

## 실시간 목 자세 모니터링을 위한 웨어러블 센서를 이용한 두개척추각 추정

이재현 · 지영준

울산대학교 대학원 전기전자컴퓨터공학과 의용생체공학전공

### The Estimation of Craniovertebral Angle using Wearable Sensor for Monitoring of Neck Posture in Real-Time

Jaehyun Lee and Youngjoon Chee

*Interdisciplinary Program of Medical & Biological Engineering, University of Ulsan*

(Manuscript received 7 June 2018 ; revised 6 December 2018 ; accepted 18 December 2018)

**Abstract:** Nowadays, many people suffer from the neck pain due to forward head posture(FHP) and text neck(TN). To assess the severity of the FHP and TN the craniovertebral angle(CVA) is used in clinincs. However, it is difficult to monitor the neck posture using the CVA in daily life. We propose a new method using the cervical flexion angle(CFA) obtained from a wearable sensor to monitor neck posture in daily life. 15 participants were requested to pose FHP and TN. The CFA from the wearable sensor was compared with the CVA observed from a 3D motion camera system to analyze their correlation. The determination coefficients between CFA and CVA were 0.80 in TN and 0.57 in FHP, and 0.69 in TN and FHP. From the monitoring the neck posture while using laptop computer for 20 minutes, this wearable sensor can estimate the CVA with the mean squared error of 2.1 degree.

**Key words:** Craniovertebral angle, Forward head posture, Text neck, Wearable sensor, Posture correction

#### 1. 서 론

현대 사회에서 목 통증(Neck pain) 환자가 지속적으로 증가하고 있다. 사무직 근로자 512명을 대상으로 한 설문에서 한 해 동안 한 번 이상 목 통증의 경험이 있는 근로자는 45.5%, 지속적인 목 통증을 경험하는 근로자는 18.1%로 보고되었다[1]. 또한, 핀란드에서 근무하는 사무직 근로자 515명 대상으로 조사한 결과에서 근로자의 34.4%는 한 해 안에 목 통증의 경험이 있다고 하였고, 잘못된 근무 환경과 잘못된 자세를 주요 원인이라고 보고하였다[2].

목 통증을 유발하는 가장 주요한 자세는 거북목 자세와

텍스트넥 자세가 있다. 거북목 자세(Forward Head Posture, FHP)는 몸의 중심부로부터 앞으로 나오는 자세를 말한다. 텍스트넥 자세(Text Neck, TN)는 오랜시간 동안 스마트폰 또는 책에 있는 문자를 볼 때 취하는 자세(그림 1(c))로 척추질환이나 목 질환을 유발할 수 있다. 거북목 자세와 텍스트넥 자세를 장시간 유지하면 거북목이나 일자목과 같이 경추가 기형적으로 변형될 수 있다[3-5]. 그 이유는 머리를 15도 전방으로 기울이면 목에 가해지는 하중이 약 2배로 증가하고 45도 기울이면 약 20kg 하중이 척추와 어깨에 가해지기 때문이다[6].

목의 각도를 정량화하는 전통적인 방법으로 두개척추각(Cranio-Vertebral Angle, CVA)이 있다. 그림 1(a)에서 보이는 바와 같이 두개척추각은 X-Ray 혹은 광학 영상을 통해 C7(7번 경추)과 이주(耳珠, Tragus)를 잇는 직선이 수직선과 이루는 각도이다[7-8]. X-Ray 영상의 방사선 피폭, 병원 내에서만 촬영을 할 수 있다는 공간적 한계, 정지된 순간의 정보만을 제공하는 한계를 극복하기 위하여, 3D 모션

Corresponding Author : YoungJoon Chee  
University of Ulsan, 93, Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan,  
Republic of Korea

TEL: +82-10-6362-9524

E-mail : yjchee@ulsan.ac.kr

본 논문은 한국연구재단(NRF-2017R1A2B2005321)의 지원을 받아 수행되었음.

