Ergonomic Evaluation of Trunk-Forearm Support Type Chair

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to investigate the effects of trunk-forearm supported sitting on trunk flexion angle, trunk extensors fatigue and seat contact pressure..

Background: The relationship between sitting posture and musculoskeletal disorders of the trunk extensor fatigue and seat contact pressure has been documented. The trunk-forearm support type ergonomic chair was devised from the fact that trunk-forearm support has been reported to reduce trunk extensor activity and discomfort.

Method: Three different sitting posture; upright(P_1), trunk-forearm supported(P_2) and normal sitting(P_3), six healthy subjects participated in the study. Motion capture system was used to collect head and trunk flexion angle, and surface electromyography(sEMG) was used to collect myoelectric signal of upper trapezius, lower trapezius, erector spinae, multifidus and pressure mat system was used to measure seat contact pressure.

Results: When trunk-forearm were supported by on the ergonomic chair, head flexion angle showed upright > trunk-forearm supported > normal, muscle fatigue showed less than upright and normal sitting. Mean seat contact pressure decreased 19% than upright sitting. But muscle fatigue did not affected by each condition.

Conclusion: Trunk-forearm supported sitting of the ergonomic chair showed positive effect in respects of trunk and head flexion angle, trunk extensor fatigue, seat contact pressure. To acquire comprehensive understanding of the effectiveness of the ergonomic chair, further studies such as anatomical effects from measurement of external applied loading effect to the body from interface pressure analysis are required.

Application: The results of the publishing trend analysis might help physiological effects of trunk-forearm support type chair.

Keywords

Trunk-forearm support, Ergonomic chair, Trunk flexion angle, Trunk extensors fatigue, Seat contact pressure

1. Introduction

최근 컴퓨터의 활용 및 정보통신을 통한 업무형태의 변화 등으로 영상표시단말기 (Visual Display Terminal: VDT)를 이용하는 사무작업이 많아지면서 대부분의 사무작업자들은 하루 일과 중 약 75%이상의 시간을 의자에 앉아서 보내고 있다(Lee et al., 1997). 의자에 앉는 자세가 바르지 못할 경우에는 사용자의 신체 균형이 무너지면서 허리디스크나 척추측만증, 그리고 목 디스크와 같은 근골격계 질환에 노출되기 쉽다(Lee., 2007). Park(2005)은 영상표시단말기를 사용하는 사무작업자들의 근·골격계 질환 발생률이 20~40%에 이르는 것으로 조사되었으며, 근·골격계 질환으로 발전하는 주요 위험 요인으로 목과 어깨의 부자연스러운 자세가 가장 많이 보고되었다(Parent et al., 2007; Vink P., 2005).

다수의 선행연구에서 의자의 사용자 평가는 이론적인 앉기 자세에 대한 평가, 앉은 자세에서의 동작빈도 평가, 그리고 등받이 각도에 따른 좌면 압력평가 등의 방법으로 측정하였다. 그러나, 대부분의 경우 일반적인 의자에서 사무작업자의 업무환경을 고려하지 않은 이론적인 앉기 자세에 한정되어 있었다.

본 연구는 사용자 작업특성을 고려하여 새로운 개념으로 개발된 체간·전완지지 (trunk · forearm support) 구조의 의자를 대상으로 하였다. 체간·전완 지지의자는 사무작업자가 업무를 하는 동안 등받이를 거의 사용하지 않고 상체를 전방으로 숙여 작업하는 자세에서 착안하여 개발되었다. 체간·전완지지 구조의 의자는 사무 작업자의 체간(trunk)과 전완(forearm)을 전방에서 지지하여 척추와 등 근육을 바르고 편안한 자세로 만들어 주며 장기적으로 근·골격계 질환을 예방할 수 있는 목적으로 개발되었으나 실제 사용환경을 고려한 사용자평가나 기능에 대한 유효성평가는 체계적으로 진행되지 못하였다.

따라서 본 연구는 사무작업자를 대상으로 비교대상의 여러 앉는 자세에 따라 체간의 전방굴곡 각도, 등 근육의 피로도 및 좌면의 접촉압력 분석을 통해 체간·전완지지 의자의 유효성을 평가하는 것을 주 목적으로 한다

2. Method

2.1 Subject

본 연구는 사무직에 종사하고 있는 20~30 대 성인 남성 6 명을 대상으로 실시하였고 피실험자의 일반적인 특성을 Table 1 에 제시하였다.

