JESK J Ergon Soc Korea 2018; 37(6): 667-679
http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2018.37.6.667
http://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Study of Neck Fatigue and Flexion-Relaxation Parameters Associated with Forward Head Posture (FHP) Risk Level in VDT Works

Yong-Ku Kong, Kyeong-Hee Choi, Jae-Min Shin, Jae-Kyeong Kim, Hyun-Ho Shim, Min-Uk Cho, Ju-Hee Lee

Sungkyunkwan University, Department of Industrial Engineering, Suwon-si, 16419

VDT 작업에서 두부전방자세 위험수준에 따른 목의 피로와 Flexion-Relaxation 변수에 관한 연구

공용구, 최경희, 신재민, 김재경, 심현호, 조민욱, 이주희

성균관대학교 산업공학과

Corresponding Author
Ju-Hee Lee
Sungkyunkwan University, Department of Industrial Engineering, Suwon-si, 16419
Mobile : +82-10-4102-3183
Email : heyj_hee@naver.com

Received : October 12, 2018
Revised : October 29, 2018
Accepted : November 26, 2018

Copyright@2018 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

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.

Objective: The aim of this study is to quantify the neck fatigue of the office worker in Visual Display Terminal (VDT) work using the parameters of the flexion-relaxation phenomenon.

Background: VDT work comprises a large proportion of the office worker' tasks. Although VDT work requires relatively less loads, it can stress the neck and shoulders of the workers who work for a long period time with awkward sitting postures. In spite of that many office workers are suffering from neck and shoulder pains, the current solution for musculoskeletal disorders of office workers is only a management approach. Thus, it is important to precisely quantify the fatigue of VDT workers for reducing the prevalence of musculoskeletal disorders in office workers and for improving working environment.

Method: For this experiment, 23 males were recruited to compare flexion-relaxation parameters such as Flexion-Relaxation Ratio (FRR) and On/Offset angle, and subjective discomfort (Borg CR-10 scale) before and after VDT task during 50 minutes. Participants were divided into two groups (forward head posture (FHP) high risk group and FHP low risk group) based on the pre-FHP test.

Results: FRP parameters changed after VDT task. The FRR was significantly decreased and On/Offset angles showed an increasing trend after the task. CVA was slightly lower in FHP high risk group during 50 minute of VDT task. Using this result, it was found that high risk group of FHP was maintained at a lower posture for a long time. In addition, the subjective discomfort also increased after task.

Conclusion: Based on these results, VDT work causes fatigue to the worker. And this fatigue can be quantified using FRP parameters. In addition, it was confirmed that FRR can be used as an index to confirm the abnormality of neck.

Application: These results can be used to quantify the fatigue caused by VDT work in office workers, and to further validate the improvement of musculoskeletal disorders.

Keywords: Visual Display Terminal (VDT), Forward Head Posture (FHP), Flexion-Relaxation Phenomenon, Flexion-Relaxation Ratio (FRR), Craniovertebral Angle (CVA)

1. Introduction

2017년 기준, 사무직 종사자는 전 직종의 28% 이상을 차지하고 있으며, 이들의 작업 대부분은 컴퓨터를 이용한 Visual Display Terminal (VDT) 작업으로 이루어진다(Ministry of Employment and Labor, 2017). 일반적으로 VDT 작업은 비교적 적은 부하가 요구되지만, 부적절한 자세로 장시간 계속될 경우, 작업자의 목과 어깨에 부담을 주어 근골격계질환을 유발시킬 수 있으며 특히, 주 20시간 이상의 VDT 작업을 수행하는 작업자는 더욱 큰 부하에 노출되어 있다(Hünting and Grandjean, 1981; Mekhora et al., 2000; Bergqvist et al., 1995; Lee et al., 2007). VDT 관련 근골격계질환 중, 거북목 증후군이라 불리는 두부전방자세(Forward Head Posture; FHP)는 대표적인 VDT 증후군이며, 경추의 안정화를 담당하는 cervical erector spine (CES)에 피로를 유발한다(Yoo et al., 2011). Kim et al. (2010) 연구에 따르면, 직업성 근골격계질환은 매년 증가 추세에 있으며, 근골격계질환 대상 또한 생산직에서 사무직까지 점차 확대되어 가고 있다. 실제로 전체 사무직 종사자 중 약 30%가 등, 목, 그리고 어깨 통증을 경험하고 있어(Yoo et al., 2006), 사무직 종사자를 위한 근골격계질환이 사회적인 문제로 대두되고 있다. 이에 맞춰 국내에서도 VDT 작업 개선을 위한 다양한 연구들이 진행되었다. Park and Kong (2006)은 사무작업에 체크리스트를 적용하여 인간공학적인 평가를 시도하였으며, Kim and Lee (2007)은 VDT 작업 중, 신체의 불편도를 최소화할 수 있는 휴식시간에 관한 가이드라인을 제시하였다. 하지만 이러한 꾸준한 연구에도 불구하고, 여전히 사무직 종사자의 근골격계질환의 해결법은 생산직 근로자의 해결법에 비해 많이 부족한 실정이다. 따라서 VDT 작업자의 근골격계질환 유병률의 감소와 작업 환경 개선을 위해서는 VDT 작업으로 인한 피로를 정확히 정량화할 필요가 있다.

