PNF and Movement, 2021; 19(3): 375-382
https://doi.org/10.21598/JKPNFA.2021.19.3.375

Print ISSN: 2508-6227
Online ISSN: 2508-6472

Original Article

Open Access

타이어 공기압 비대칭이 무증상 대상자의 골반높이, 둔부압력, 근동원패턴에 미치는 영향

박상영 · 박세연†
위덕대학교 물리치료학과

Effects of the Air-Pressure Asymmetry of Wheelchair Tires on Pelvic Height, Gluteal Pressure, and Muscular Recruitment Pattern in Asymptomatic Participants

Sang-Yeong Park, P.T., Ph.D. · Se-Yeon Park, P.T., Ph.D.†
Department of Physical Therapy, Uiduk University

Received: October 28, 2021 / Revised: November 8, 2021 / Accepted: November 9, 2021
ⓒ 2021 Journal of Korea Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Association
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.

| Abstract |

Purpose: The objectives of the present study were to investigate the disadvantages of tire pressure asymmetry of a wheelchair tire and recommend the criterion for appropriate tire pressure without generating negative changes in the musculoskeletal system in asymptomatic participants.

Methods: Fourteen asymptomatic participants were asked to sit in pressure-controlled wheelchairs and perform desk work for 20 minutes in each tire condition. The asymmetry of the tire conditions was set as 0% difference, 25% difference, and 50% difference from the recommended pressure. The pelvic alignment and muscular recruitment represented as a flexion-relaxation ratio (FRR) were measured at pre-test, and after each condition of desk work. The displacement of the center of pressure (COP) was measured during the desk work.

Results: The tire air pressure condition significantly affected the FRR and COP ($P < 0.05$). Both sides of the FRR values were significantly higher under the symmetrical tire conditions (0% difference) and pre-test, compared with the asymmetrical tire condition of 50% difference ($P < 0.05$). The mediolateral COP displacement of the asymmetrical tire conditions (25% and 50% difference) was significantly higher than that of the symmetrical tire conditions (0%) ($P < 0.05$).

Conclusion: Asymmetrical tire conditions could cause changes in the muscle recruitment pattern of the erector spine and mediolateral COP displacement. Tire pressure asymmetry higher than 50% could be a risk factor for prevalence of back pain, so this level of asymmetry in tire pressures should be cautioned against for wheelchair users.

Key Words: Center of pressure, Flexion-relaxation ratio, Neuromuscular

†Corresponding Author : Se-Yeon Park (arclain@naver.com)

Ⅰ. 서 론

앉은 자세를 오랜 기간 유지하는 것은 허리부위의 근육과 뼈대에 가해지는 스트레스를 증가시킬 수 있으며, 요통을 유발시킬 수 있는 위험 요인이 될 수 있다(Kim et al., 2021; Todd et al., 2007). 연구에 따르면 앉은 자세에서의 근육의 두께나 부하는 누운 자세와는 다르며, 그 자세에 따라 목가슴분절뿐 아니라 허리엉치분절의 부하까지 증가될 수 있음을 경고한다(Kim et al., 2021; Kwon et al., 2018). 물론 이러한 허리의 부하가 단순히 앉은 자세를 취한다고 해서 발생되는 것이 아니지만, 오랜 기간동안 축적되면서 척추의 구조적 변화를 함께 가져올 수 있을 가능성이 있다(Neumann, 2002).

일반인들의 습관적인 나쁜 자세가 허리-골반 정렬의 부정적 변화를 가져올 수 있음을 경고하는 연구는 최근 20년동안 꾸준히 학계에 제시된 반면(Kim et al., 2021; Kwon et al., 2018; O'Sullivan et al., 2010; O'Sullivan et al., 2002), 휠체어 이용자와 같이 실질적으로 장시간 동안 앉은 자세를 취할 수밖에 없는 상황이 근골격계 미치는 영향에 대한 연구는 많지 않았다. 휠체어 이용자는 장시간 휠체어를 사용하는 경우가 많기 때문에 척추 정렬에 문제를 가지고 있을 가능성이 높다(Kovacs et al., 2018). 더욱이 장시간 휠체어를 정상적이지 않은 자세로 사용하는 경우와 능동적인 자세변화가 어려운 상황에서는 근골격계와 관련된 문제들이 더욱 쉽게 나타날 수 있으며, 휠체어의 환경의 변화가 영향을 미칠 수 있다고 보고된다(Troy et al., 1997). 즉 휠체어 이용자의 근골격계 문제발생을 예방하기 위해서 올바른 자세를 유지할 수 있는 휠체어 자체의 환경적인 요인 또한 고려되어야 한다.