피실험자의 선정기준은 20~30 대의 신체 건강한 사무직 근로자로 하루(8 시간 근무기준)에 2 시간 이상 의자에 앉아서 컴퓨터 업무를 수행하며 체질량지수(body mass index, BMI) 18.5~23kg/m^2 의 정상체중을 가진 자로 하였다. 피실험자의 제외기준은 일과시간 중 컴퓨터를 사용하지 않거나 하루

2 시간 이내로 사용하는 근로자, 지난 6 개월간 윗팔과 등에 통증 및 근골격계 장애가 있는 자 그리고 참여의도가 없는 자는 제외하였다(Cook et al., 2004).

Table 1. Subject information

Age	Height	Weight	BMI
31.7±3.6[a]	175.8±4.1	65.8±4.5	21.3±1.4

2.2 Procedure of experiment

실험진행자는 피실험자의 나이, 키, 몸무게를 측정한 후에 본 실험의 목적 및 절차에 대해 충분히 설명하였고, 피실험자가 실험 절차와 자세조건을 미리 연습하여 완전히 숙지한 후에 실험을 시작하였다.

실험자세는 총 3 가지 자세로 첫번째 자세는 체간 · 전완지지 의자에서 체간과 전완을 지지하지 않고 허리를 90°로 곧게 펴고 앉은 자세(upright sitting, P_1), 두번째 자세는 체간과 전완을 지지하고 앉은 자세 (trunk · forearm supported sitting, P_2), 세번째 자세는 주관적으로 편안하다고 생각하는 일반적인 앉기 자세(normal sitting, P_3)로 설정하였다(Figure 1).

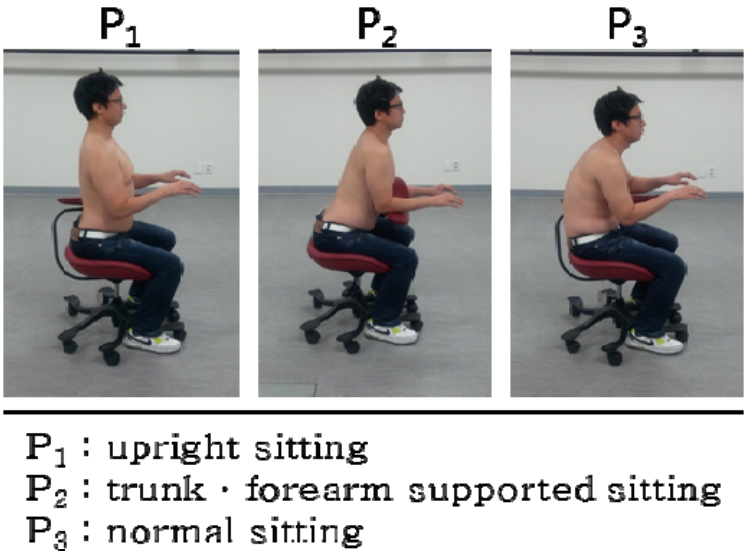


Figure 1. Testing postures (upper) and classification of tested sitting posture (lower)

실험의 순서는 제비 뽑기로 정하였고 각 자세별 유지시간은 30 분으로 하였다. 각 자세별 실험 후 다음 실험에 피로도가 누적되지 않도록 하기 위해 충분한 휴식시간을 두었다.

2.3 Data acquisition/analysis

2.3.1 Motion analysis

체간 · 전완지지 구조를 갖는 의자에서 앉기 자세에 대한 머리와 체간의 전방 굴곡 정도를 측정하기 위해 머리와 체간(clavicle, C7) 및 골반(ASIS, PSIS)에 동작분석용 마커 부착 부위를 선정하였다. 실험에 들어가기에 앞서 피실험자는 상의를 탈의하고 체간 전방굴곡 각도 실험을 위해 선정된 신체부위 8 곳에 12mm 동작분석용 반사 마커를 부착하였다. 실험시 피실험자에게서 떨어지지 않도록 의료용 종이 반창고(Micropore™, 3M, USA)를 사용하여 추가 고정하였다.

