 이용한 인체 운동의 측정이 연구되었다<sup>14,20,21)</sup>.

상술한 관절가동범위와 커플링 모션 등 인체 관절의 운동 정보가 관절 기능평가 및 진단에 적절한 판단기준이 되기 위해서는 검사 시 해당 물리량이 반복적으로 측정되는가에 대한 검사 내 반복성 연구가 바탕이 되어야 한다. 또한 일정 시간이 흐른 후 재검사를 하였을 때 해당 물리량 역시 일관적으로 측정되는지에 대한 검사-재검사 신뢰도 연구도 해당 물리량의 임상적 의미를 판단하는 데 중요한 기초가 된다. 이에 관해 많은 연구가 진행되었고, 경추관절의 가동범위에 관해서 이루어진 다양한 연구<sup>1,3,7,22,23)</sup>가 있었으나 주평면에서의 가동범위 외에 커플링 모션에 관해 연구된 내용은 거의 없으며, 특히 높은 신뢰도와 타당도, 그리고 다양한 측면의 장점을 가진 MEMS-IMU를 이용하여 이루어진 검사-재검사 신뢰도 연구와 반복성 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 무선통신과 결합하여 그 편의성을 더욱 증가시킨 무선 MEMS-IMU 시스템을 구축하고, 이를 이용하여 경추관절의 가동범위를 측정하는 프로토콜을 개발하였으며, 건강인을 대상으로 하여 본 시스템을 이용한 경추관절 가동범위 검사와 재검사를 시행하여 ROM값과 최대 ROM에서의 커플링 모션 값을 기준으로 검사 내 반복성과 검사-재검사 신뢰도를 연구하였기에 그 결과를 보고하고자 한다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 측정시스템

본 연구에서 사용된 MEMS-IMU 시스템은 하나의 MEMS-IMU 트랜스미터(model EBIMU24G, E2BOX, Seoul, Republic of Korea)와 하나의 radio frequency(RF) 리시버(model EBRF24G3CH, E2BOX, Seoul, Republic of Korea)로 구성되어 있다. 트랜스미터의 크기는  $32 \times 21 \times 6.5$  mm이며, 질량은 약 7.85 g이다. MEMS-IMU 트랜스미터는 3축 가속도센서, 3축 각속도센서, 3축 지자기센서로 이루어져 자유도는 9이며, 사용된 센서들의 민감도는 각각 250~2000 dps(가속도센서), 2~8 g(각속도센서), 1.3~8.1 gauss(지자기센서)이다. 트랜스미터의 모습은 Fig. 1과 같다.

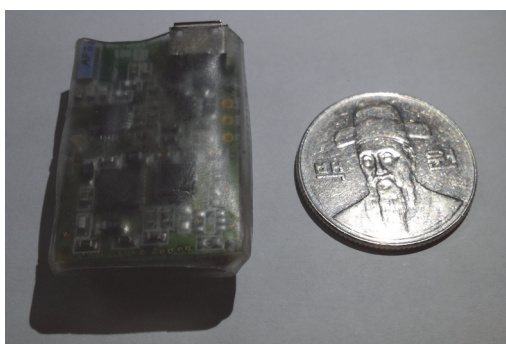


Fig. 1. MEMS-IMU transmitter

### 2. NDI 설문지

본 연구는 경추 운동에 문제가 없는 건강인을 대상으로 하였으며, 이를 판단하기 위하여 목 운동 기능을 평가할 수 있는 neck disability index(NDI)를 사용하였다. NDI는 10개의 문항으로 이루어져 있으며, 목 운동 기능에 따른 통증, 수면의 질, 일상 활동에 대한 설문 내용으로 구성되어 있다. NDI questionnaire의 검사-재검사 신뢰도는 0.89로 알려져 있다<sup>24)</sup>.

### 3. 대상

심각한 통증이 있어서 목 운동에 장애가 있거나, 골절, 급성 염좌, 종양 등 목 운동에 기계적인 이상을 가져올 수

있는 경우와 NDI상 15점 이상인 중등도 이상(moderate-disability), 혹은 중증 이상(severe-disability)에 해당하는 경우를 제외 기준으로 하였다. 모집 결과 NDI상 14점 이하인 이상 없음(no-disability) 혹은 경도의 기능이상(mild-disability)에 해당하는 12명의 건강한 자원자가 연구에 참가하였으며, 8명의 남성, 4명의 여성으로 구성되었다. 검사-재검사 검사 간 반복성 측정을 위하여 검사와 재검사 사이의 간격은 1일로 설정하였고, 첫 번째 방문과 두 번째 방문 사이에 경추관절 운동기능에 영향을 줄 수 있는 사상(event)이 발생하였을 경우 제외 기준에 포함시켰으나, 피험자 모두 이 기준에는 포함되지 않았다. 피험자의 연령은 평균 28.25세, 표준편차는 2.05세였으며, NDI의 평균은 3.75, 표준편차는 1.91로 계산되었다. 이 연구는 경희대학교 한방병원 임상시험윤리위원회(Institutional Review Board)의 승인을 받았으며, 측정 행위는 사전 동의를 받은 후 진행되었다.