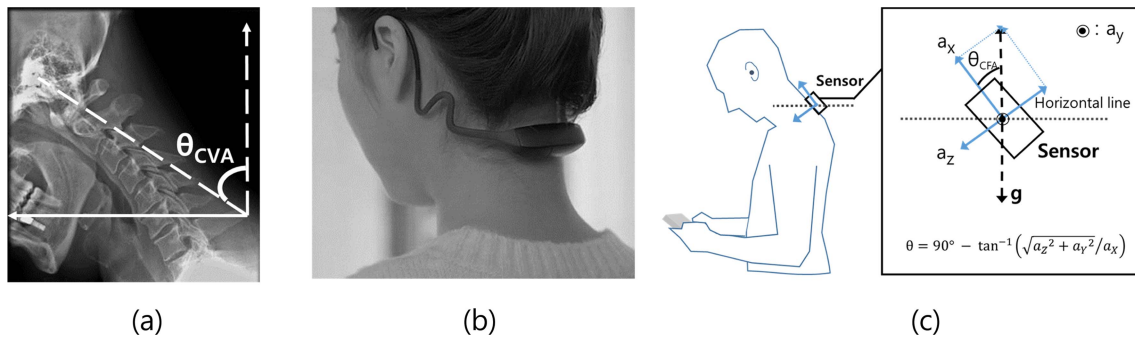


그림 1. (a) X-ray를 이용한 두개척추각 측정, (b)목 자세 측정 웨어러블 디바이스(ALEX, NAMU Inc., Korea) 착용사진, (c) 3축 가속도 센서로 경추굴절각을 측정하는 원리.

Fig. 1. (a) Measuring Craniovertebral angle using X-ray image, (b) The photo for putting on wearable device which can measure neck postures, (c) The measurement of cervical flexion angle using 3-axis accelerometer.

카메라 시스템 내에서 다양한 자세를 측정하고, 인체 주요 관절의 각도와 동작에 따른 변화를 측정할 수 있음이 보고 되었다[9]. 하지만 두개척추각을 이용하여 거북목 자세와 텍스트뷰 자세는 정량적인 수치로 판단는 것에 관련된 임상적인 연구는 적다. 또한, 자세와 목 통증과의 상관성을 밝혀내기 위해서는 순간적인 두개척추각 값의 정보로는 부족하다. 일상생활 중에 얼마나 많은 시간을 어떠한 자세로 유지했는가를 연속적이고 지속적인 자세 정보가 필요하기 때문이다. 일상생활 중의 목 자세 데이터를 많이 축적한다면 거북목 자세나 텍스트뷰를 정량적으로 분류할 수 있을 뿐만 아니라 통증과 자세의 상관성도 임상적으로 분석할 수 있을 것이라고 본다. 또한, 실시간으로 잘못된 자세에 대해서 리마인딩을 한다면 자세 교정이 가능하여 목 통증 예방에도 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

위에 언급한 한계점을 극복하기 위해 실시간 목 자세 모니터링을 위한 웨어러블 디바이스가 개발되었다[10]. 본 연구에서 사용하는 목 자세 측정 웨어러블 디바이스는 관성센서를 이용하여 목의 기울기를 측정하고, 시간정보와 목의 기울기를 기준으로 자세를 판단하고, 잘못된 자세에 대하여 피드백하고, 자세정보를 서버에 저장 할 수 있다(그림 1(b)). 목 자세 측정 웨어러블 디바이스는 C1부터 C7 사이의 각도를 측정하는데, 이 각도를 경추굴절각(Cervical Flexion Angle, CFA)이라 부르기로 한다. 자세 뿐만 아니라 척추의 기울기로 자세를 모니터링 하는 웨어러블 디바이스가 수 종 판매되고 있으나, 측정과 평가에 대한 정량적인 분석이나 연구가 부족하다.

본 논문에서는 경추굴절각과 두개척추각을 동시에 측정하고, 회귀분석하여 웨어러블 디바이스로 측정한 경추굴절각이 전통적인 목 각도 측정 방법인 두개척추각을 추정할 수 있는지 검증하는 것을 목표로 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 측정장치

본 실험에서 사용한 웨어러블 디바이스인 ALEX(NAMU Inc., Korea)는 3축 가속도센서(BMA250E, Bosch Sensortec., Reutlingen, Germany)를 이용하여 경추굴절각을 측정한다. 센서의 민감도는 ±2 g로 설정되어 있으며, 오차는 ±5 g이다. ALEX는 마이크로 컨트롤러인 NRF51822(Nordic semiconductor, USA)에 내장되어 있는 블루투스를 통해 측정된 각도를 휴대폰 앱으로 전송하고, 앱에서는 전송 받은 데이터를 저장한다. 3축 가속도센서를 이용하여 1초마다 10개의 가속도( $a_x, a_y, a_z$ )를 측정하고, 식(1)을 통해 경추굴절각 ( $\theta$ )을 계산한다. 머리와 목이 척추의 중심선 위에 올라서 바로 선 자세를 0도로 정의하고, 전방으로 수평한 위치의 기울기를 90도로 정의한다. 텍스트뷰처럼 목을 숙이거나 거북목 자세처럼 목을 앞으로 기울 때 경추굴절각은 점점 증가한다(그림 1(c)).