체간 굴곡 각도 분석을 위해 동작분석측정 시스템(Nexus, Vicon, USA) 소프트웨어를 사용하였다. C7 과 PSIS 의 중심점에서 중력방향으로 내린 선을 기준선(baseline)으로 설정하였다. 머리굴곡각도(θ_h)는 기준선(C7)을 기준으로 C7 과 head 의 중심이 이루는 각도를 측정하였다. 체간 굴곡각도(θ_t)는 기준선(center of PSIS)을 기준으로 PSIS 의 중심과 C7 이 이루는 각도를 측정하였다(Figure 2).

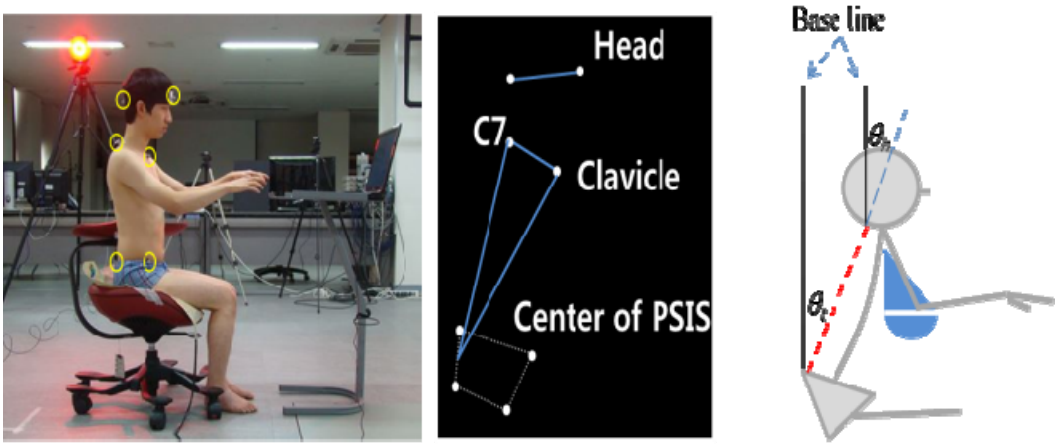


Figure 1. . Configuration of head and trunk flexion angle

2.3.2 Surface electromyography

체간 신전근의 피로도 측정을 위해 목과 상체의 신전동작에 관여하는 상승모근(upper trapezius), 하승모근(lower trapezius), 척추와 체간의 신전동작에 관여하는 척추기립근(erector spinae) 그리고 다열근(multifidus)의 4 가지 근육을 측정대상으로 선정하였다(Kong., 2011)(Figure 3).

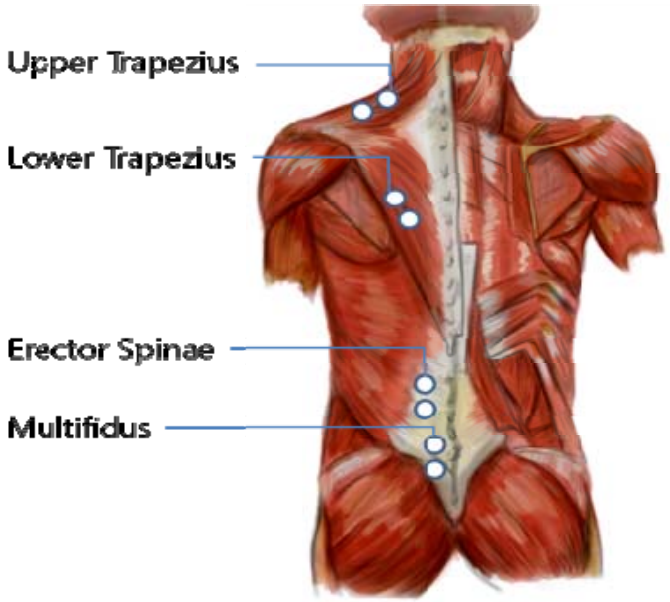


Figure 1. . Attachment point of sEMG sensors

체간 신전근의 피로도 실험을 위해 Delsys 에서 제시하는 4 개 근육에 해당하는 신체위치에 근섬유와 평행한 방향으로 EMG 센서를 부착하였고 의료용 종이반창고를 사용하여 추가 고정하였다(Figure 4).