기존의 연구들은 이러한 환경적 요구를 분석하기 위해 휠체어의 바닥 시트 혹은 휠체어의 등받이의 소재, 시트와 등받이 각도가 이용자의 둔부와 등의 압력분포에 미치는 영향을 보고하였다(Park & Jang, 2011; Shin et al., 2018). Shin 등(2018)은 휠체어 이용자의 지나친 둔부압력을 조절하기 위한 둔부패드를 제안한 바 있으며, Park과 Jang (2011)은 휠체어의 등 받침대의 각도 조절을 통해 척추 정렬의 변형을 예방할 수 있도록 제안하였다. 비록 기존 연구들이 휠체어 이용자와 닿는 부위의 소재와 환경조성의 중요성을 학계에 환기시켜주는 좋은 계기가 되었지만, 여전히 휠체어의 특정 소재의 변화가 이용자에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다.

휠체어 구성품 중의 하나인 휠체어의 타이어는 휠체어 주행 편의성에도 관여할 뿐만 아니라 그 공기압이 적정 수준을 유지함으로써 제동 안정성과 휠체어 시트의 수평을 이루는 데에도 주요한 역할을 하는 물품이다(Booka et al., 2015; de Groot et al., 2013; Sawatzky et al., 2004). 하지만 휠체어 타이어의 공기압 변화가 직접적으로 이용자의 근골격계에 미치는 영향을 조사한 연구는 휠체어 관련 연구 중에서도 드문 실정이다(de Groot et al., 2013; Sawatzky et al., 2004). 휠체어 타이어가 얇은 만큼 쉽게 공기압 변화가 발생될 수 있으며, 그 이용자가 오랜 시간 휠체어를 사용해야 한다는 상황을 가정한다면 이러한 타이어 공기압의 변화가 이용자에게 어떠한 영향을 미치는 지 알아볼 필요성이 있다.

휠체어에서 좋지 않은 자세가 미치는 영향에 대한 선행 연구들을 보면 표면 근전도를 통한 근육활성화 패턴의 분석, 그리고 정렬의 변화를 알아보기 위한 골반경사각 혹은 높이차이를 제시하거나 압력 분포의 변화를 파악하고자 하였다. 본 연구에서는 비대칭적인 휠체어 타이어의 공기압변화가 골반 높이 차이에 미치는 영향, 근동원 패턴과 압력중심점의 이동량 변화에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보고자 한다. 이를 통한 적정 수준의 휠체어 타이어의 공기압 기준을 제시하고자 하며, 이용자의 근골격계에 부정적 영향을 미치는 경우에 어떠한 변화를 가져올 수 있는지를 알아보고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 대상자

본 연구의 연구 대상자는 편의추출의 방법을 사용

하여 20대 성인남녀 14명을 모집하여 실시하였다. 실험 전 대상자들은 실험에 대해 충분히 설명을 듣고 자발적인 참여의사를 밝힌 대상자에게 동의서 작성 후 실험에 참여하였다. 본 연구에서는 과거 정형외과적 수술 경험이 있는 자, 선천적 기형이 있는 자, 본 연구의 목적을 이해하지 못하고 참여에 동의하지 않는 자는 본 연구에서 제외하였다. 본 연구에 참여한 대상자들의 일반적 특성은 나이 22.21±0.97세, 신장 165.36±7.35cm, 몸무게 67.29±14.91kg BMI 24.54±4.77 kg/m²이었다.