근육의 피로도를 정량화 하는 도구에는 대표적으로 근전도 frequency 분석과 Flexion Relaxation Ratio (FRR) 등이 있다. 근전도 frequency 분석은 신뢰도가 높으며 근피로를 측정하는 가장 대표적인 방법이지만, 낮은 부하에는 뚜렷한 변화를 찾기 쉽지 않다는 단점이 있다. 그에 반해, FRR은 짧은 시간의 피로만으로도 변화가 나타나(Zabihhosseinian et al., 2015) 낮은 부하의 피로를 정량화하기 좋은 지표이며, EMG frequency와의 신뢰도 또한 0.92로 매우 높다. FRR은 최대 굴곡 전 근활성도가 낮아지는 현상인 Flexion Relaxation Phenomenon (FRP)의 변수 중 하나이며, 안정화를 담당하는 근육인 허리와 목에서 주로 관찰된다(Murphy et al., 2010). 이러한 현상이 나타나는 원인은 천근에서 감당해야 하는 부하가 passive tissue로 전이하거나(Panjabi, 1992a; Panjabi, 1992b; Colloca and Hinrichs, 2005), 혹은 심근으로 전이(Andersson et al., 1996; McGill et al., 1996)하기 때문으로 알려져 있다. 이러한 현상은 건강한 사람에게 주로 나타나며, 통증이 있거나 근육에 손상을 입은 환자에게는 뚜렷하게 나타나지 않는다는 특징이 있어, 환자의 재활 지표로 사용하거나 근육의 피로도를 평가할 수 있는 도구로서 사용된다(Watson et al., 1997; Airaksinen et al., 2005; Colloca and Hinrichs, 2005; Othman et al., 2008; Murphy et al., 2010; Maroufi et al., 2013; Nimbarte et al., 2014a, b). FRR의 유무를 결정짓는 기준은 2.5로, 이보다 낮을 경우에는 목에 통증이 있거나 이상이 있을 가능성이 높다고 볼 수 있다(Pialasse et al., 2009).

VDT 작업의 목 자세를 정량화 하는 여러 지표들 중, FHP를 판단하는 대표적인 지표인 craniovertebral angle (CVA)는 tragus와 C7을 잇는 점과 절대 수평선 사이의 각도를 말하며(Kim et al., 2011), FHP에 가까울수록 CVA가 낮아지는 경향이 나타난다(Raine and Twomey, 1997). 이전 연구들에 의해서 CVA는 FHP를 판단하는 대표적인 3가지 각도(Craniovertebral angle; CVA, Head Tilt Angle; HTA, Head Position Angle; HPA) 중 가장 신뢰도 있는 지표임이 증명되었다(Lee et al., 1995; Salahzadeh et al., 2014).

현재 VDT 작업에서의 목의 피로를 정량화한 연구들 중, FRP를 이용하여 VDT 작업의 피로를 정량화 한 연구는 매우 부족한 현실이다. 따라서, 본 연구의 목적은 FRP의 다양한 지표를 이용하여 VDT 작업에서의 목의 피로도를 정량화하고 거북목 위험수준(고위험군과 저위험군)에 따른 FRP 매개변수의 차이를 관찰하고자 한다.

2. Methods

2.1 Participants

본 연구는 VDT 작업에 익숙한 2~30대 대학원생 23명의 남성을 대상으로 이루어졌다. 각 피험자는 사전 FRR 결과에 따라(FRR 2.5; Pialasse et al., 2009), 고위험군(6명)과 저위험군(17명)으로 나누어 실험을 진행하였으며, 실험에 참가한 피실험자들의 신체적 특성은 아래의 Table 1과 같다.

Table 1. Participants' anthropometric data (mean ± SD)

Age (yr.)	Height (cm)	Weight (kg)	Sitting height (cm)
26.8±2.7	173.8±3.5	76.7±10.3	91.4±3.4

2.2 Experimental design

본 실험의 독립변수는 Task 전/후(Pre/Post)와 피험자 그룹(고위험군, 저위험군)이며, 각 종속변수에 대한 정의는 다음과 같다.

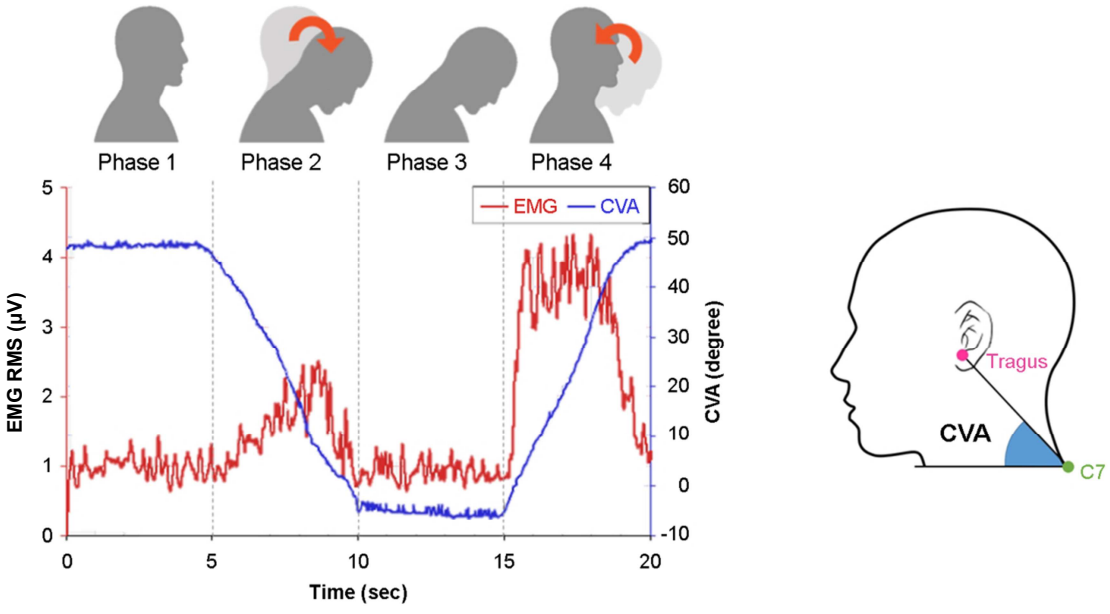
2.2.1 FRR

Figure 1.a에서의 Phase 3과 Phase 4의 EMG RMS 값의 비율로서, Equation (1)으로 정의된다.