체간 신전근에서 발생하는 피로도 분석을 위해 표면 근전도 측정 시스템(EMGworks 4.0 Analysis program, Delsys, GERMANY)를 사용하였다. 심전도에 의해 발생되는 노이즈를 제거하기 위해 20~450Hz 대역필터(band-pass filtering)를 사용하였고 샘플링은 1000Hz 로 하였다. 필터링 된 데이터는 피로도 분석을 위해 중간주파수(Median Frequency: MDF)로 분석하였다. 중간주파수는 초기 5 초에 해당하는 중간주파수의 변이가 심하다는 선행연구결과(Won., 2001)를 토대로 안정된 값을 얻기 위해 측정을 시작한 5 초 이후의 20 초동안 수집된 자료의 평균을 초기 중간주파수 값으로 사용하였고, 마지막 5 초를 제외한 20 초동안 수집된 자료의 평균값을 마지막 중간주파수 값으로 사용하였다. 이렇게 계산된 중간주파수 값으로 피로지수를 계산하여 근육별 피로도를 분석하였다(Song., 2006).

피로지수는 다음과 같은 공식으로 구하였고, 시작구간 중간주파수보다 끝구간 중간주파수가 높아진 경우에는 피로가 발생하지 않은 것으로 보고 피로지수를 0 점으로 정의하였다.

$$\text{피로지수(fatigue index, FI)} = \frac{\text{시작구간 중간주파수-끝구간 중간주파수}}{\text{시작구간 중간주파수}}$$

2.3.3 Seat contact pressure

좌면 접촉압력을 측정하기 위해 좌압 측정 시스템(Pliance pressure mat measurement system, Novel, GERMANY)을 사용하였고, 좌면 압력측정 시트를 실험장비에 부착하여 측정하였다. 실험 시 좌면 압력측정 시트가 움직이지 않도록 의료용 종이반창고 (Micropore™, 3M, USA)를 사용하여 실험장비에 고정하였다(Figure 3).

좌면에서 발생하는 접촉압력의 데이터는 5Hz 로 획득하였고, 평균 접촉압력 계산시 미 접촉 부위의 셀까지 포함되어 계산되는 오류를 피하기 위해 exclude minimum 기능을 사용하여 계산하였다.

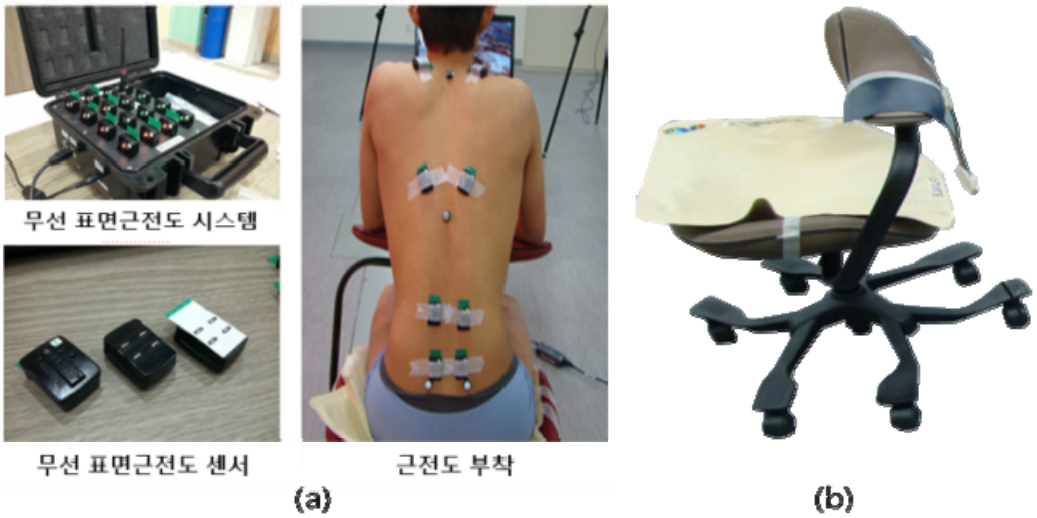


Figure 1. . Configuration of sEMG(a) and contact pressure(b)