2. 측정장비

1) 골반경사계(palpation meter, PALM)

본 연구에서는 휠체어의 좌우 공기압의 차이가 휠체어 사용자의 골반 좌우 높이 차이에 미치는 영향을 확인하기 위하여 골반경사계(PALM, Baseline, USA)을 사용하였다. PALM은 경사계와 2개의 캘리퍼 암(caliper arm)으로 구성되어 있으며, 경사계는 중간선을 기준하여 양쪽 방향으로 0～30° 범위 내에서 1° 간격으로 움직이는 반원형의 호를 가졌다. 골반의 좌우 높이차를 확인하기 위해 골반의 ASIS, PSIS에 골반경사계를 사용하여 각각의 길이와 각도를 측정하였고 PALM 계산기를 사용하여 골반의 높이를 계산하였다 검사-재검사 신뢰도는 0.87로 보고된다 (Lee, 2011).

2) 표면근전도 (surface electromyography)

2채널 유선 근전도 측정시스템(LXM3204, LAXHA, Korea)을 통해 신호를 처리 및 분석했다. EMG 신호는 1024Hz의 샘플로 디지털로 기록되었고 RMS (root mean square) 처리는 25ms 단위로 계산하였다. 전극을 통해 수집된 근전 신호의 대역 필터는 10Hz-500Hz로 설정했다. 전극이 부착된 허리뼈 수준의 척추세움근의 근활성도를 측정하였으며, 전극은 배꼽높이에 있는 허리뼈의 가시돌기에서 바깥으로 2.5cm 가량 떨어진 양 옆에 부착했다(Park & Yoo, 2011). 피부저항을 줄이기 위해 대상자에게 털을 제거하고 알코올 솜으로 피부를 청결히 한 후 전극을 부착했다.

3) 둔부압력 측정시스템

둔부 압력의 중심점 이동(center of pressure. COP)을 측정하기 위해, 둔부압측정시스템(Body pressure measurement system, Tekscan Inc, USA)을 사용하였다. 이 장비는 압력센서를 포함한 얇은 매트형태의 하드웨어와 소프트웨어로 구성된다. 압력센서는 1cm 단위의 공간을 구별할 수 있으며, 현 연구에서는 이 장비를 활용하여 휠체어에 앉아있는 동안, 둔부압의 변화에 따른 압력위치 값을 시간적 변화에 따라 측정하였다. 데이터 주파수는 60Hz로 설정하였다.

3. 실험절차

현 연구는 휠체어 타이어 공기압의 변화를 요인으로 하여 3가지 수준에서 반복측정되었다. 이에 따른 휠체어 타이어 공기압의 조건은 양쪽 공기압이 동일한 0% 차이 조건, 공기압이 25% 차이가 나는 조건, 50% 차이가 나는 조건으로 설정하였다. 양쪽 타이어 공기압은 최대 공기압을 기준으로 하였으며, 최대 공기압은 디지털 공기압 측정계를 통해 측정하였다. 왼쪽 휠체어 타이어의 공기압을 감소시키는 것으로 25% 차이 및 50% 차이를 설정하였다. 실험 전 휠체어는 최대 공기압상태에서 경사계(inclinometer)를 이용하여 수평 상태를 유지하였다. 대상자는 번호표를 뽑아서 무작위한 실험 조건 순서로 20분간 책을 읽도록 요청받았으며, 실험이 진행되는 동안 일어나지 않도록 하였으며, 그 외 기지개 혹은 몸통의 뻗침이 발생하지 않도록 요청받았다. 사전측정과 함께 각각의 조건을 수행한 후 골반높이 차이와 근동원패턴에 대한 측정이 이루어졌으며, 각 조건 당 5분의 휴식시간을 주었으며, 이 기간동안 무리한 움직임을 하지 않은 한도 내에서 복도를 걷고 휴식할 수 있도록 요청하였다.

골반높이 차이의 측정은 신발을 벗고 별도의 지시 없이 편안하게 바로 선 자세에서 측정하였으며, 양쪽의 높이 차이를 절대값으로 결과값에 반영하였다. 근동원 패턴의 변화는 대상자로 하여금 몸통을 할 수 있는 범위까지 앞으로 숙이는 동작을 3초간 수행하게 한 다음 3초간 유지하도록 하고, 다시 3초간 원래 위치로 돌아오는 동작동안에 척추세움근의 표면근전도 신호를 측정함으로써 이루어졌다. 원 위치로 돌아오는 시기의 근전도 측정값을 유지시기의 근전도 측정값으로 나누는 값을 근동원패턴의 값(굽힘-이완비율, flexion-relaxation ratio, FRR)으로 사용하였다(Yoo et al., 2011). 측정은 사전측정을 포함하여 타이어공기압 세 조건의 20분 작업 이후, 총 4회 측정하였으며, 골반높이 차이와 근동원패턴 각각의 측정은 2회 측정하여 평균값을 사용하였다.