$$\text{FRR} = \frac{Maximum\ EMG\ in\ Phase\ 4}{Average\ EMG\ in\ Phase\ 3} \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

2.2.2 Onset angle and offset angle

Figure 1.a에서, FRR이 시작 및 종료되는 각도로써, Onset angle은 phase 2에서 EMG amplitude가 maximum EMG in phase 4의 40% 이하가 되는 각도로 정의되며, Offset angle은 phase 4에서 maximum EMG in phase 4의 40% 이상이 되는 각도로 정의된다(Pialasse et al., 2009).



(a) (b)

Figure 1. CVA and EMG data during cervical flexion relaxation trials (a), CVA measurement (b)

2.2.3 CVA

Tragus와 C7을 잇는 선과 C7에서의 절대 수평선 사이의 각도를 말하며(Figure 1.b), 이 각도에 따라 크게 3가지 위험수준으로 구분된다(Kim, 2018).

Good: 48.7 ≤ x
Fair : 43.8 ≤ x < 48.7
Bad : x < 43.8

2.2.4 Subject discomfort rating

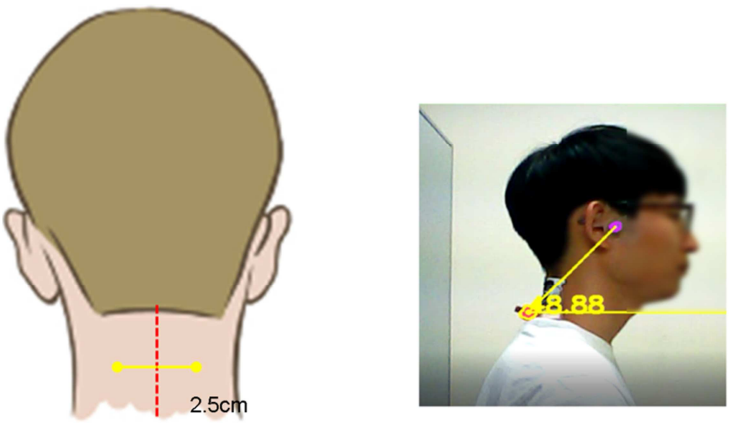
피험자가 느끼는 주관적인 불편도를 정량화하는 지표를 말하며, Borg's CR-10 scale을 이용하여 측정하였다. 주관적 불편도는 각각 task 전/후에 FRR test를 실시하기 전, 신체부위(목, 어깨, 허리)별로 측정하였다.

2.3 Instrumentation

본 연구는 목 근육의 근전도 평가를 위해 Noraxon사의 근전도 측정기 DTS System (TeleMyo 2400 DTS, Noraxon, Arizona, USA)을 사용하였다. DTS system은 Wi-Fi를 이용한 완전 무선 방식으로, 실험 중에도 큰 불편 없이 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 2개 채널을 사용하여, C4 수준의 cervical erector spine (CES)에 부착하였으며, 척추를 기준으로 양 옆으로 2.5cm 떨어진 위치에 전극을 Figure 2.a와 같이 부착하였다(Wirth and Cram, 1997).

목의 굴곡 각도는 Open CV를 이용한 프로그램을 통해 실시간으로 측정하였으며, 측정을 위해 Tragus와 C7에 마커를 부착하였다. 촬영은 피험자 오른편에 고정된 Web cam (HD Webcam C270, Logitech Korea)을 이용하여 촬영하였다(Figure 2.b).

EMG data와 Open CV data의 싱크를 맞추기 위해 두 프로그램이 동시에 측정을 시작할 수 있는 마우스 매크로를 제작하여 사용하였으며, 각각 1,000Hz, 10Hz의 간격으로 데이터를 수집하였다. EMG Data는 주파수 대역폭 80~250Hz로 필터링 하였다.



(a) (b)

Figure 2. Placement of electrodes (a), Placement of markers for CVA (b)

2.4 Experimental protocol

본 실험에 들어가기에 앞서, 실험자는 피험자의 기본적인 인체치수 등을 측정한 후, 피험자에게 실험의 목적과 방법, 주의사항 등의 실험 정보를 제공하였다. 이후, CVA 측정과 EMG 데이터 수집을 위해 C7과 Tragus에 마커와 CES에 전극을 각각 부착하였다.

우선, 목의 FRR test를 위해서, 피험자는 등을 기대지 않은 똑바로 앉은 자세에서 90° 무릎굴곡자세에서 시작하였다(Murphy et al., 2010). 테스트는 총 4개의 Phase로 나뉘어져 있으며, Phase 1은 중립자세에서 5초간 정면을 응시 및 유지하는 단계이고, Phase 2는 목을 5초간 천천히 최대 굴곡까지의 이르는 단계이며, Phase 3에서는 phase 2의 최대굴곡자세를 5초간 유지한 후, Phase 4에서 5초간 다시 phase 1의 중립자세로 회복하는 단계로 나뉜다. 이 때, 일정한 속도 유지를 위해 메트로놈을 이용하여 청각적 가이드라인을 제시하였으며, 실험자가 구두로 피드백을 주었다. Phase 1의 초기자세와 Phase 4의 마지막 자세를 일정하게 유지시키기 위해, 피험자의 눈높이에 해당하는 벽에 마커를 표시하여 시각적인 피드백을 제공하였다(Zabihhosseinian et al., 2015). 정확한 테스트를 위해 본 실험 전, 충분한 사전 연습을 수행하였다. 각 trial간에는 1분간의 휴식이 제공되었다. 본 테스트에서 도출된 결과를 이용하여, 피험자의 거북목 위험수준을 판단 및 분류하여 분석하였다.