$$\theta = 90 - \tan^{-1} \left( \frac{\sqrt{a_z^2 + a_y^2}}{a_x} \right) \quad \text{식 (1)}$$

두개척추각의 측정도구로 3D 모션 카메라 시스템(Optitrack Motive, NaturalPoint, Inc. DBA, U.S.)을 사용하였다. 3D 모션 카메라 시스템은 6개의 모션 카메라를 통해 피험자 몸에 부착된 마커를 초당 100프레임으로 가상의 3D 공간에서의 상대적인 위치를 측정한다. 두개척추각은 이주와 C7을 잇는 벡터와 C7와 수직선을 이루는 벡터를 이용하여 두개척추각을 계산한다(그림 2(a)). 마커 3개는 시상면에 벡터를 투영하기 위한 모자에 부착되고, 다른 2개의 마커는 이주와 C7에 부착된다(그림 2(b)). 머리와 C7이 시상면에 일렬로 있어야 하는데, 머리가 시상면에서 벗어나게 되면 오차가 발생한다. 일렬로 나열된 3개의 마커를 시

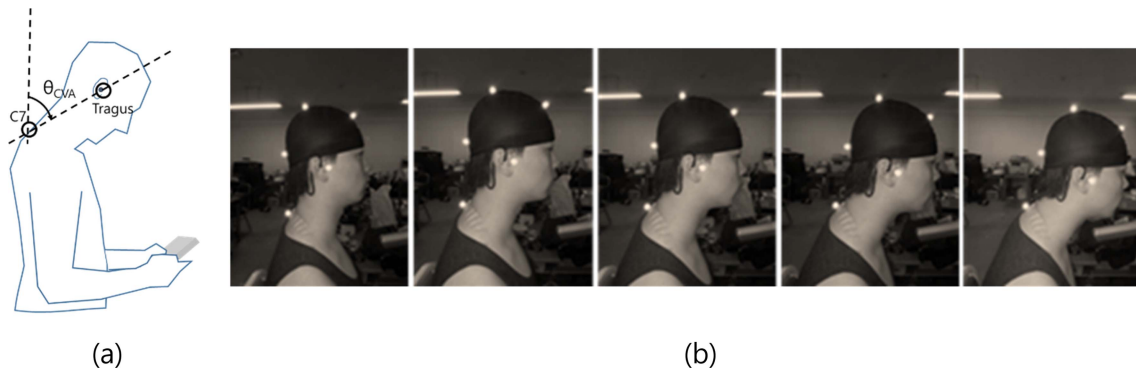


그림 2. (a) 3D 모션 카메라와 마커를 사용한 두개척추각 측정, (b) 1단계(바른 자세)부터 5단계(목 최대 기울임 자세)까지의 목 자세 변화 사례. Fig. 2. (a) The measurement of Craniovertebral angle using 3D motion camera system, (b) neck posture changes in 5 steps from upright to maximal poor posture.

상면으로 하고, 이주와 C7을 잇는 벡터를 시상면에 투영시켜 2D 카메라에서 발생할 수 있는 오차를 제거하였다.

## 2. 실험 절차

20대 남학생 15명(평균나이 = 24.3, 표준편차 = ±3.23)을 대상으로 실험을 진행하였다. IRB 위원회 동의를 받지 못하였으나 피실험자에게는 실험에 관련하여 자세히 설명하고, 구두로 동의는 받아 진행하였다. 피실험자는 목 자세 측정 웨어러블 디바이스와 3개의 마커가 부착된 모자를 착용하고, C7 그리고 이주에 마커를 부착한다. 거북목 자세를 1단계(바른자세)부터 5단계(목 최대 기울임 자세)로 나누고 각 단계의 목 각도는 피험자 임의로 설정한다. 피험자는 바른 자세에서 목을 최대 기울임 자세까지 총 5단계를 단계별로 5초 동안 유지하고, 이 과정을 3번 반복한다. 텍스트벡 자세에 대해서도 위 절차와 동일하게 반복하여 한 명의 피험자에게 총 30개의 데이터를 획득하였다(그림 2(b)). 목 각도는 1초의 평균 목 각도를 기기에서 계산하여 스마트폰으로 전송되고, 전송된 시간과 함께 스마트폰 내부 저장소에 저장된다. 3D 모션 카메라는 가상의 3축 좌표계 공간에서 마커의 위치를 저장한다. 좌표데이터는 100 Hz 빈도로 수집하였고, Matlab(Mathworks, U.S)을 이용하여 1초 동안의 평균 두개척추각을 계산하였다.