둔부압을 통한 압력중심점의 이동 측정은 각 대상자가 책을 읽는 작업을 하는 20분 동안 이루어졌으며, 0% 공기압 차이, 25% 공기압차이, 50% 공기압 차이로써 총 3조건에서 수집된 압력중심점의 위치 데이터를 ASCII 파일로 변환한 후 최초 위치데이터와 마지막 위치데이터의 편차를 결과치로 통계분석에 활용하였다.

4. 통계분석

실험을 통하여 수집된 자료 통계분석을 위해 PASW ver. 18.0 (SPSS Inc., USA)를 사용하였다. 휠체어 좌우 공기압 차이에 따른 척추세움근의 근동원 패턴, 골반의 높이차이 및 둔부압의 압력중심점 이동의 차이를 알아보기 위하여 반복측정 분산분석(repeated one-way ANOVA)을 사용하였다. 근동원패턴과 골반의 높이차이는 사전검사를 포함한 4조건을, 둔부압의 압력중심점 이동의 차이는 3조건을 비교분석하였다. 통계학적 유의 수준은 0.05로 설정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 골반 높이 차이(pelvic height difference)의 변화

사전검사, 0%, 25%, 50% 양측 타이어 공기압차이 조건에서 측정된 좌우 골반 높이의 차이는 있었지만 통계적으로 유의하지는 않았다(Table 1)($p>0.05$).

2. 근동원 패턴(굽힘-이완 비율, flexion-relaxation ratio, FRR)의 변화

사전검사, 0%, 25%, 50% 공기압차이 조건 사이에 척추세움근의 근동원 패턴은 좌우 모두 유의한 차이를 보였다(Table 2). 오른쪽 척추세움근의 FRR의 경우, 사전검사와 50% 공기압 차이조건에서 유의한 차이가

Table 1. Descriptive statics of the pelvic height differences according to the tire conditions

Alignment	Pre-test	0% Differences	25% Differences	50% Differences	*P*
Pelvic height differences (cm)	0.31±0.25	0.29±0.16	0.34±0.21	0.42±0.32	0.71

Table 2. Descriptive statics of the muscle recruitment pattern of the erector spinae according to the tire conditions

Muscle recruitment pattern	Pre-test	0% Differences	25% Differences	50% Differences	*p*
Right FRR	3.72±1.44	3.50±1.51	3.21±1.16	2.82±0.86	0.01*
Left FRR	3.80±1.69	3.73±1.66	3.86±2.39	2.97±1.26	0.00*

* Significant difference among conditions ($p<0.05$)
FRR: flexion-relaxation ratio

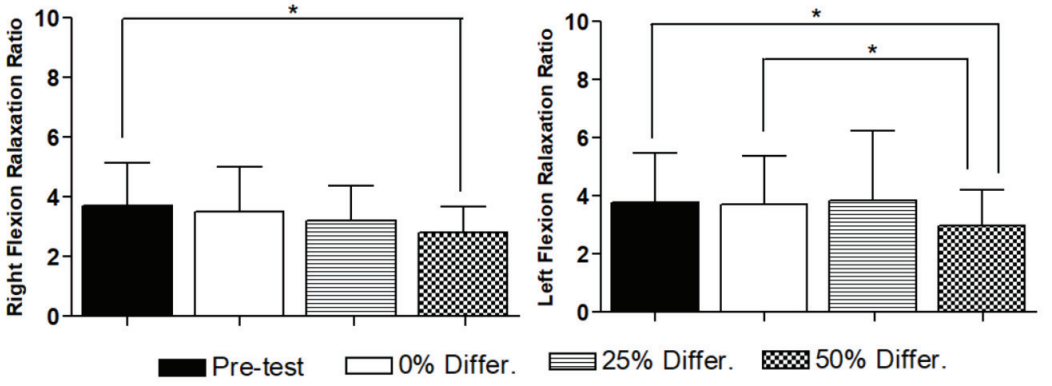

Fig. 1. Comparison of right and left flexion-relaxation ratio among conditions.