VDT task는 모든 피험자에게 같은 조건을 제시하기 위해 피험자의 앉은 눈높이가 화면 상단부에서 1/3지점 높이에 오도록 조정하였다. Task는 Microsoft 파워포인트(PPT)를 이용하여 화면 왼편에 표시된 지문(Figure 3, left)에 따라 PPT를 만드는 작업을 수행하였으며 총 50분간 수행되었다(Figure 3, right) (Cho and Hwang, 2014). 주관적 불편도는 Borg's CR-10 Scale을 이용하여 목, 어깨, 그리고 허리에 대해 평가되었으며, 각각 Task 전/후에 수행되었다. 각 Scale에는 피험자의 이해를 돕기 위해 각 평가수준에 대한 설명(description)이 제공되었다.

(a) (b)

Figure 3. Example of VDT task (left: guideline screen, right: VDT task)

2.5 Statistical analysis

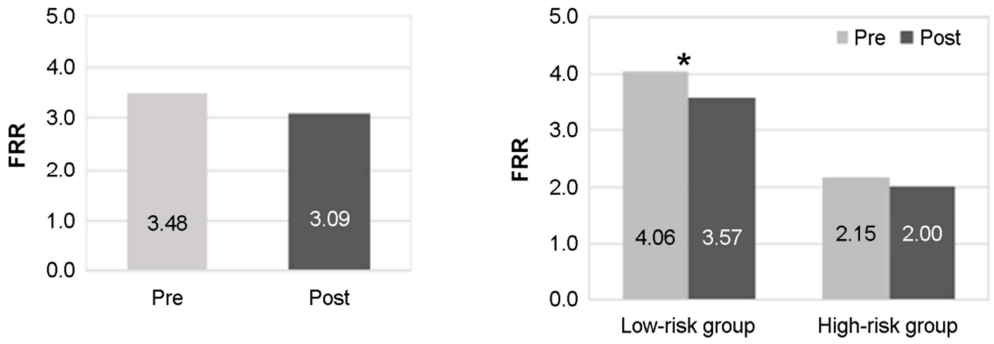
실험 전/후와 피험자 그룹에 따른 FRR, on/offset angle, 주관적 불편도 값을 비교하기 위해 Two-Way-ANOVA 분석을 실시하였으며, FRR, On/Offset angle의 경우에는 5번의 trial 중 최대, 최소값을 제외한 3번의 data가 분석을 위해 사용되었다. 피험자 그룹간의 CVA 평균을 비교하기 위해서는 독립 표본 T-검정을 실시하였다.

모든 통계분석은 SPSS 통계패키지(SPSS Inc, release 18.0, Chicago, Illinois, USA)를 이용하여 분석하였으며, 유의수준은(α)은 0.05로 선정하였다.

3. Results

3.1 FRR (Flexion Relaxation Ratio)

Task 전/후(Pre, Post)에 대한 주효과는 통계적으로 유의하였으며(p=0.015), Task 후의 FRR (3.09)은 Task 전의 FRR (3.48)보다 통계적으로 유의하게 감소하였다(Figure 4). Task 전/후와 피험자 그룹간의 교호작용은 저위험군(Pre: 4.06, Post: 3.57)은 고위험군(Pre: 2.15, Post: 2.00)보다 task 전과 후의 차이가 유의하게 큰 경향을 보였다.

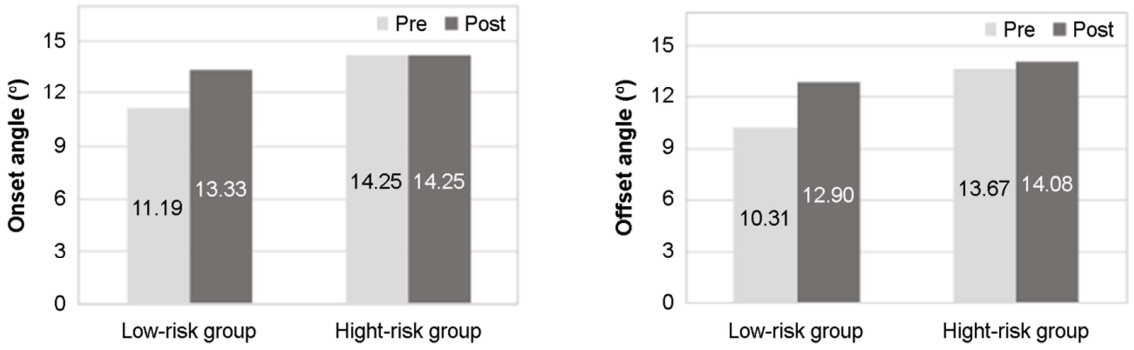


(a) (b)

Figure 4. The effect of pre/post on the FRR (a) and the interaction effect of pre/post and group on the FRR (b)

3.2 On/Offset angle

On/Offset angle에 대한 주효과와 교호작용은 모두 통계적으로 유의하지 않았다. 다만, On/Offset angle 모두 Task 후에 증가하는 경향이 나타나며, 저위험군보다 고위험군에서 더 높은 angle이 나타나는 경향을 보였다(Figure 5).