### 4. 검사과정

무선관성측정장치 시스템을 이용하여 피험자의 경추관절 가동범위(cervical range of motion, CROM)를 측정하기 위하여 피험자를 고정된 의자에 앉게 하였다. 그 후 이마의 가운데 부위에 무선관성측정장치의 트랜스미터를 Velcro® strap을 이용하여 고정시켰고, 허리는 끈에 펴서 정면을 자연스럽게 응시하도록 하였으며 양손은 가볍게 펴서 무릎 위에 놓고, 시각 자극에 의한 반사적 운동을 제거하기 위해 눈을 감도록 하였다.

그 후 피험자에게 테스트의 두 부분에 대한 설명을 하였다. 첫 번째 세션은 시험 세션으로, 앞으로 있을 검사 세션에서 해야 할 경추의 운동에 대해 시험적으로 움직이도록 지시하였다. 검사는 경추 회전이 일어나는 수평면(transverse plane), 시상면(sagittal plane), 관상면(coronal plane)의 세 평면에 대하여 순차적으로 시행하였다. 첫 번째 세션에서는 순차적으로 시험적으로 자연스럽게 고개를 돌릴 수 있는 데까지 돌리도록 하였다. 본격적인 검사인 두 번째 세션에서는 피험자가 위의 세 평면에서 자연스러운 회전(natural test)을 각각 3번씩 수행함과 동시에 무선 시스템을 이용하여 데이터를 수집하였다. 모든 지시는 시험자의 개별 설명에 의한 편이(bias)를 최소화하기 위해 녹음된 대본을 컴퓨터를 이용하여 재생하는 형태로 이루어졌으며, 모든 운동 데이터는 라디오 프리퀀시 방식의 무선 시스템(radio frequency wireless system)을 통하여 검사 시 실시간으로 저장하였다. 이 과정이 1회의 검사 과정이며, 1일

후의 재검사 과정도 동일하게 진행하였다.

## 5. 데이터 분석

### 1) 데이터 처리

관성측정장치는 내부에 정해진 원점을 기준으로 현재의 회전 상태에 관한 정보를 송출하므로 반드시 검사상 원점을 기준으로 데이터를 보정(compensation)해야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 준비상태부터 경추 운동이 일어나기 직전까지 비교적 일정하게 유지되는 상태를 검사상 원점으로 설정하고 그 뒤에 측정되는 실시간 회전 연산자(rotation operator)들을 행렬 연산으로 보정하였다. 또한 앞의 검사과정에서 상술하였듯이 1회의 검사에는 각 회전을 3번 수행하도록 하였는데, 이 중 첫 번째 데이터는 지시된 움직임에 대하여 미숙한 상태에서 수행된 것으로 판단하여 일괄적으로 삭제, 두 번째 데이터와 세 번째 데이터를 이용하여 연구를 진행하였다.

### 2) 신뢰도(ICC)

반복성의 평가, 검사-재검사 신뢰도, 평가자 사이의 일치도 등을 평가하기 위해 사용되는 급내상관계수(intraclass correlation coefficient, ICC)는 1979년 Shrout와 Fleiss에 의해 제안되었으며<sup>25)</sup> 이후로 광범위하게 사용되고 있다. Shrout와 Fleiss가 제안한 몇 가지 형태의 ICC 중 본 연구의 의도에 적합하다고 판단되는 ICC(2,1), agreement, 즉 이원 임의효과 모델의 일치도를 검사 내 반복성의 지표로 선택하였으며, 검사-재검사 신뢰도의 지표로는 두 번째 데이터와 세 번째 데이터를 평균을 낸 값을 이용하여 ICC(2,2), agreement를 계산하였다. 일반적인 ICC의 기준에 따르면, 0.75 이상의 ICC는 훌륭한(excellent) 상관성이며, 0.40~0.75 사이의 ICC는 타당한-좋은(fair to good) 상관성, 그리고 0.40 미만은 좋지 않은(poor) 상관성으로 평가한다<sup>26)</sup>.