2.4 Statistics analysis

사무직 근로자를 대상으로 체간·전완지지 의자에 앉은 상태에서 체간과 전완을 지지하지 않고 허리를 90°로 곧게 펴고 앉은 자세(P_1)와 체간과 전완을 지지하고 앉은 자세(P_2), 그리고 주관적으로 편하다고 생각하는 일반적인 앉기 자세(P_3)가 머리와 체간의 전방굴곡 각도, 체간 신전근의 피로도 및 좌면 접촉압력에 미치는 영향을 알아보기 위해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)를 하였으며, 유의한 차이가 나타날 경우 사후분석 검정(post-hoc)인 Tukey를 실시하였다. 본 연구의 통계학적 유의성을 검정하기 위한 유의수준은 $p<0.05$로 하였다. 통계처리를 위해서는 윈도우용 SPSS 12.0을 사용하였다

3. Results and Discussion

3.1 Head and trunk flexion angle

Table 2. Result of head and trunk flexion angle data

angle	P_1	P_2	P_3	F	P
Head	21.44±10.05	41.46±9.18	42.82±7.89	10.420*	.001*
Trunk	13.98±6.56	26.02±4.26	38.03±12.88	11.460*	.001*

*$p<.05$

체간·전완지지 의자에 앉은 자세에서 30 분동안 3 가지 자세조건에 따른 머리 및 체간의 전방굴곡 각도(angle) 값을 Table 2 에 정리하였다.

실험결과, 머리와 체간의 굴곡각도 모두 $P_1<P_2<P_3$ 의 순서로 유의한 차이를 보이며 증가하였다($p>.05$). 머리의 굴곡각도(θ_h)는 측정된 조건 중에서 P_1 이 가장 작은 값을 보였고, P_2, P_3 에서는 P_1 보다 약 2 배 크게 나타났다. 체간의 굴곡각도(θ_t)는 $P_1>P_2>P_3$ 로 갈수록 약 12°씩 증가하는 경향을 보였음

P_1 에 비해 P_2 는 체간의 전방굴곡이 나타났으나, 골반의 후방경사(posterior tilting)는 나타나지 않았다. 체간의 전방굴곡각도는 P_3 에서 가장 높았다. 이는 P_3 에서 체간의 굴곡각도는 골반의 후방경사에 따른 영향으로 판단된다. 의자에 앉은 자세에서 골반이 후방경사되면 요추의 정상 만곡(lordosis)은 감소하고, 흉추는 척추 후만증(Kyposis)을 야기시킨다. 그로 인해 체간의 전방굴곡 각도가 가장 크게 증가한 것으로 판단된다.

또한, 머리의 굴곡각도는 P_2 와 P_3 가 유사하였다. 이는 두 자세간 머리의 각도변화가 거의 없는 것으로 체간의 전방굴곡이 골반의 후방경사에 따른 영향임을 뒷받침해주는 것으로 판단된다(Figure 5).

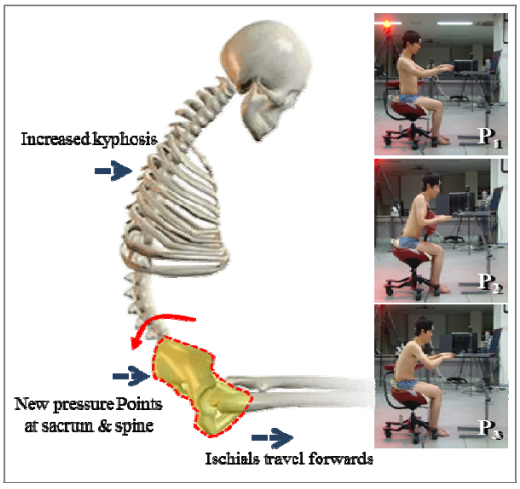


Figure 5. . Pelvic posterior tilting

3.2 Trunk extensor fatigue

Table 3. Results of sEMG

m	mi	P_1	P_2	P_3	F	P
UT	0	21.44±10.05	41.46±9.18	42.82±7.89	.580	.572
	30	13.98±6.56	26.02±4.26	38.03±12.88	.224	.802
LT	0	58.44±9.01	58.85±11.37	68.82±19.75	1.036	.379
	30	59.84±5.49	54.41±10.56	60.35±19.50	.373	.695
ES	0	74.47±7.78	67.26±6.78	74.76±6.22	2.244	.140
	30	73.50±7.78	74.38±12.05	67.99±7.11	.843	.450
MF	0	92.05±28.24	82.97±15.09	97.52±29.80	.509	.611
	30	93.71±26.35	87.28±18.92	72.82±11.56	1.738	.210