(a) (b)

Figure 5. Interaction effects of pre/post and group on the Onset angle (a), Offset angle (b)

3.3 Craniovertbral angle (CVA)

그룹간의 CVA의 평균은 통계적으로 유의하지는 않았지만, 일반적으로 고위험군 피험자 그룹의 CVA (41.03±3.71)가 저위험군의 CVA (45.19±7.43)에 비해 약 4° 정도 더 낮았다. 3가지 위험수준(Kim, 2018)에 해당하는 CVA의 분포를 피험자 그룹별로 분석한 결과(Figure 6), 이는 통계적으로 유의한 결과를 나타냈다(p=0.033). Good level (CVA가 48.7° 이상인 자세)의 경우, 저위험군(38.4%)은 고위험군(8.0%)에 비해 약 5배 정도 더 오래 좋은 자세를 보여준 반면, Bad level (CVA가 43.8° 이하인 자세)의 경우, 저위험군(45.2%)은 고위험군(71.2%)에 비해 상대적으로 낮은 비율을 보여주었다. Fair level (CVA가 43.8°과 48.7° 사이인 자세)의 경우는 저위험군(16.4%)과 고위험군(20.9%)의 차이가 통계적으로 유의하지 않았다.

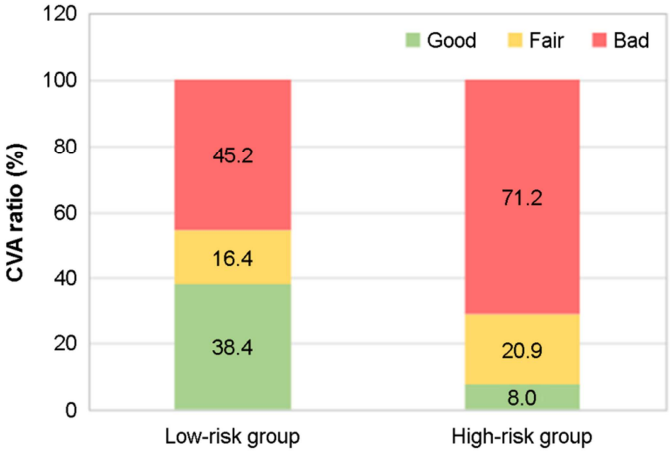


Figure 6. CVA ratios according to the 3 risk levels in both subjects' group

3.4 Subjective discomfort rating

Task 전과 후(pre/post)가 주관적 불편도에 미치는 영향은 통계적으로 유의한 요인으로 분석되었다(p=0.022). Task 후의 주관적 불편도는 2.98로 Task 전의 2.36보다 유의하게 큰 불편도를 보였다(Figure 7, left). 피험자 그룹에 따른 주관적 불편도 역시 유의하게 나타났는

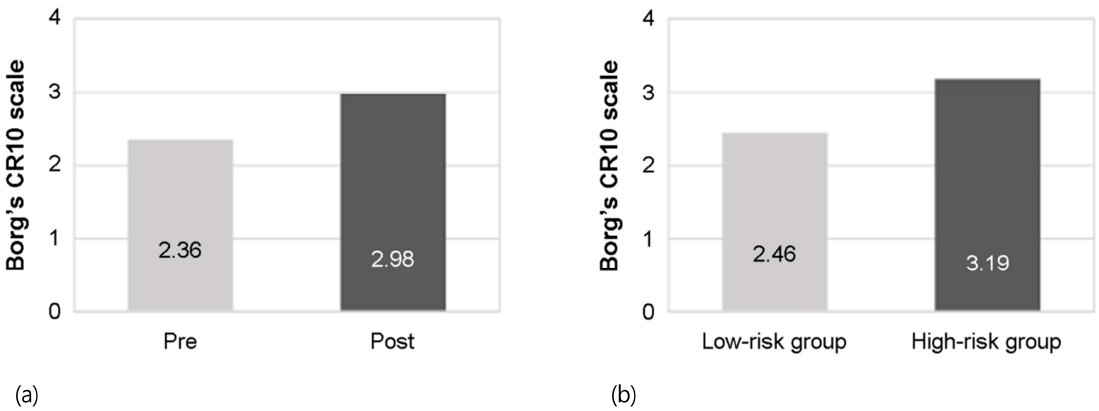


Figure 7. The effects of pre/post (a) and group (b) on the subject discomfort

데(p=0.015), 각각 저위험군, 고위험군에서 2.44, 3.19로 고위험군이 저위험군보다 더 높은 불편도를 나타내었다(Figure 7, right).

신체부위별 불편도 분석에서는 목(2.82), 어깨(2.60), 그리고 허리(2.59) 순으로 일반적으로 피험자 그룹에서 목에 대한 불편도가 어깨나 허리보다는 높게 나타났지만, 통계적으로 유의하지는 않았다(p=0.746). 비록, Task*그룹 및 그룹*신체부위간의 교호작용 또한 모두 통계적으로 유의하지 않았지만, 피험자 그룹에 따라 신체 불편도 경향이 다르게 나타났다. 일반적으로 저위험군은 목, 어깨, 허리 순으로 불편도가 나타난 것에 반해, 고위험군은 허리, 목, 어깨 순으로 불편도가 높게 나타났다(Table 2).