### 3) 자료분석 프로그램

모든 동작 데이터는 LabVIEW 2010(National Instruments Inc, Austin, TX, USA)을 이용하여 수집하였으며, 강체의 회전을 표현하는 방법 중 하나인 euler coordination으로 표현하였다. Euler coordination의 순서는 roll-pitch-yaw의 순서로 선택하였다. ICC는 SPSS statistics 19(SPSS, Inc, Chicago, IL, USA)를 사용하여 계산하였으며, 회전 행렬의 연산을 수행하기 위해 MATLAB 7.1

(MathWorks, Natick, MA, USA)과 MS Excel 2010 (Microsoft, Redmond, WA, USA) 등을 사용하였다.

## III. 결 과

### 1. 검사예시

경추관절운동의 Euler 형식 표현에 관한 이해를 돕기 위하여 MEMS-IMU 시스템을 통해 수집된 데이터 중 피험자 1인의 수평면에서의 운동을 검사상 원점 보정 후 Fig. 2에 도시하였다. 피험자는 앞의 검사과정에서 서술한대로 수평면에서 세 번의 축회전을 좌측부터 수행하였으며, 주된 운동인 축회전은 실선으로 나타나있다. 수평면에서의 축회전과 동시에 발생하는 커플링 모션도 두 가지 종류의 점선으로 관찰이 가능하다.

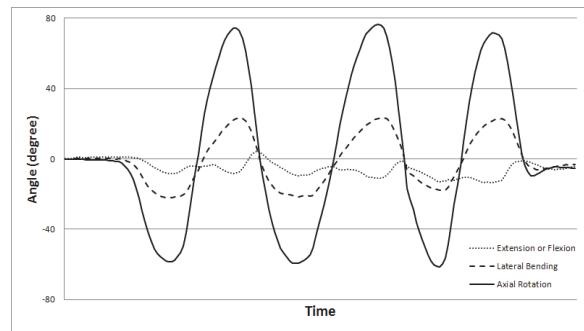


Fig. 2. A sample of cervical motion data acquired by MEMS-IMU system

Solid line expresses the axial rotation along the transverse plane, while the other two dotted lines express the extension/flexion along the saggital plane and the lateral bending along the coronal plane. Negative values mean left rotation, flexion, and left bending. In this case, the primary motion is axial rotation, and the regular coupling motions are observed.

### 2. 경추 관절 가동범위

피험자 12명의 경추관절가동범위 데이터를 수집한 후, 행렬 연산을 통해 검사상 원점 보정(compensation)을 한 결과의 통계량과 추정 검사-재검사 신뢰도인 급내상관계수를 Table 1에 나타내었다. Table 1에 나타난 평균값은 피험자 12명에 대한 주평면에서 경추관절 가동범위의 평균값을 나타낸다. Day 1과 Day 2는 각각 첫째 날과 둘째 날 검사의 평균 및 표준편차와 검사 내 반복성 지표 ICC(2,1)

Table 1. Cervical Range of Motion and Reliability

| Primary plane | Motion         | Day 1            |                       |           | Day 2            |                       |           | ICC(2,2) <sup>b</sup> | 95 % CI   |
|---------------|----------------|------------------|-----------------------|-----------|------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|               |                | M(SD)            | ICC(2,1) <sup>a</sup> | 95 % CI   | M(SD)            | ICC(2,1) <sup>a</sup> | 95 % CI   |                       |           |
| Transverse    | Left rotation  | 61.64<br>(9.72)  | 0.95                  | 0.75~0.99 | 58.17<br>(9.48)  | 0.97                  | 0.91~0.99 | 0.87                  | 0.53~0.96 |
|               | Right rotation | 65.12<br>(10.24) | 0.92                  | 0.74~0.98 | 63.00<br>(10.78) | 0.98                  | 0.93~0.99 | 0.93                  | 0.77~0.98 |
| Sagittal      | Extension      | 61.98<br>(9.50)  | 0.97                  | 0.91~0.99 | 59.37<br>(10.38) | 0.98                  | 0.92~1.00 | 0.74                  | 0.14~0.93 |
|               | Flexion        | 52.81<br>(7.62)  | 0.91                  | 0.71~0.97 | 55.78<br>(8.5)   | 0.86                  | 0.58~0.96 | 0.84                  | 0.46~0.96 |
| Coronal       | Left bending   | 39.31<br>(5.75)  | 0.87                  | 0.60~0.96 | 41.18<br>(5.68)  | 0.95                  | 0.84~0.99 | 0.88                  | 0.55~0.97 |
|               | Right bending  | 41.08<br>(4.93)  | 0.93                  | 0.70~0.98 | 41.43<br>(5.33)  | 0.77                  | 0.30~0.94 | 0.89                  | 0.58~0.97 |

M : mean(°), SD : standard deviation(°).

