

# Correlation among Functional Leg Length Discrepancy, Muscle Activity, Muscle Contraction Onset Time and Vertical Ground Reaction Force during Simple Lifting Task

Ha Young Jin<sup>1</sup>, Jin Tae Han<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Graduate School, Kyungsung University, Busan, Republic of Korea; <sup>2</sup>Department of Physical Therapy and Institute for Rehabilitation Science, Kyungsung University, Busan, Republic of Korea

**Purpose:** Leg length discrepancy causes the posture deformation, gait asymmetry, and lower back pain. The purpose of this study is to investigate the correlation among functional leg length discrepancy (FLLD), muscle activity, muscle contraction onset time and vertical ground reaction force (vGRF) during simple lifting task.

**Methods:** Thirty-nine subjects participated in this study. FLLD was measured from the umbilicus to medial malleolus of left and right leg using a tape. The subjects performed to lift a 10 kg box from the floor to chest. The muscle activity and muscle contraction onset time of rectus abdominis, erector spinae and rectus femoris was measured using EMG system and vGRF was measured by two force plate. Pearson correlation was used to fine out the correlation among FDDL, muscle activity, muscle contraction onset time and vGRF during simple lifting task.

**Results:** Correlation between FLLD and difference of muscle activity of short-long side was very high ( $r > 0.9$ ) during simple lifting task. Correlation between FLLD and difference of muscle contraction onset time of short-long side was very high ( $r > 0.9$ ) during simple lifting task. And correlation between FLLD and difference of vGRF of short-long side was high ( $r > 0.7$ ) during simple lifting task.

**Conclusion:** This study suggests that there is high correlation between FLLD and muscle activity, muscle contraction onset time, and ground reaction force during simple lifting task. Therefore, FLLD could negatively affect the postural balance.

**Keywords:** Leg length discrepancy, Muscle activity, Ground reaction force, Simple lifting

## 서론

우리나라의 업무 관련 질환 중 근골격계질환이 55-77%로 과반수 이상이며 이 중 80%는 반복 동작이나 과도한 동작으로 발생된다.<sup>1,2</sup> 물건 들기 등과 같은 반복적 작업은 산업현장이나 일상생활에서 흔히 일어나는 동작으로 특정 직업군(조선업 등)에서 발생하는 직업관련 근골격계질환 중 66%가 물건 들기 동작 시에 발생된다고 하였다.<sup>3,4</sup>

반복적 물건 들기 시 전신적인 그리고 국소적인 근지구력 변화를 확인하는 것이 필요하며,<sup>4</sup> 작업환경과 같은 외부적인 요인에 의한 비대칭적 물건 들기에 대한 운동학적 그리고 운동역학적 변화를 알아 보는 것도 중요하다.<sup>5</sup> 물건 들기 동작 시 비대칭적 들기는 허리를 돌려서 비틀어 물건을 들어야함으로 허리의 돌림없이 물건을 바로 들어 올리는 대칭적 들기보다 위험한 동작이다.<sup>5,6</sup> 산업현장에서 물건 들기

작업 시 가능하면 대칭적 들기를 하도록 교육하고 권장하고 있지만 작업의 특성이나 작업 환경에 따라 어쩔 수 없이 비대칭적 들기를 해야 하는 경우가 많이 발생한다.<sup>5</sup> 비대칭적 들기는 작업 환경에 따른 작업 자세에 의해서 발생될 수 있으나 작업자의 신체적 특성에 의해서도 발생될 수 있을 것이다. 예를 들면, 척추의 변형, 골반기울임, 그리고 다리길이차이가 등이 있다.<sup>6</sup>

인구의 70% 이상이 다리길이차이를 보이며 인구의 23%는 1cm 이상의 다리길이차이를 가지고 있다.<sup>7,8</sup> 다리길이차이가 2.5cm 이상인 경우는 보행이나 달리기 등의 활동에 불편함이 유발되고 보행의 운동학적 변화와 보행속도가 감소시킬 수 있으며<sup>8</sup> 무릎관절염, 기능적 척추측만증, 그리고 만성 허리통증을 일으키는 원인이 될 수 있다.<sup>9,10</sup> 다리길이차이가 있는 경우 넙다리곧은근의 근활성도는 짧은쪽 다리에서 감소되고<sup>11</sup> 중간볼기근과 넙다리곧은근의 근활성도는 역