Table 2. Subjective discomfort of body parts in both high-/ low-risk group

	Low-risk group				High-risk group			
	Total	Neck	Shoulder	Back	Total	Neck	Shoulder	Back
Pre	2.15	2.44	2.25	1.75	2.83	2.71	2.57	3.21
Post	2.73	2.94	2.63	2.63	3.55	3.50	3.36	3.79
Average	2.44	2.69	2.44	2.19	3.19	3.11	2.97	3.50

4. Discussion & Conclusion

본 연구에서는 VDT 작업으로 인한 피로를 정량화하기 위해 다양한 FRP 매개변수(CVA, FRR, On/Offset angle, 주관적 불편도)를 이용하였으며, FRR 2.5를 기준으로 거북목 고위험군과 저위험군으로 나누어 분석하였다.

목의 피로를 검증하기 위해 사용된 FRR은 주로 목의 통증이나 이상을 판단하는 지표로서 사용된다. 목에 이상이 있는 경우, 그렇지 않은 경우보다 FRR이 낮게 나타나며(Murphy et al., 2010; Maroufi et al., 2013; Zabihhosseinian et al., 2015), 이는 통증이 심한 환자는 물론이고, 통증이 적은 경우 또는 통증이 없더라도 목의 이상 여부를 판단할 수 있는 것으로 밝혀졌다(Murphy et al., 2010). 이런 기존의 연구결과를 바탕으로 본 실험은 목의 이상을 판단하는 2.5를 기준(Pialasse et al., 2009)으로 피험자군을 결정한 후, 결과를 분석하였다. 결과적으로, Task 후의 FRR은 저위험군에서는 통계적으로 유의하게 감소한 반면, 고위험군의 감소는 유의하지 않았다. 이는 Zabihhosseinian et al. (2015)의 연구와 비슷한 맥락으로 해석될 수 있다. 이 연구팀의 실험에서는 CES의 70% MVC를 연속적으로 발휘하여 피로하게 한 후에 목 통증환자와 대조군으로 나누어 FRR을 비교하였는데, 대조군은 피로 후에 유의하게 FRR이 감소한 반면, 목 통증환자는 소폭 증가하는 결과가 나타나 본 연구와 일치하는 경향을 나타내었다. 이 연구의 저자는 이러한 원인을 Slow twitch (type Ⅰ)의 비율 차이라고 설명하였다. 목에 통증이 있는 환자군은 사고 혹은 여러 이유로 피로에 강한 Slow twitch (type Ⅰ)에 손상을 입어 피로도에 민감한 Fast twitch (type Ⅱ)의 비율이 높기 때문에 일상적인 행동에서조차 피로감을 느끼며, 이 때문에 추가적인 부하로 인한 감소폭이 상대적으로 적게 나타난다고 해석하였다.

본 실험에서 FRP parameter는 task 후에 변화하는 양상을 보였다. FRR은 피로 후에 유의하게 감소하였으며, On/Offset angle은 유의하지 않았지만, 모두 피로 후에 증가하는 추세를 보였다. 이는 이전 연구와 동일한 결과로, 모두 피로 후에 FRR이 감소하고, On/Offset angle이 증가(Relaxation phase가 증가하는 방향)하였다(Descarreaux et al., 2008; Nimbarte et al., 2014a, b; Zabihhosseinian et al., 2015). 이러한 결과의 원인은 신경근의 변화에 의해 나타나며, 안정화를 담당하고 있는 근육(CES)이 피로함에 따라 근육 내부의 발화율이 증가하여 동일한 모멘트에도 amplitude가 증가하게 되고, 이로 인해 최대굴곡 구간인 phase 3 (relaxation phase)에서의 amplitude가 증가되어 결과적으로 FRR은 감소하게 된다(Nimbarte et al., 2014a). On/offset angle의 증가도 같은 맥락으로 이해할 수 있는데, 이미 피로한 근육은 굴곡에 의한 모멘트를 충분히 지지할 수 없기 때문에 더 빨리 심근 혹은 passive structure에서 그 역할을 수행하게 되며 이는 relaxation phase의 길이가 증가(on/offset angle 증가)를 야기시킨다(Descarreaux et al., 2008; Shin and Yoo, 2014b; Zabihhosseinian et al., 2015). 이러한 주장은 척추 안정 시스템 중 하나가 피곤해지면 다른 시스템에서 보완한다는 Panjabi 이론의 한 부분과 같은 맥락이라고 할 수 있다(Panjabi, 1992a, b).

다만, 본 연구에서 On/Offset angle의 결과가 유의한 차이를 보이지 않은 이유는 task의 난이도 차이에서 비롯한 것으로 보인다. 기존의 'Sorenson Fatigue Protocol' (Lee et al., 2005), '일정시간 동안의 Overhead work' (Shin et al., 2012), 또는 'CES의 반복적인 70%MVC 발휘'(Zabihhosseinian et al., 2015)와 같이 단시간에 많은 피로를 유도한 후의 분석에서는 On/Offset angle의 차이가 통계적으로 유의한 차이를 보인 반면, '스마트 폰의 사용 자세에 따른 목의 피로 여부'(Shin and Kim, 2014), 또는 '30분간 VDT Task 수행'(Shin and Yoo, 2014a) 등과 같이 비교적 낮은 부하조건에서의 분석에서는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 따라서, 후자의 연구팀들과 같이 비교적 낮은 부하를 요구하는 본 연구의 실험조건에서 On/Offset angle이 통계적으로 유의하지 않은 것을 설명할 수 있을 것이다.