* P<0.05, Differ: differences between right and left air pressure of tire

발생하였으며, 사전검사가 50% 공기압차이에서보다 FRR값이 크게 나타났다. (p<0.05). 왼쪽 척추세움근의 경우, 사전검사와 0% 공기압차이 조건이 50% 공기압 차이조건보다 유의하게 높은 FRR 값을 나타내었다 (Fig. 1)(p<0.05).

3. 압력중심점 (center of pressure) 이동량의 변화

앞뒤 압력중심점 이동값은 0% 공기압 차이, 25% 공기압 차이, 50% 공기압 차이 조건 순서대로 증가되었지만 유의미한 차이는 없었다. 좌우 압력중심점의 이동값에서는 유의미한 차이가 발생하였으며 (Table 3), 50% 공기압 차이 조건에서 0% 공기압 차이 조건보다 좌우 이동량이 유의하게 증가되었다 (Fig. 2)(p<0.05).

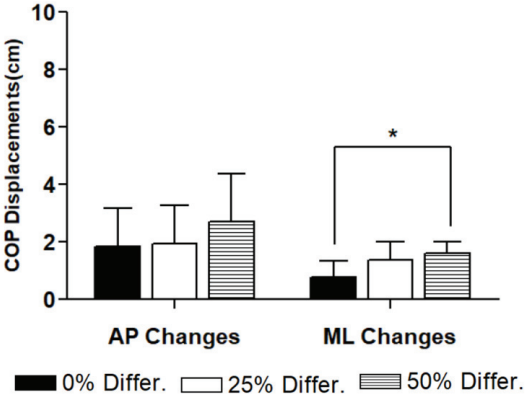

Fig. 2. Comparison of COP displacements among conditions.

* P<0.05, Differ: Differences between right and left air pressure of tire
AP: anterior-posterior direction, ML: medial-lateral direction, COP: center of pressure

Table 3. Descriptive statics of the center of pressure displacements among conditions

Direction	0% Differences	25% Differences	50% Differences	*p*
Anteroposterior (cm)	1.84±1.35	1.95±1.34	2.70±1.67	0.05
Mediolateral (cm)	0.77±0.58	1.39±0.62	1.61±0.41	0.00*

* Significant difference among conditions (p<0.05)

Ⅳ. 고 찰

본 연구는 휠체어 타이어의 공기압 차이가 발생했을 때, 이용자의 골반 정렬과 척추 주변 근육의 근동원 패턴, 그리고 둔부의 압력중심점 이동을 알아봄으로써, 양측의 공기압 차이가 발생시킬 수 있는 이용자의 근골격계의 변화를 알아보고자 진행되었다. 본 연구의 결과로서 유의미한 변화를 보여주는 측정변수로는 굽힘-이완비율로 대표되는 근동원 패턴, 그리고 압력중심점의 좌우 이동량이었다.

Pialasse 등(2009)은 정상적인 성인의 굽힘-이완 비율은 2.5 이상이라고 보고하였으며, 이는 본 연구의 결과 평균값과 유사하다고 할 수 있다. 기존 연구에 따르면 장기간의 앉은 자세는 굽힘-이완 비율 값을 감소시킬 수 있음을 제시하고 있으며, 요통환자의 경우 이 값이 평균적으로 2 미만의 값을 보고하고 있다(Ambroz et al., 2000; Cho & Park, 2019). 본 연구에서는 정상적인 성인을 대상으로 하고 있기 때문에 병리적인 굽힘-이완 비율 값에 비해서는 높은 평균값을 보여주고 있으며, 휠체어 타이어의 좌우 공기압 조건에 따라 유의한 차이가 발생하였다. 특히 50%의 좌, 우 공기압 차이는 사전 검사 때 측정된 굽힘-이완 비율 값에 비해서 유의하게 낮은 값을 보였는데 이는, 공기압의 변화가 이완기의 척추세움근의 근활성도 증가 혹은 원위치로 돌아오는 기간 동안의 근동원 감소를 의미한다고 볼 수 있다. 조건을 무작위로 선택해서 시행했기 때문에 단순히 작업 시간의 증가가 근동원 패턴의 변화를 야기했다고 해석할 수는 없으며, 양측 공기압 차이가 앉은 상태의 비대칭을 야기하고 척추세움근의 근동원 패턴에 영향을 주어 굽힘-이완 비율 측정에 영향을 미친 것으로 보인다.