ICC : intraclass correlation coefficient, CI : confidence interval.

a : intratest repeatability, ICC(2,1), agreement

b : yest-retest reliability between two consecutive days, ICC(2,2), agreement

Table 2. Associated Cervical Coupling Motion and Reliability

| Primary motion | Coupling motion      | Day 1            |                       |           | Day 2            |                       |           | ICC(2,2) <sup>b</sup> | 95 % CI   |
|----------------|----------------------|------------------|-----------------------|-----------|------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-----------|
|                |                      | M(SD)            | ICC(2,1) <sup>a</sup> | 95 % CI   | M(SD)            | ICC(2,1) <sup>a</sup> | 95 % CI   |                       |           |
| Left rotation  | Extension or flexion | 0.71<br>(6.59)   | 0.93                  | 0.37~0.99 | 0.28<br>(5.69)   | 0.95                  | 0.84~0.99 | 0.91                  | 0.68~0.97 |
|                | Lateral bending      | -1.69<br>(11.25) | 0.98                  | 0.93~1.00 | 0.42<br>(11.22)  | 0.98                  | 0.93~1.00 | 0.97                  | 0.86~0.99 |
| Right rotation | Extension or flexion | -3.12<br>(8.05)  | 0.98                  | 0.70~1.00 | 0.20<br>(6.42)   | 0.93                  | 0.79~0.98 | 0.90                  | 0.11~0.98 |
|                | Lateral bending      | 1.59<br>(10.45)  | 0.98                  | 0.94~1.00 | -0.41<br>(10.22) | 0.99                  | 0.95~1.00 | 0.90                  | 0.65~0.97 |
| Extension      | Lateral bending      | 0.86<br>(4.50)   | 0.97                  | 0.91~1.00 | -1.00<br>(3.23)  | 0.94                  | 0.76~0.98 | 0.51                  | 0.00~0.85 |
|                | Axial Rotation       | 11.29<br>(5.54)  | 0.96                  | 0.85~0.99 | 9.97<br>(4.41)   | 0.88                  | 0.64~0.96 | 0.13*                 | 0.00~0.76 |
| Flexion        | Lateral bending      | 2.40<br>(3.19)   | 0.92                  | 0.74~0.97 | 2.90<br>(3.19)   | 0.87                  | 0.63~0.96 | 0.00*                 | 0.00~0.65 |
|                | Axial rotation       | -3.10<br>(7.10)  | 0.93                  | 0.78~0.98 | -0.91<br>(5.65)  | 0.93                  | 0.78~0.98 | 0.72                  | 0.09~0.92 |
| Left bending   | Extension or flexion | -9.70<br>(7.43)  | 0.81                  | 0.42~0.94 | -9.37<br>(9.12)  | 0.93                  | 0.77~0.98 | 0.76                  | 0.06~0.94 |
|                | Axial rotation       | -15.08<br>(8.69) | 0.92                  | 0.68~0.98 | -12.34<br>(6.94) | 0.89                  | 0.65~0.97 | 0.67                  | 0.00~0.91 |
| Right bending  | Extension or flexion | -5.04<br>(7.59)  | 0.88                  | 0.63~0.96 | -3.05<br>(6.21)  | 0.79                  | 0.41~0.94 | 0.04*                 | 0.00~0.76 |
|                | Axial rotation       | 14.19<br>(9.55)  | 0.93                  | 0.79~0.98 | 13.30<br>(7.42)  | 0.77                  | 0.18~0.94 | 0.71                  | 0.00~0.92 |

Positive values mean right rotation, extension, and right bending.

Negative values mean left rotation, flexion, and left bending.

M : mean(°), SD : standard deviation(°).

ICC : intraclass correlation coefficient, CI : confidence interval.

a : intratest repeatability, ICC(2,1), agreement.

b : test-retest reliability between two consecutive days, ICC(2,2), agreement.

\* : poor reliability.

이며, ICC(2,2) 및 그의 95 % 신뢰구간은 첫째 날과 둘째 날 검사 간의 검사-재검사 신뢰도 계수를 나타낸다.

### 3. Coupling motion

Table 2는 3개의 주평면에서의 경추 회전에 부수적으로 발생하는 커플링 모션들에 대한 통계량 및 신뢰도 지표를 나타낸다. 자료는 주평면에서의 주된 운동이 최대 관절가동범위에 도달할 때의 커플링 모션을 측정하여 계산한 것이다. 예를 들어, 주평면이 수평면이며, 주된 운동이 좌측 축회전(left rotation)일 경우에는 커플링 모션이 주평면이 아닌 다른 두개의 평면인 시상면과 관상면에서 나타나는데, 주된 운동인 좌측 축회전이 최대 관절가동범위에 도달하였을 때의 커플링 모션의 값을 측정하게 되고, 그 종류는 시상면에서 발생하는 신전(extension) 혹은 굴곡(flexion), 그리고 관상면에서 발생하는 좌측 측굴(left bending) 혹은 우측 측굴(right bending)의 두 가지를 가지게 된다. 주평면에서의 운동은 좌측 혹은 우측이 이미 결정된 상태이므로 방향이 관계가 없으나 커플링 모션은 양쪽 방향 모두 가능성이 있으므로 이를 구분하기 위하여 부호를 사용하였다. 양수는 우측 축회전(right rotation), 신전(extension), 우측 측굴(right bending)을 나타내고, 음수는 반대로 좌측 축회전(left rotation), 굴곡(flexion), 좌측 측굴(left bending)을 나타낸다. Day 1과 Day 2 및 다른 통계량의 의미는 Table 1과 같다.