VDT task 시 목의 자세를 정량화 하기 위해 측정한 CVA는 고위험군에서 저위험군보다 4° 정도 더 낮은 값이 나타났으며, 이는 고위험군이 FHP의 경향이 좀 더 강하다는 것을 의미한다. FHP는 낮은 CVA에서 나타나며(Raine and Twomey, 1997), 머리의 무게를 지탱하기 위해 목과 어깨에 더 많은 부담을 받게 된다(Yoo et al., 2006). 이는 중립자세의 3.6배에 해당하며(Sauter et al., 1991) 앉은 자세에서는 그 경향이 더욱 심해져 목에 많은 부하를 주는 것으로 보고된다(Chae, 2002). 본 실험의 CVA 위험수준분포(Figure 6)에서도, 고위험군은 저위험군보다 Good level (47.8° ≤ CVA)에 해당하는 CVA의 분포가 적은 반면, Bad level (43.8° ≥ CVA)에 해당하는 CVA의 분포는 더 많이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 비록 의학적인 기준이 아닌 FRR을 이용하여 분류하더라도, FRR이 2.5보다 낮은 그룹은 거북목으로 진행될 확률이 높음을 의미한다고 말할 수 있다.

추가적으로, 주관적 불편도 역시 고위험군이 저위험군보다 목의 주관적 불편도가 높게 나와, FRR이 목의 이상 여부를 분류할 수 있는 기준이 된다는 또 하나의 근거자료가 될 수 있다.

이러한 결과를 종합하여 봤을 때, VDT 작업은 목에 피로를 유발하며, 이 때 발생한 피로는 FRR을 이용하여 정량화 할 수 있음을 나타낸다. 본 연구의 한계점으로는 피험자 그룹간의 수의 차이가 커서 결과를 일반화하기에 다소 어려울 수 있다는 한계가 있다. 다만, 본 연구 결과는 이전 연구 결과와 모두 동일한 양상을 보이므로, 어느 정도의 신뢰성은 확보했다고 볼 수 있으며 향후 추가적인 실험을 통해 보완할 수 있을 것이라 생각된다.

Acknowledgement

This research was supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF), funded by the Ministry of Education [NRF-2016R1D1A1A09918189].

References

Airaksinen, M.K., Kankaanpää, M., Aranko, O., Leinonen, V., Arokoski, J.P. and Airaksinen, O., Wireless on-line electromyography in recording neck muscle function: a pilot study, *Pathophysiology*, 12(4), 303-306, 2005.

Andersson, E.A., Oddsson, L.I.E., Grundström, H., Nilsson, J. and Thorstensson, A., EMG activities of the quadratus lumborum and erector spinae muscles during flexion-relaxation and other motor tasks, *Clinical Biomechanics*, 11(7), 392-400, 1996.

Bergqvist, U., Wolgast, E., Nilsson, B. and Voss, M., The influence of VDT work on musculoskeletal disorders, *Ergonomics*, 38(4), 754-762, 1995.

Chae, Y.W., The measurement of forward head posture and pressure pain threshold in neck muscle. *The Journal of Korean Physical Therapy*, 14(1), 117-124, 2002.

Cho, Y.K. and Hwang, S., The Effect of Computer Monitor Height on Flexion-Relaxation Phenomenon in the Cervical Spine, *Holistic Health Science*, 4(1), 25-33, 2014.

Colloca, C.J. and Hinrichs, R.N., The biomechanical and clinical significance of the lumbar erector spinae flexion-relaxation phenomenon: a review of literature, *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 28(8), 623-631, 2005.

Descarreaux, M., Lafond, D., Jeffrey-Gauthier, R., Centomo, H. and Cantin, V., Changes in the flexion relaxation response induced by lumbar muscle fatigue, *BMC Musculoskeletal Disorders*, 9(10), 1-9, 2008.

Hünting, W. and Grandjean, T.L.E., Postural and visual loads at VDT workplaces I. Constrained postures, *Ergonomics*, 24(12), 917-931, 1981.

Kim, E.J., Kim, J.W. and Park, B.R., Effects of sling exercise program on muscle activity and cervical spine curvature of forward head posture, *The Journal of the Korea Contents Association*, 11(11), 213-220, 2011.

Kim, E.J., Effects of turtle neck syndrome on respiratory volume according to posture, Department of Physical Therapy, *The Graduate School, Daegu Catholic University*, 2018.

Kim, K.S., Park, J.K. and Kim, D.S., Status and characteristics of occurrence of work-related musculoskeletal disorders, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, *29*(4), 405-422, 2010.

Kim, Y.C. and Lee, J.P., A study on the short break time on VDT work using EMG. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(4), 41-47, 2007.

Lee, E.C., Kim, H.C., Jung, D.Y., Kim, D.H., Lee, J.H. and Park, S.G., Association between job-stress and VDT work, and musculoskeletal symptoms of neck and shoulder among white-collar workers, *Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine*, 19(3), 187-195, 2007.

Lee, H., Nicholson, L.L. and Adams, R.D., Neck muscle endurance, self-report, and range of motion data from subjects with treated and untreated neck pain, *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 28(1), 25-32, 2005.

Lee, W.Y., Okeson, J.P. and Lindroth, J., The relationship between forward head posture and temporomandibular disorders, *Journal of Orofacial Pain*, 9(2), 161-167, 1995.

Maroufi, N., Ahmadi, A. and Khatir, S.R.M., A comparative investigation of flexion relaxation phenomenon in healthy and chronic neck pain subjects, *European Spine Journal*, 22(1), 162-168, 2013.

McGill, S., Juker, D. and Kropf, P., Appropriately placed surface EMG electrodes reflect deep muscle activity (psoas, quadratus lumborum, abdominal wall) in the lumbar spine, *Journal of Biomechanics*, 29(11), 1503-1507, 1996.

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.

Ministry of Employment and Labor (MOEL), Survey for work type of employment 2017, http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=-118&tblId=DT_118N_PAYM29&conn_path=I2 (retrieved 20 August 2018).