양측 휠체어 공기압의 차이가 앉은 상태의 비대칭을 유발할 수 있다고 볼 수 있는 근거는 압력중심점의 이동값으로 설명될 수 있다. 본 연구에서는 압력측정 매트를 휠체어의 시트에 장착함으로써 둔부압의 변화와 함께 압력중심점의 변화를 측정한 결과, 0%의 좌우 공기압 차이에 비해서 50% 공기압 차이의 앉은 상태에서 좌우 압력중심점 이동량을 유의하게 증가되었다. 자세가 다르기 때문에 직접적인 비교는 어렵지만, 최근 한 연구에서도 1cm 미만의 작은 압력중심점이동이 주변 근육의 근활성도 변화에 영향을 미친다고 보고한 바 있다(Uchiyama & Kondo, 2020).

본 연구에서는 타이어 공기압의 차이가 골반의 높이차이에는 영향을 미치는 않는 것으로 나타났다. 최근 Jung 등(2020)은 요통환자와 정상성인의 다리꼬기 자세에서의 골반경사도를 조사하였고, 두 집단 모두에서 일반적인 앉은 상태와 다리꼬기 자세에서의 골반 경사도의 차이가 없음을 보고한 바 있다. 본 연구에서는 다리꼬기와 같이 급격한 골반경사의 변화를 야기한 것이 아니라 타이어 공기압에 따른 정적인 압력중심의 이동 후 선 자세에서의 골반높이의 차이만을 조사하였기에 더더욱 기존 연구의 결과와 유사한 결과를 나타낸 것으로 사료된다. 하지만 20분이라는 상대적으로 짧은 연구시간을 고려할 때, 보다 더 오랜 시간 비대칭적인 앉은 상태를 유지할 경우 골반정렬에 부정적인 영향을 미칠 수도 있을 것이다.

휠체어의 적정한 타이어 공기압을 유지하는 것은 휠체어 이용자의 주행편의성에 주요하다는 연구는 여러 차례 보고된 바가 있다. 하지만 그 정적수준의 공기압 기준을 제시한 연구는 현재까지 많이 없었다. 현 연구의 결과인 50% 좌우 공기압 차이가 둔부의 압력중심점의 이동만이 아니라 척추세움근의 근활성도 패턴을 변화시킬 수 있음을 고려할 때, 50% 이상의 좌우 공기압 차이는 휠체어 이용자의 근골격계에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 제시하는 바이다.

본 연구에서는 몇 가지 제한점이 존재한다. 첫째로, 대상자의 피로도가 연구결과에 영향을 미칠 것을 우려하여 앉은 자세에서 수행하는 작업을 길게 설정하지 못하였다는 점이다. 둘째로, 디지털 공기압측정계를 사용하였지만 대상자의 체중이 미치는 효과를 고려하지 못했다는 점이다. 따라서 추후 연구에서는 이러한 단점을 보완하여 많은 연구대상자들을 포함시켜 휠체어 타이어 공기압의 차이가 이용자의 근골격계에 미치는 영향을 확인할 수 있는 연구가 시행되어야 할 것이다.

Ⅴ. 결 론

현 연구는 휠체어 좌우 공기압 비대칭이 휠체어 이용자의 근골격계에 어떠한 영향을 미치는지알아보고자 진행되었다. 현 연구의 결과, 휠체어 타이어 공기압의 좌우 비대칭은 이용자의 척추세움근 근활성도 패턴의 부정적인 변화를 야기하며, 좌우 압력중심점의 이동에도 영향을 미칠 수 있음을 제시하는 바이다. 50%이상의 좌우 타이어의 공기압 차이는 휠체어 이용자의 근골격계에 부정적 영향을 미칠 수 있기 때문에 주의가 요구됨을 제시하는 바이다.