## IV. 고 찰

본 연구는 MEMS-IMU로 이루어진 관성측정시스템을 이용한 경추관절가동범위 및 최대가동범위에서 발생하는 커플링 모션에 대한 측정행위 전반에 걸친 검사-재검사 신뢰도와 검사 내 반복성을 보고한 첫 연구이다.

첫째 날의 검사에서는 축회전(axial rotation)이 일어나는 수평면 위에서의 회전 운동은 좌측으로 61.64°, 우측으로 65.12°로 총 평균 126.76°의 축회전이 관찰되었다. 같은 방식으로 시상면에서는 신전 61.98°, 굴곡 52.81°로 총 평균 114.79°, 관상면에서는 좌측 측굴 39.31°, 우측 측굴 41.08°로 총 평균 80.39°가 관찰되었다. 검사 내 반복성의 ICC값 중 최솟값이 0.87로 매우 훌륭한(excellent) 반복성이 관찰되었다. 둘째 날의 검사에서는 수평면에서 총 121.17°, 시상면에서는 총 115.15°, 관상면에서는 총 82.61°가 관찰

되었고, 검사 내 반복성의 ICC의 최솟값 역시 0.77로 매우 훌륭한 반복성을 보였다. 첫째 날과 둘째 날 모두 평균적인 ICC는 0.93, 0.92로 모든 평면에서의 각 움직임이 평균적으로 매우 높은 반복성이 있음을 나타낸다. 기존 3축의 경사계를 기계적으로 이어붙인 CROM 장치를 이용한 연구<sup>27)</sup>에 의하면 증상이 없는 정상인의 가동범위는 수평면·시상면·관상면이 각 151°, 129.8°, 86.5°로 보고되었으며, 같은 장치를 이용한 또 다른 연구<sup>28)</sup>에 의하면 가동범위는 각각 120.3°, 111.3°, 68.3°로 보고되었다. 본 연구에서 쓰인 관성측정장치와 유사한 시스템을 이용한 연구<sup>17)</sup>에서는 125.8°, 92.3°, 73.8°로 보고한 바가 있다. 세 경우 모두 경추에 의학적·자각적으로 이상이 없는 피험자를 대상으로 한 연구이다. 그러나 피험자의 수가 각각 66명, 20명, 12명으로 많지 않은 숫자이며 연령대가 20대에서 70대까지 다양하게 존재하므로 표준범위로서의 대표성을 갖기는 어렵다. Table 1의 검사-재검사 신뢰도 계수는 각 평면에서의 운동에 대하여 신전(extension)은 측정된 0.74를 제외하고는 모두 훌륭한(excellent) 신뢰도를 보였으며 여섯 ICC의 평균은 0.86으로 계산되었다. 이 신뢰도는 기존의 OSI Spine Motion Analyzer(0.78~0.94<sup>29)</sup>), Zebris CMS 초음파 시스템(0.78~0.93<sup>30)</sup>), CA6000 Spine Motion Analyzer(0.75~0.92<sup>30)</sup>), CROM 장치(0.89~0.93<sup>28)</sup>), 0.84~0.96<sup>31)</sup>), 0.62~0.91<sup>7)</sup>), 0.61~0.86<sup>32)</sup>) 등과 비교하였을 때 만족스러운 신뢰도라고 할 수 있겠다. 상술한 위의 장비들이 각각의 단점이 있는 것을 고려할 때, 이렇게 높은 신뢰도는 MEMS-IMU를 이용한 경추관절가동범위의 측정이 보다 실용적이면서도 신뢰성이 있는 검사로 사용될 가능성을 시사한다.