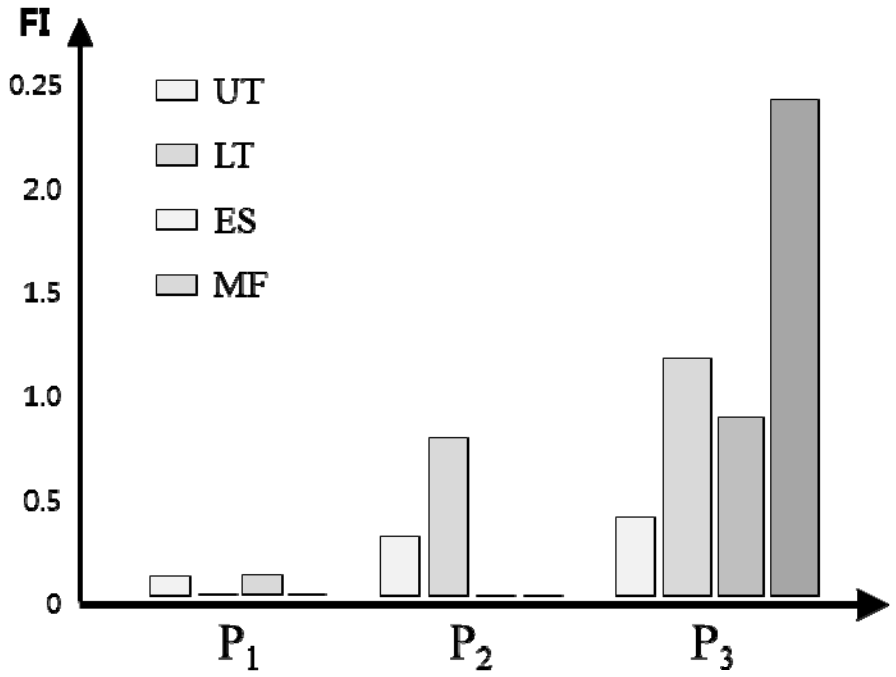
$p<.05$

체간·전완지지 의자에 앉은 자세에서 30 분동안 3 가지 자세조건에 따른 체간 신전근 중간주파수(Hz)의 측정값을 Table 3 에 정리하였다. 또한 각 근육의 피로지수(FI) 값을 Figure 6 에 나타내었다.

실험결과, 자세에 따라 체간 신전근의 근피로도는 $P_1>P_2>P_3$ 의 순서로 피로도가 발생하였으나 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다($p>.05$).

측정 결과를 통해 체간 신전근은 자세에 따라 활성화되는 근육에 차이가 있었음을 확인하였다. 허리를 곧게 펴고 앉은 P_1 에 비해 체간이 전방으로 굴곡된 P_2, P_3 에서 체간 신전근의 피로도가 높게 발생하였다. P_2 에서는 전완지지 자세를 유지하기 위해 승모근에 피로가 높아진 것을 확인할 수 있었다. 또한 척추기립근과 다열근에서 피로가 발생하지 않은 것으로 보아 chest supporter 가 앉은 자세에서 발생하는 허리의 부담을 줄여준 것으로 판단된다.

P_3 에서는 체간의 전방굴곡이 가장 크고 아무런 지지가 없는 자세로 체간의 신전상태를 유지하기 위해 가장 큰 피로가 나타난 것으로 판단된다. 그에 비해 P_1 은 앉은 자세 중 가장 중립된 자세(neutral position)로써 실험자세를 유지하기 위한 상승모근, 앉은 상태에서 중립자세를 유지하기 위한 척추기립근이 작용하여 상대적으로 작은 양의 피로가 나타난 것으로 판단된다(Figure 6).



FI	UT	LT	ES	MF
P_1	0.01	0.00	0.01	0.00
P_2	0.03	0.08	0.00	0.00
P_3	0.04	0.12	0.09	0.25

$p<.05$

Figure 6. . Trunk extensor fatigue index(FI)

3.3 Seat contact pressure

Table 4. . Result of seat mean pressure data

Pressure		P_1	P_2	P_3	F	P
mean	BOP	27.67±2.81	22.48±1.41	29.32±3.11	11.723*	.001*
	POP	19.90±4.69	22.60±4.26	20.18±6.11	.512	.610
peak	BOP	90.62±35.94	53.13±18.92	75.97±20.05	3.131	.073
	POP	32.82±4.41	39.70±6.43	33.77±3.94	3.284	0.66

$p<.05$

체간·전완지지 의자에 앉은 자세에서 30 분동안 3 가지 자세조건에 따른 좌면의 평균 접촉압력값의 평균, 표준편차를 정리하였고, 이해를 돕기 위해 upright sitting 자세인 P_1 의 값을 기준값(100%)으로 설정하고 각 실험자세에 따른 좌면의 평균접촉압력값을 백분율로 환산하여 표시하였다(Table 4).