## 3. 분석 방법

거북목 자세와 텍스트벡 자세를 3D 모션 카메라로 측정한 두개척추각, 목 자세 측정 웨어러블 디바이스로 측정한 경추굴절각의 상관성을 분석하였다. 이를 통해, 가속도 센서가 두개척추각을 정량적으로 측정할 수 있는지 분석한다. 첫 번째로, 거북목 자세에서 모든 피험자의 각 단계별로 측정한 경추굴절각과 두개척추각을 회귀분석하였다. 텍스트벡 자세에 대해서도 같은 방법으로 모든 피험자의 각 단계별로

측정한 경추굴절각과 두개척추각을 회귀분석하였다. 마지막으로 거북목자세와 텍스트벡을 구분하지 않고 모든 피험자의 각 단계별로 측정한 경추굴절각과 두개척추각을 회귀분석하였다.

## III. 결 과

앞서 설명한 방법으로 측정된 각 단계에서의 경추굴절각(CFA, Cervical Flexion Angle)과 두개척추각(CVA, Craniovertebral Angle)을 그림 3에 나타내었다. 텍스트벡 자세에서의 CFA와 CVA의 상관계수는 0.80(RMSE = 6.16)로 높은 상관성을 보였으나 거북목 자세에서의 상관계수는 0.57(RMSE = 5.04)로 낮은 상관계수로 나타났다. 거북목 자세와 텍스트벡의 통합 회귀분석에서의 상관계수는 0.69(RMSE = 5.81)으로 나타났다(그림 3). 상관계수가 낮은 이유는 피험자마다 1단계인 바른자세에서의 경추굴절각과 두개척추각이 다르기 때문이다. 위 한계를 극복하기 위하여 절대적인 목의 각도가 아닌 바른자세로부터 얼마나 기울었는가를 보는 dCVA과 dCFA를 이용하였다(식(2)).

식(2)에서  $CVA_k$ 는 피험자의 k번째에 해당하는 두개척추각을 말하고,  $CVA_c$ 는 피험자의 바른 자세에 대한 두개척추각을 말한다.  $CFA_k$ 는 피험자의 k번째에 해당하는 경추굴절각을 말하고,  $CFA_c$ 는 피험자의 바른 자세에 대한 경추굴절각을 말한다.

$$dCVA_k = CVA_k - CVA_c, \quad dCFA_k = CFA_k - CFA_c \quad \text{식(2)}$$

절대적인 측정값인 CFA와 CVA가 아닌 각 피험자의 바른자세로부터 굴절된 각도를 나타내는 dCFA와 dCVA에 대해 회귀분석하였다. dCFA와 dCVA의 회귀분석도 CFA와 CVA의 회귀분석과 마찬가지로 텍스트벡과 거북목 자세, 그

리고 TN+FHP를 나누어서 결과를 분석하였다. dCFA와 dCVA의 분석에서 텍스트넥에서의 상관계수는 0.90(RMSE = 2.76), 거북목 자세에서의 상관계수는 0.82(RMSE = 3.44), TN+FHP에서의 상관계수는 0.85(RMSE = 3.18)로 CFA와 CVA의 상관도보다 더 높은 상관도를 보였다(그림 4).