Table 2에는 커플링 모션의 범위 및 반복성, 검사-재검사 신뢰도가 나타나있다. 본 연구에서 측정된 커플링 모션의 평균 범위는 최소 0.20°(우회전시 신전/굴곡, Day 2)에서 최대 15.08°(좌측 측굴시 축회전, Day 1)까지 분포하며, 전반적으로 측굴 시에 크게 측정되고, 축회전 시에 적게 측정되는 경향이 있다. 전자기장을 이용한 기존 연구<sup>33)</sup>에서 커플링 모션은 4.5°(굴곡 시 축회전)에서 16.6°(좌측 측굴 시 축회전)까지 측정되었으며, 측굴 시에 발생한 커플링 모션이 다른 주평면에서의 운동보다 크게 나타났다. 전자기장을 이용한 또 다른 연구<sup>34)</sup>에 의하면 5.3°(신전 및 굴곡 시 측굴)에서 11.6°(우측 측굴 시 축회전)의 커플링 모션이 보고되었으며, 두 가지 연구 모두 측굴 시 축회전의 커플링 모션이 크게 측정되었다. 이는 본 연구의 결과와 유사한 경향이라 할 수 있다.

커플링 모션에 대한 검사 내 반복성은 대체적으로 주평면에서의 운동에 비해 낮게 측정되었으며, 주평면의 종류

에 따라서 약간 다른 경향을 보인다. Table 2에서 볼 수 있듯이 주평면이 수평면인 경우에는 검사 내 반복성 ICC 값이 0.93~0.99로 매우 높게 측정되나, 주평면이 관상면인 경우에는 0.77~0.93으로 다소 낮게 측정되는 경향이 있다. 물론 모든 경우에 0.75보다 큰 값이므로 훌륭한 신뢰성을 보여주기는 하지만, 주평면이 관상면인 운동, 즉 측굴 운동에 있어서는 반복성이 다른 경우에 비해 조금 떨어질 수 있다는 점을 시사하며, 이는 이어서 언급할 검사-재검사 신뢰도의 경우에서도 비슷한 양상을 보인다.

커플링 모션의 검사-재검사 신뢰도의 경우에는 주평면이 수평면인 경우에는 ICC 값이 0.90~0.97로 매우 높은 훌륭한 신뢰도를 보이나, 주평면이 시상면과 관상면인 경우에는 좌측 측굴 시 관찰되는 시상면에서의 커플링 모션의 경우 값인 0.76을 제외하고는 대부분 타당한-좋은(fair to good) 신뢰도를 보여주며, 세 가지 경우-신전 시 관찰되는 축회전, 굴곡 시 관찰되는 측굴, 그리고 우측 측굴 시 관찰되는 신전/굴곡-에는 ICC값이 0.4 미만으로 좋지 않은(poor) 신뢰도가 측정되었다. 이는 해당하는 주평면 운동에서의 커플링 모션이 검사-재검사의 경우 재현성이 떨어질 수 있음을 시사하지만, 커플링 모션의 반복성 및 검사-재검사 신뢰도를 측정할 연구는 기존에 이루어진 것이 거의 없으므로 비교할 수 있는 자료가 없는 상태이다. 그리고 본 연구에서는 적은 대상자의 수로 인해 아웃라이어 데이터를 제거하는 과정을 거치지 않았으며, 특히 각도가 매우 적은 범위 내에서 민감하게 변하는 커플링 모션의 경우에는 이러한 아웃라이어가 영향을 주었을 것으로 생각된다. 또한 상술한 세 가지를 제외하고는 신뢰도가 타당한-좋은 수준 이상으로 측정되었고, 검사 내 반복성은 매우 높은 신뢰도를 보여주었으므로, MEMS-IMU를 이용한 커플링 모션 측정 검사의 신뢰도에 대한 정확한 평가를 위해서는 보다 많은 후속 연구가 필요하다.

하나의 측정행위가 임상적 의미를 보장할 타당성과 신뢰성을 위해서는 측정 시 따라야 할 표준화된 단계가 매우 중요하다<sup>28)</sup>하며, 검사 과정 전반에 걸쳐 엄격히 표준화가 되어야 한다. 본 연구에서는 발생할 수 있는 각종 편이(bias)를 최소화하기 위하여 모든 지시를 녹음된 내용을 재생하는 형태로 검사를 진행하였고, 눈을 감게 함으로써 시각적 자극에 의한 간섭을 제거하였고, 연속된 날의 비슷한 시간대(오전 혹은 오후)에 피험자들을 배치함으로써 24시간의 간격을 최대한 유지하기 위해 노력하였다. 본 연구는 비교적 엄격히 제어된 환경에서 무선 MEMS-IMU 시스템으로 경추관절 가동범위와 커플링 모션 측정을 시도한 새로운 연구이지만, 적은 대상자의 수, 아웃라이어에 관한 기준의 부재 등 몇 가지 단점이 있다. 또한 무선 MEMS-IMU 시스템을

이용한 경추관절 가동범위, 특히 커플링 모션 측정에 관해서는 아직 수행된 연구의 수가 적은 것도 현실이다. 이러한 단점을 극복하기 위한 후속 연구 외에도 정상군이 아닌 환자군을 대상으로 한 비교 임상 연구, 다양한 연령군에서 경추관절 가동범위의 골드 스탠다드에 관한 단면 연구, 기존에 사용되었던 장비와의 동시타당도 연구, 그리고 검사자 사이의 신뢰도에 대한 연구 등 다양한 후속 연구가 필요하다고 생각한다.