Acknowledgements

현 연구는 2019년 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(No. 2019R1G1A1007809).

References

Ambroz C, Scott A, Ambroz A, et al. Chronic low back pain assessment using surface electromyography. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2000;42(6):660-669.

Booka M, Yoneda I, Hashizume T, et al. Effect of tire pressure to physical workload at operating a manual wheelchair. *Studies in Health Technology and Informatics*. 2015;217(1):929-934.

Cho SH, Park SY. Immediate effects of isometric trunk stabilization exercises with suspension device on flexion extension ratio and strength in chronic low back pain patientss. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 2019;32(3):431-436.

de Groot S, Vegter RJ, van der Woude LH. Effect of wheelchair mass, tire type and tire pressure on physical strain and wheelchair propulsion technique. *Medical Engineering and Physics*. 2013;35(10):1476-1482.

Jung KS, Jung JH, In TS. The effects of cross-legged sitting on the trunk and pelvic angles and gluteal pressure in people with and without low back pain. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2020;17(13):4621.

Kim Y, Kang HW, Kim SH, et al. Prolonged sitting-induced back pain influences abdominal muscle thickness in a sitting but not a supine position. *Scientific Reports.* 2021:11(1):163-169.

Kovacs FM, Seco J, Royuela A, et al. Prevalence and factors associated with a higher risk of neck and back pain among permanent wheelchair users: a cross-sectional study. *Spinal Cord.* 2018;56(4):392-405.

Kwon YR, Kim JW, Heo JH, et al. The effect of sitting posture on the loads at cervico-thoracic and lumbosacral joints. *Technology and Health Care.* 2018;26(S1):409–418.

Lee H. Assessment of the degree of pelvic tilt within a normal asymptomatic population. *Manual Therapy.* 2011; 16(6):646-648.

Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system. St. Louis. Mosby. 2002.

O'Sullivan PB, Kendell M, Möller NE. The effect of different standing and sitting postures on trunk muscle activity in a pain-free population. *Spine.* 2002;27(11):1238-1244.

O'Sullivan K, O'Dea P, Dankaerts W, et al. Neutral lumbar spine sitting posture in pain-free subjects. *Manual Therapy*. 2010;15(6):557-561.

Park SY, Yoo WG. Effects of a posture-sensing air seat device (PSASD) on kinematics and trunk muscle activity during continuous computer work. *Journal of Physiological Anthropology* 2011;30(4):147-151.

Park UJ, Jang SH. The influence of backrest inclination on buttock pressure. *Annals of Rehabilitation Medicine.* 2011;35(6):897-906.

Pialasse JP, Dubois JD, Choquette MH, et al. Kinematic and electromyographic parameters of the cervical flexion–relaxation phenomenon: the effect of trunk positioning. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2009;52(1):49–58

Sawatzky BJ, Kim WO, Denison I. The ergonomics of different tyres and tyre pressure during wheelchair propulsion. *Ergonomics.* 2004;47(14):1475–83.

Shin H, Kim J, Kim JJ, et al. Pressure relieving effect of adding a pelvic well pad to a wheelchair cushion in individuals with spinal cord injury. *Annals of Rehabilitation Medicine*. 2018;42(2):270-276.

Todd AI, Bennett AI, Christie CJ. Physical implications of prolonged sitting in a confined posture-a literature review. *Ergonomics*. 2007;19(2):7-21.

Troy BS, Cooper RA, Robertson RN, et al. An analysis of work postures of manual wheelchair users in the office environment. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 1997;34(2):151-161.

Uchiyama T, Kondo G. Relationships among electromyogram, displacement and velocity of the center of pressure, and muscle stiffness of the medial gastrocnemius muscle during quiet standing. *Advanced Biomedical Engineering*, 2020;9(1):138-145.

Yoo WG, Park SY, Lee MR. Relationship between active cervical range of motion and flexion-relaxation ratio in asymptomatic computer workers. *Journal of Physiological Anthropology*. 2011;30(5):203-207.