Murphy, B.A., Marshall, P.W. and Taylor, H.H., The cervical flexion-relaxation ratio: reproducibility and comparison between chronic neck pain patients and controls, *Spine*, 35(24), 2103-2108, 2010.

Nimbarte, A.D., Zreiqat, M. and Ning, X., Impact of shoulder position and fatigue on the flexion-relaxation response in cervical spine, *Clinical Biomechanics*, 29(3), 277-282, 2014a.

Nimbarte, A.D., Zreiqat, M.M. and Chowdhury, S.K., Cervical flexion-relaxation response to neck muscle fatigue in males and females, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 24(6), 965-971, 2014b.

Othman, S.H., Ibrahim, F., Omar, S.Z. and Rahim, R.B.A., "Flexion relaxation phenomenon of back muscles in discriminating between healthy and chronic low back pain women", *Proceeding of the 4th Conference on Biomedical Engineering*, 21 (pp. 199-203), Kuala Lumpur, 2008.

Panjabi, M.M., The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement, *Journal of Spinal Disorders*, 5, 383-383, 1992a.

Panjabi, M.M., The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis, *Journal of Spinal Disorders*, 5, 390-390, 1992b.

Park, H.S. and Kong, T.S., Investigation of the Validity of a Self-administered Checklist for Office Ergonomics, *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 25(2), 77-84, 2006.

Pialasse, J.P., Dubois, J.D., Choquette, M.H.P., Lafond, D. and Descarreaux, M., Kinematic and electromyographic parameters of the cervical flexion-relaxation phenomenon: the effect of trunk positioning, *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 52(1), 49-58, 2009.

Raine, S. and Twomey, L.T., Head and shoulder posture variations in 160 asymptomatic women and men, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 78(11), 1215-1223, 1997.

Salahzadeh, Z., Maroufi, N., Ahmadi, A., Behtash, H., Razmjoo, A., Gohari, M. and Parnianpour, M., Assessment of forward head posture in females: observational and photogrammetry methods, *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 27(2), 131 -139, 2014.

Sauter, S.L., Schleifer, L.M. and Knutson, S.J., Work posture, workstation design, and musculoskeletal discomfort in a VDT data entry task, *Human Factors*, 33(2), 151-167, 1991.

Shin, H. and Kim, K., Effects of cervical flexion on the flexion-relaxation ratio during smartphone use, *Journal of Physical Therapy Science*, 26(12), 1899-1901, 2014.

Shin, S.J., An, D.H., Oh, J.S. and Yoo, W.G., Changes in pressure pain in the upper trapezius muscle, cervical range of motion, and the cervical flexion-relaxation ratio after overhead work, *Industrial Health*, 50(6), 509-515, 2012.

Shin, S.J. and Yoo, W.G., Changes in cervical range of motion, flexion-relaxation ratio and pain with visual display terminal work. *Work*, 47(2), 261-265, 2014a.

Shin, S.J. and Yoo, W.G., Changes in neck and back pain, cervical range of motion and cervical and lumbar flexion-relaxation ratios after below-knee assembly work, *Journal of Occupational Health*, 56(2), 150-156, 2014b.

Watson, PJ., Booker, C.K., Main, C.J. and Chen, A.C.N., Surface electromyography in the identification of chronic low back pain patients: the development of the flexion relaxation ratio, *Clinical Biomechanics*, 12(3), 165-171, 1997.

Wirth, D.P. and Cram, J.R., Multisite surface electromyography and complementary healing intervention: a comparative analysis, *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 3(4), 355-364, 1997.

Yoo, W.G., Yi, C.H. and Kim, M.H., Effects of a proximity-sensing feedback chair on head, shoulder, and trunk postures when working at a visual display terminal, *Journal of Occupational Rehabilitation*, 16(4), 631-637, 2006.

Yoo, W.G., Park, S.Y. and Lee, M.R., Relationship between active cervical range of motion and flexion-relaxation ratio in asymptomatic computer workers, *Journal of Physiological Anthropology*, 30(5), 203-207, 2011.

Zabihhosseinian, M., Holmes, M.W., Ferguson, B. and Murphy, B., Neck muscle fatigue alters the cervical flexion relaxation ratio in sub-clinical neck pain patients, *Clinical Biomechanics*, 30(5), 397-404, 2015.

Author listings

Yong-Ku Kong: ykong@skku.edu
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Pennsylvania State University
Position title: Professor, Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Finger/Hand Modeling

Kyeong-Hee Choi: kyunghe7@naver.com
Highest degree: M.S., Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: Ph.D., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, Hand Functionality, Rehabilitation

Jae-Min Shin: woals8812@gmail.com
Highest degree: B.S., Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Occupational Safety and Health, Health care

Jae-Kyeong Kim: kjg9244@naver.com
Highest degree: B.S., Division of Mechatronics Environmental Engineering, Dongseo University
Position title: M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Occupational Safety and Health, Rehabilitation Engineering, Robot Control System, Human Computer Interaction

Hyun-Ho Shim: shim2906@naver.com
Highest degree: B.S., Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Occupational Safety and Health, Rehabilitation

Min-Uk Cho: crayonmm@naver.com
Highest degree: Undergraduate student, Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University
Position title: B.S., Department of Systems Management Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Occupational Safety and Health

Ju-Hee Lee: heyj_hee@naver.com
Highest degree: B.S., Department of Civil, Safety and Environmental Engineering, Hankyong National University
Position title: M.S., Candidate, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Areas of interest: Physical Ergonomics, WMSDs, Occupational Safety and Health, Rehabilitation