## V. 결 론

본 연구에서는 기존의 도구의 여러 단점을 극복할 실시간 측정 및 기록, 고성능 연산이 가능한 무선 MEMS-IMU를 이용하여 무선 경추관절 가동범위 측정장치를 구축하고, 경추관절 운동을 평가할 수 있는 지표인 주평면에서의 가동범위, 그리고 커플링 모션을 측정하는 검사행위 전반에 관하여 임상 데이터를 측정할 후 검사 내 반복성과 검사-재검사 신뢰도를 측정하여 보고하였다. 측정된 신뢰도는 기존의 연구에 비해 높거나 만족스러운 편이며, 보편적으로 받아들여지는 훌륭한 신뢰수준을 기록하였다. 커플링 모션의 측정에 있어서는 검사-재검사 신뢰도의 경우 약간 낮은 신뢰도를 보였으나, 기존에 연구된 바가 거의 없어 추후 지속적인 연구가 필요하다. 본 시스템은 높은 신뢰도와 검증된 타당도를 바탕으로 경추관절 가동범위의 측정 검사에 실용적으로 사용될 수 있으며, 나아가 타 관절에도 적용할 가능성이 있다.

## VI. References

1. Malmström EM, Karlberg M, Fransson PA, Melander A, Magnusson M. Primary and coupled cervical movements: The effect of age, gender, and body mass index. A 3-dimensional movement analysis of a population without symptoms of neck disorders. *Spine*. 2006 ; 31(2) : E44-E50.
2. Percy MJ, Tibrewal SB. Axial rotation and lateral bending in the normal lumbar spine measured by three-dimensional radiography. *Spine*. 1984 ; 9(6) : 582-7.
3. Koerhuis CL, Winters JC, Van der Helm FCT, Hof

- AL. Neck mobility measurement by means of the “Flock of Birds” electromagnetic tracking system. *Clin Biomech.* 2003 ; 18(1) : 14-8.
4. Lee SW, Draper ERC, Hughes SPF. Instantaneous center of rotation and instability of the cervical spine: A clinical study. *Spine.* 1997 ; 22(6) : 641-8.
  5. Cook C, Hegedus E, Showalter C, Sizer Jr PS. Coupling Behavior of the Cervical Spine: A Systematic Review of the Literature. *J Manipulative Physiol Ther.* 2006 ; 29(7) : 570-5.
  6. Buck CA, Dameron FB, Dow MJ, Skowlund HV. Study of normal range of motion in the neck utilizing a bubble goniometer. *Arch Phys Med Rehabil.* 1959 ; 40 : 390-2.
  7. Capuano-Pucci D, Rheault W, Aukai J, Bracke M, Day R, Pastrick M. Intratester and intertester reliability of the cervical range of motion device. *Arch Phys Med Rehabil.* 1991 ; 72(5) : 338-40.
  8. Canseco K, Albert C, Long J, Khazzam M, Marks R, Harris G. Postoperative Foot And Ankle Kinematics in Rheumatoid Arthritis. *J Exp Clin Med.* 2011 ; 3(5) : 233-8.
  9. Rahni AAA, Yahya I. Obtaining translation from a 6-DOF MEMS IMU – an overview. *Proceedings of 2007 Asia-Pacific Conference on Applied Electromagnetics*; 2007 Dec 4-6; Melaka, Malaysia. : art. no. 4603861, 2007.
  10. Castro WHM, Sautmann A, Schilgen M, Sautmann M. Noninvasive three-dimensional analysis of cervical spine motion in normal subjects in relation to age and sex: An experimental examination. *Spine.* 2000 ; 25(4) : 443-9.
  11. Park KN, Cynn HS, Kwon OY et al. Effects of the Abdominal Drawing-In Maneuver on Muscle Activity, Pelvic Motions, and Knee Flexion During Active Prone Knee Flexion in Patients With Lumbar Extension Rotation Syndrome. *Arch Phys Med Rehabil.* 2011 ; 92(9) : 1477-83.
  12. Liu T, Inoue Y, Shibata K, Tang X. A wearable inertial sensor system for human motion analysis. *Proceedings of IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation* ; 2005 Jun 27-30 ; Espoo, Finland : 409-13, 2005.
  13. Kim H, Kim JK, Seo JH, Park YJ, Park YB. Feasibility on Evaluation of Movement System Impairment Syndromes by MEMS-IMU. *J Soc Korean Med Diagn.* 2011 ; 15(3) : 223-34.
  14. Saber-Sheikh K, Bryant EC, Glazzard C, Hamel A, Lee RYW. Feasibility of using inertial sensors to assess human movement. *Man Ther.* 2010 ; 15(1) : 122-5.
  15. Ito T. Walking Motion Analysis Using 3D Acceleration Sensors. *Proceedings of EMS 2008, European Modelling Symposium, 2nd UKSim European Symposium on Computer Modeling and Simulation*; 2008 Sep 8-10; Liverpool, United Kingdom : 123-8, 2008.
  16. Henriksen M, Lund H, Moe-Nilssen R, Bliddal H, Danneskiold-Samsøe B. Test-retest reliability of trunk accelerometric gait analysis. *Gait Posture.* 2004 ; 19(3) : 288-97.
  17. Theobald PS, Jones MD, Williams JM. Do inertial sensors represent a viable method to reliably measure cervical spine range of motion? *Man Ther.* 2012 ; 17(1) : 92-6.
  18. Godfrey A, Conway R, Meagher D, O'laighin G. Direct measurement of human movement by accelerometry. *Med Eng Phys.* 2008 ; 30(10) : 1364-86.
  19. Tao Liu, Inoue Y, Shibata K, Morioka H. Development of wearable sensor combinations for human lower extremity motion analysis. *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation 2006*; 2006 May 15-19; Orlando, FL, United States : 1655-60, 2006.
  20. Cardarelli D. An integrated MEMS inertial measurement unit. *Proceedings of IEEE PLANS, Position Location and Navigation Symposium*; 2002 Apr 15-18; Palm Springs, CA, United States : 314-9, 2002.
  21. Warnasch, A, Killen A. Low cost, high G, Micro Electro-Mechanical Systems(MEMS), Inertial Measurements Unit(IMU) program. *Proceedings of IEEE PLANS, Position Location and Navigation Symposium*; 2002 Apr 15-18; Palm Springs, CA, United States : 299-305, 2002.
  22. Lee H, Nicholson LL, Adams RD. Cervical Range