#### IV. 토 의

CFA와 CVA의 상관계수(텍스트넥 자세 = 0.80, 거북목 자세 = 0.57)보다 dCFA와 dCVA의 상관계수(텍스트넥 자세 = 0.90, 거북목 자세 = 0.80)가 더 컸다. 두상과 목의 형상과 무관하게 목을 수직으로 했을 때 CFA는 0도에 가깝지만 CVA는 피험자마다 두상과 목의 형상이 달라 피험자마다 차이가 있다. 이 오차를 줄이기 위하여 각 피험자마다 바른 자세에서의 CFA와 CVA를 기억하여 초기치로 설정하고, 초기치에서 얼마나 기울었는지에 대해 나타내는 dCFA와 dCVA로 회귀분석 한 것이다.

dCFA와 dCVA를 사용하여 오차를 줄였지만 목을 기울이는 각도가 커질수록 오차가 커지는 현상이 있었다. dCFA와 dCVA의 차이에 대한 평균을 이용하여 오차의 원인을 분석하였다. 그림 5에서 빨강선은 평균, 파랑선은 퍼센트 95%, 검정색은 최대-최소, 빨강십자모양은 이상점을 의미한다. 1단계의 평균 각도(dCFA-dCVA) = 50.43(TN), 48.76(FHP), 5단계의 평균 각도 = 42.14(TN), 38.29(FHP)으로 1단계의 차이가 더 크다. 5단계 자세일수록 또한 거북목 자세일 때 dCFA-dCVA가 작아진다.

거북목 자세에서 dCFA와 dCVA의 상관계수가 텍스트넥 자세에서의 dCFA와 dCVA의 상관계수보다 낮은 이유는 피험자가 전방으로 목을 기울일 때 허리의 기울임을 제한하지 않은 것으로 생긴 오차로 생각된다. 그림 5에서 텍스트넥과 거북목 자세 모두 5단계 자세로 갈수록 dCVA과 dCFA의 차이가 증가하였다. 이것은 dCFA가 dCVA보다 고개를 숙일 때 각도의 증가치가 더 컸음을 의미한다. 피험자가 목을 기울일 때 흉추와 요추의 기울임도 같이 영향을 받는 것으

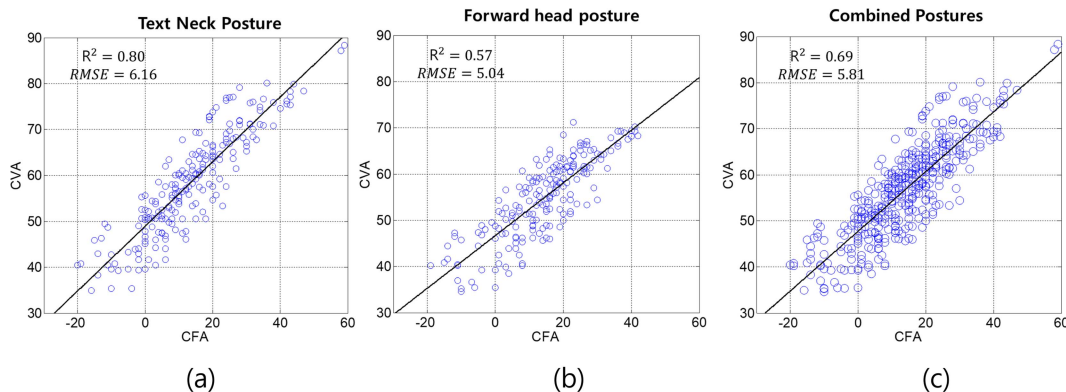


그림 3. CFA와 CVA 회귀분석 결과, (a) 텍스트넥 자세에서의 결과, (b) 거북목 자세에서의 결과, (c) 모든 자세에서의 결과.

Fig. 3. Results of regression analysis with CVA and CFA (a) The results in text neck postures (b) The results in forward head postures, (c) Results in text neck postures and forward head postures.

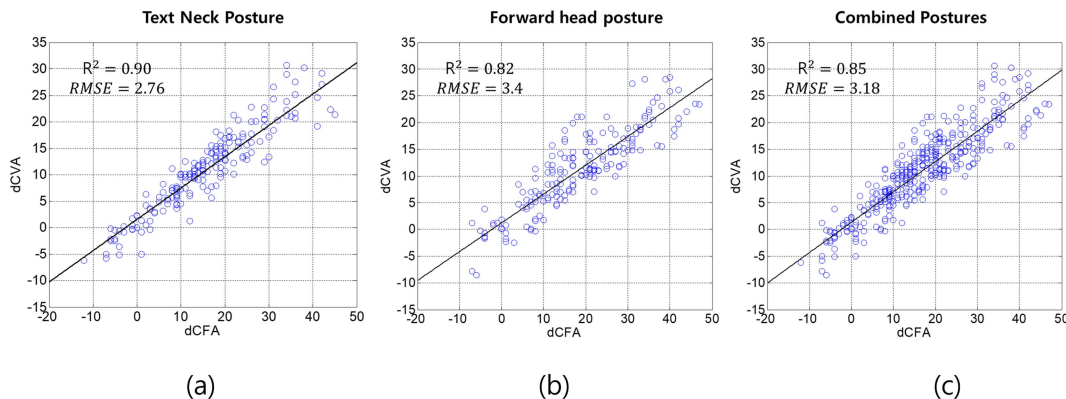


그림 4. dCFA와 dCVA 회귀분석 결과, (a) 텍스트넥 자세에서의 결과, (b) 거북목 자세에서의 결과, (c) 모든 자세에서의 결과.