실험결과, 자세에 따른 좌면 평균 접촉압력값은 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p<.05$).

좌면 접촉압력 측정결과, P_2에서 좌면의 압력은 골반 바닥면(BOP, Bottom of Pelvic)과 골반 후면(POP, Posterior of Pelvic)에 고르게 분포하는 것을 알 수 있었다. 또한, P_2의 BOP는 측정된 자세 중 가장 낮게 측정되었다. 이는, 체간과 전완을 지지한 P_2 자세가 골반 바닥면에 집중되는 접촉압력을 낮춰주는 효과가 있는 것으로 판단된다.

반면, P_3는 아무런 지지 없이 체간의 굴곡각도가 가장 큰 상태로 상지의 하중이 좌면에 집중되어 가장 높은 BOP 값이 나타난 것으로 판단된다.

P_2에서는 P_1에 비해 BOP의 mean pressure 값은 약 20%, peak pressure 값은 약 30% 감소하였으나, POP는 더 높게 측정되었다. 이는 골반의 후방경사로 인해 좌골결절이 하방으로 미끄러져 가면서 골반 후면부에 P_1보다 더 높은 압력을 준 것으로 판단된다.

P_3는 P_1에 비해 모두 높은 접촉압력을 보이고 있다. 이는 P_3는 체간의 굴곡이 모두 크고 지지가 없는 자세로 모든 압력이 좌면으로 집중되어 나타난 결과로 판단된다(Figure 7).