- of Motion Associations with Subclinical Neck Pain, *Spine*, 2004 ; 29(1) : 33-40.
23. Strimpakos N, Sakellari V, Gioftos G et al. Cervical spine ROM measurements: Optimizing the testing protocol by using a 3D ultrasound-based motion analysis system, *Cephalalgia*, 2005 ; 25(12) : 1133-45.
  24. Vernon H, Mior S. The neck disability index: A study of reliability and validity, *J Manipulative Physiol Ther*, 1991 ; 14(7) : 409-15.
  25. Shrout PE, Fleiss JL. Intraclass correlations: Uses in assessing rater reliability, *Psychol Bull*, 1979 ; 86(2) : 420-8.
  26. Pinsault N, Vuillerme N. Test-retest reliability of centre of foot pressure measures to assess postural control during unperturbed stance, *Med Eng Phys*, 2009 ; 31(2) : 276-86.
  27. Smith K, Hall T, Robinson K. The influence of age, gender, lifestyle factors and sub-clinical neck pain on the cervical flexion-rotation test and cervical range of motion, *Man Ther*, 2008 ; 13(6) : 552-9.
  28. Audette I, Dumas JP, Côté JN, De Serres SJ. Validity and between-day reliability of the cervical range of motion(CROM) device, *J Orthop Sports Phys Ther*, 2010 ; 40(5) : 318-23.
  29. Petersen CM, Johnson RD, Schuit D. Reliability of cervical range of motion using the OSI CA 6000 Spine Motion Analyser on asymptomatic and symptomatic subjects, *Man Ther*, 2000 ; 5(2) : 82-8.
  30. Mannion AF, Klein GN, Dvorak J, Lanz C. Range of global motion of the cervical spine: Intraindividual reliability and the influence of measurement device, *Eur Spine J*, 2000 ; 9(5) : 379-85.
  31. Hole DE, Cook JM, Bolton JE. Reliability and concurrent validity of two instruments for measuring cervical range of motion: effects of age and gender, *Man Ther*, 1995 ; 1(1) : 36-42.
  32. Nilsson N. Measuring passive cervical motion: A study of reliability, *J Manipulative Physiol Ther*, 1995 ; 18(5) : 293-7.
  33. Guo LY, Lee SY, Lin CF et al. Three-dimensional characteristics of neck movements in subjects with mechanical neck disorder, *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2012 ; 25(1) : 47-53.
  34. Guo LY, Yang CC, Yang CH, Hou YY, Chang JJ, Wu WL. The feasibility of using electromagnetic motion capture system to measure primary and coupled movements of cervical spine, *J Med Biol Eng*, 2011 ; 31(4) : 245-54.