Fig. 4. Results of regression analysis with dCVA and dCFA (a) The results in text neck postures (b) The results in forward head postures, (c) Results in text neck postures and forward head postures.

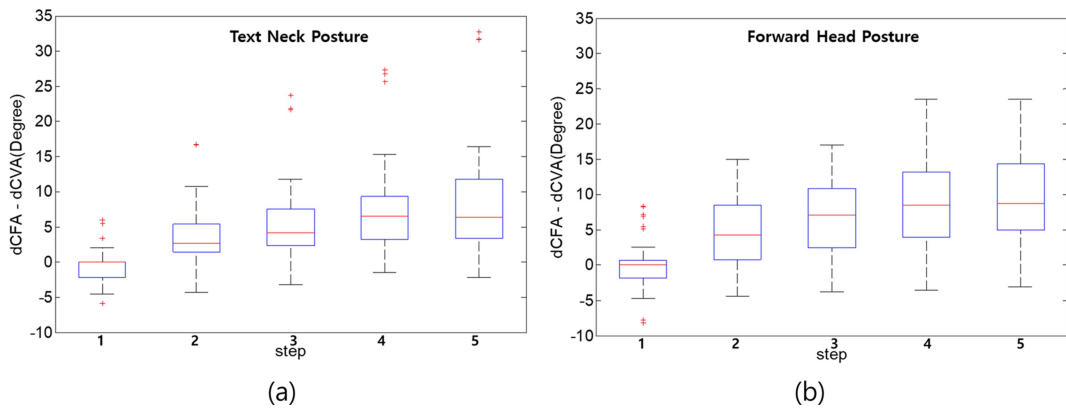


그림 5. 텍스트넥과 거북목 자세의 단계별 각도값 차이, (a) 각 단계별 텍스트넥에서의 dCVA-dCFA, (b) 각 단계별 거북목 자세에서의 dCVA-dCFA.

Fig. 5. Analyzing difference of coefficient of determination on text neck postures and forward head postures, (a) dCVA-dCFA in text neck postures on each step, (b) dCVA-dCFA in forward head postures on each step.

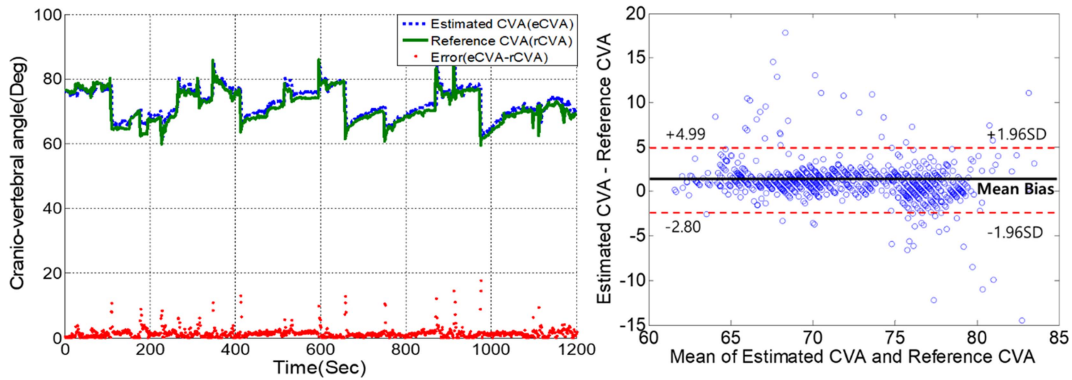


그림 6. 20분간 랩탑컴퓨터 사용환경에서의 (a) 시간에 따른 추정 CVA와 기준 CVA 비교와 오차, (b) 추정 CVA와 기준 CVA의 Bland-Altman 분석.