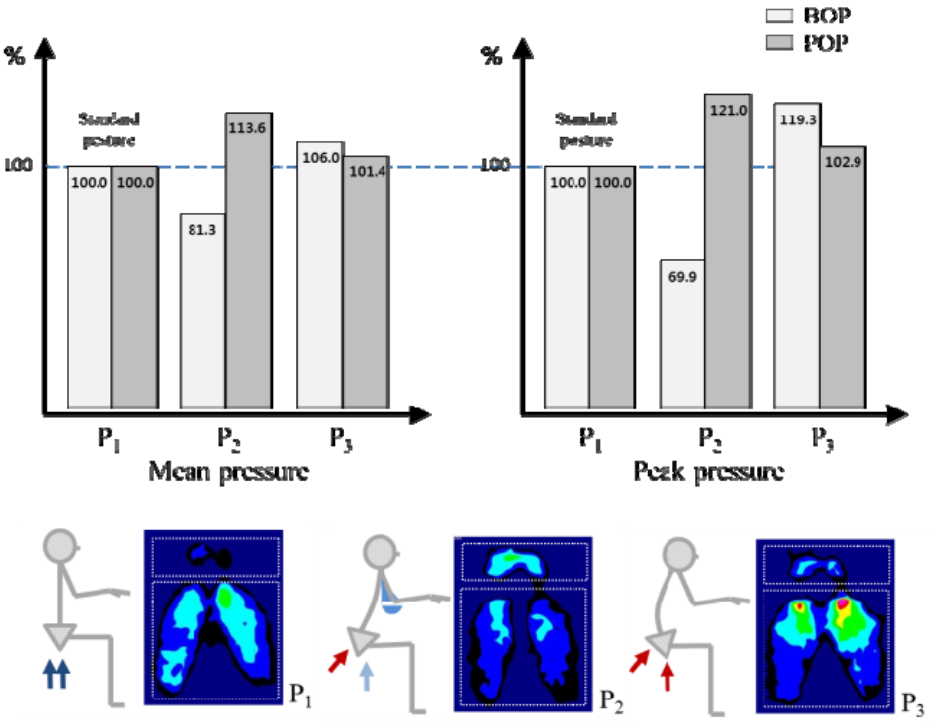


Figure 6. . Discussion of seat mean pressure data

4. Conclusion

본 연구에서는 사무직 근로자를 대상으로 체간·전완지지 의자에 30 분간 앉은 자세에서 체간과 전완을 지지하지 않고 허리를 90°곧게 펴고 앉은 자세(P_1)와 체간과 전완을 지지하고 앉은 자세(P_2), 그리고 주관적으로 편하다고 생각하는 일반적인 앉기 자세(P_3)가 체간/머리의 전방굴곡각도, 체간 신전근의 피로도 및 좌면 접촉압력에 미치는 영향에 대하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 통계학적으로 유의한 차이를 보이며 P_2 자세가 P_3 자세보다 체간 및 머리의 굴곡각도 및 골반의 후방경사를 줄여주었다.

2. 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 P_2 자세가 P_1 자세나 P_3 자세보다 체간 신전근의 피로도를 낮춰주었다.

3. 통계학적으로 유의한 차이를 보이며 P_2 자세가 P_1 자세나 P_3 자세보다 좌면의 평균 접촉압력을 낮춰주었다.

위 결론을 종합해 보면, P_2자세가 P_1이나 P_3자세보다 사무 근로자의 전방굴곡 각도, 골반의 후방경사 및 근피로도와 좌면의 접촉압력을 줄여주는 긍정적인 효과가 있음을 알 수 있다.

그러나 본 연구는 30 분의 제한된 시간동안 인위적인 자세로 실시하여 체간 신전근의 근피로도를 실제 환경에 맞는 상황에서 유발시키지 못한 한계가 있었으며, 피험자의 평균 연령대가 30 대 초반의 젊은층으로 구성되어 있어, 사무근로자의 전연령층을 대표하는 결과로 보기엔 부족하다. 또한, 의자에 앉아서 업무를 하는 동안 나타나는 신체의 관절각도 변화 및 그에 따른 생체역학적 변화 등 다양한 해부학적 변화를 함께 고려하여야 할 것이다.

또한, 인간공학적 측면을 고려하여 체간과 전완이 지지될 때 작업영역과 관련된 공간환경 실험들이 추가로 연계되면 사무작업자를 대상으로 체간 · 전완지지 구조를 갖는 의자의 종합적인 유효성 평가에 대한 연구가 될 수 있을 것이다.

References

Cook, C., Burgess, L.R. and Papalis, S., "The effect of upper extremity support on upper extremity posture and muscle activity during keyboard use." *Applied Ergonomics*. 35:285-292, 2004.

Kong, Y.K., Lee, S.J., Lee, K.S. and Seo, M.T., "The effects of coordinated upper-limb postures of back, shoulder, and elbow flexion angles on the subjective discomfort rating, heart rate, and muscle activitys." Journal Ergonomics Society Korea. 30(6): 695-703, 2011.

Koo, J.W., "Occupational Diseases among Office Workers." *Hanyang Medical Reviews*, 30(4): 1738-429, 2010.

Lee, Y.S., Park, S.C., Nam, Y.H., Kim, D.J. and Song, K.Y., "An ergonomic study on the design parameters for office chair." *Journal of the Korea Furniture Society*, 8(1), 17-28,1997.

Lee, E.C., "Association between job-stress and vdt work, and musculoskeletal symptoms of neck and shoulder among white-collar workers." *Korean Journal Occupation Enviroment Medicine*, 19(3):187-195, 2007.

Mandal, A.C., "The seated man(homo sedens) the seated work position." Theory and Practice, *Applied Ergonomics*;12;19-26,1981

Parent, T.A., Fernandes, M.E., Hurley, J. and Vermeylen, G., "Fourth European Working Conditions Survey." *European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions*, Dublin, 2007.

Park, S.D., "Electomyographic activities of neck and shoulder muscle during the computer typing in forward head posture" *The Graduate School of Health and Environment*, Yonsei University, 2005.

Song, Y.H., "Angular specificity of muscle fatigue and the transfer effect after isometric training of the vastus medialis." *The Graduate School of Health and Environment*, Yonsei University, 2006.

Vink, P., "Comfort and design: Principles and good practice." CRCR press, Boca raton, 2005.

Won, J.I., "Characteristics of the fatigue index in emg power spectrum analysis during isokinetic exercise." *Korea Academy of University Trained Physical Therapists*, 8(3):11-26, 2001