Fig. 6. (a) Plotting estimated CVA and reference CVA, (b) Bland-Altman analysis on estimated CVA with reference CVA on service environment of laptop compute for 20 minutes.

282

로 생각된다. 반면 두개척추각은 이주와 C7 그리고 수직선의 사이각을 의미하므로 C7아래의 척추뼈들의 굴곡의 영향이 적다. 또한 5단계의 dCVA-dCFA는 텍스트넥보다 거북목 자세가 약 2도가 더 크게 나타났다. 거북목 자세는 텍스트넥 자세와 달리 목을 전방으로 기울이는 자세이다. 따라서 거북목 자세가 텍스트넥 보다 허리굽힘에 영향을 더 크게 받고, 경추굴절각이 두개척추각보다 허리굽힘에 영향을 더 크게 받는 것으로 생각된다.

어 목 질환 원인 등은 분석할 수 없다. 연속적인 목 데이터를 측정하기 위해 웨어러블 디바이스를 이용할 수 있는데 목 질환을 판단하는 파라미터인 CVA는 웨어러블 디바이스로 측정할 수 있는지에 대한 근거가 없다. 웨어러블 디바이스로 측정하는 CFA로 CVA를 추정하고, 추정 CVA가 기준 CVA와의 오차를 비교하고 타당도를 평가하여 추정 CVA가 기준 CVA를 대체할 수 있는지를 검증할 필요가 있다. 본

연구는 한정된 장소에서 순간적으로 촬영하여 얻는 두개척추각을 연속적인 두개척추각으로 추정할 수 있다는 가능성을 제시한다. 웨어러블 디바이스를 이용하여 일상생활에서 두개척추각을 측정한다면 정량적으로 자세를 판단하여 잘못된 자세습관을 교정하는데 도움을 줄 수 있을 것이라고 생각된다.

### 참고문헌

[1] A. G. Silva, T. D. Punt, P. Sharples, J. P. Vilas-Boas, and M. I. Johnson, "Head posture and neck pain of chronic nontraumatic origin: a comparison between patients and pain-free persons," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, vol. 90, no. 4, pp. 669-674, 2009.

[2] B. Cagnie, L. Danneels, D. Van Tiggelen, V. De Loose, and D. Cambier, "Individual and work related risk factors for neck pain among office workers: A cross sectional study,"

- Eur. Spine J.*, vol. 16, no. 5, pp. 679-686, 2007.
- [3] T. Korhonen, R. Ketola, R. Toivonen, R. Luukkonen, M. Häkkänen, and E. Viikari-Juntura, "Work related and individual predictors for incident neck pain among office employees working with video display units," *Occup. Environ. Med.*, vol. 60, no. 7, pp. 475-482, 2003.
- [4] K. K. Hansraj, "Assessment of stresses in the cervical spine caused by posture and position of the head.," *Surg. Technol. Int.*, vol. 25, pp. 277-9, 2014.
- [5] C. H. T. Yip, T. T. W. Chiu, and A. T. K. Poon, "The relationship between head posture and severity and disability of patients with neck pain," *Man. Ther.*, vol. 13, no. 2, pp. 148-154, 2008.
- [6] L. J. Haughie, I. M. Fiebert, and K. E. Roach, "Relationship of Forward Head Posture and Cervical Backward Bending to Neck Pain," *J. Man. Manip. Ther.*, vol. 3, no. 3, pp. 91-97, Jan. 1995.
- [7] A. L. Harrison, T. Barry-Greb, and G. Wojtowicz, "Clinical Measurement of Head and Shoulder Posture Variables," *J. Orthop. Sport. Phys. Ther.*, vol. 23, no. 6, pp. 353-361, 1996.
- [8] C. Kerry, "Reliability of measuring natural head posture using the craniovertebral angle," *Irish Ergon. Rev.*, vol. 37, 2003.
- [9] M. D'Amico, E. Kinel, G. D'Amico, and P. Roncoletta, "A 3D Spine and Full Skeleton Model for Opto-Electronic Stereo-Photogrammetric Multi-Sensor Biomechanical Analysis in Posture and Gait," in *Innovations in Spinal Deformities and Postural Disorders*, InTech, 2017.
- [10] J. Lee, Y. Chee, J. Bae, H. Kim, and Y. Kim, "The Wearable Sensor System to Monitor the Head & Neck Posture in Daily Life," vol. 118, pp. 112-118, 2016.