Received Aug 3, 2022 Revised Aug 18, 2022

Accepted Aug 29, 2022

Corresponding author Jin Tae Han

E-mail [jthan2001@ks.ac.kr](mailto:jthan2001@ks.ac.kr)

Copyright ©2022 The Korean Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

시 짧은쪽 다리에서 감소되었다.<sup>12</sup> 바닥에서 물건을 수직으로 들어 올릴 때 양쪽 발의 지면반발력을 비교한 경우는 수직지면반발력이 비대칭적으로 나타난다고 하였지만 선행연구들은 비대칭적 자세에서 보다 대칭적 자세로 물건 들기 시 지면반발력을 알아본 연구들이 주로 진행되고 있다.<sup>9</sup>

다리길이차이와 같은 내부적인 요인에 의한 비대칭적 물건들기에서의 신체 근육의 근활성도 변화에 대한 정보를 알아보는 것은 물건 들기 시 발생할 수 있는 근골격계 손상의 원인을 이해하는 데 큰 도움이 될 것이다. 지금까지 선행연구들은 다리길이차이 유무에 따른 다리근육의 근활성도를 단순 비교하는 연구들이 많이 진행되어 있다.<sup>11,12</sup> 하지만 물건들기 시 다리길이차이와 신체 근활성도, 근수축개시시간 및 수직 지면반발력과의 상관관계를 알아보는 연구는 미흡하며 특히 몸통 근육의 근활성도나 근수축 개시시간을 조사한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 물건들기 시 다리길이차이 정도와 짧은쪽-긴쪽 근활성도 차이, 짧은쪽-긴쪽 근수축 개시시간차이 및 짧은쪽-긴쪽 수직지면반발력 차이 사이에 어떤 상관성이 있는지 알아보기 위해 실험을 진행하였다.

## 연구 방법

### 1. 연구대상자

본 연구는 건강한 성인 남성 39명을 대상으로 실험을 하였으며 대상자의 과거병력에서 신경학적 그리고 정형외과적 수술이 있었거나 허리통증이 있는 자는 제외하였다. 연구대상자에게 연구에 대한 사전 설명을 충분히 하였고 자발적인 참여에 대한 동의서를 받았다. 또한 본 연구는 K대학교의 생명윤리위원회에 의해 승인을 받았으며 헬싱키선언에 따른 윤리규정을 준수하여 진행하였다(KSUIRB-21-02-008).

### 2. 측정방법

#### 1) 측정도구

물건 들기 시 다리길이차이에 따른 몸통과 다리의 근활성도를 측정하기 위하여 표면근전도 무선시스템(Telemyo 2400T G2, Noraxon Inc., AZ, USA)을 사용하였다. 표면 전극은 은염화 이중 전극(272, Noraxon Inc., AZ, USA)을 사용하였고 피부 저항을 최소화하기 위해 측정 부위를 면도한 후 부착하였다. 신호 추출률은 1,024Hz로 하였으며, 근전도 원신호를 20-450Hz 대역 필터와 60Hz 노치(noch)필터를 통해 노이즈(noise)를 제거하였다. 각 근육의 근전도 신호는 보다 정확한 정보를 얻기 위하여 파형을 제공한 뒤 적분하여 제공근을 씌우는 방법인 실효평균값(root mean square, RMS)으로 정량화하였고 MyoResearch Master XP 1.07프로그램(Noraxon Inc., AZ, USA)을 사용하여 저장하

고 처리하였다.<sup>13</sup>

또한 수직지면반발력을 측정하기 위해 바닥에 2개의 힘판(AMTI, Inc., Watertown, MA, USA)을 사용하였다. 측정 압력의 범위는 1-120 N/cm<sup>2</sup>이고 정적 표본 압력 추출 속도는 2-5Hz, 동적 표본 압력 추출 속도는 약 90Hz이고 정확도는 ±5%이다. 물건 들기 시 수직 최대 지면반발력에 대한 신호를 컴퓨터에 저장하였으며 이 신호는 Motion Analysis의 Cortex 64 소프트웨어를 사용하여 자료를 수집하였다.<sup>14</sup> 그리고 측정 단위는 뉴턴(N)을 사용하였다.

#### 2) 실험절차

연구대상자는 편안한 복장으로 실험에 참여하였고 배꼽에서 왼쪽과 오른쪽 안쪽 복사뼈까지 길이를 측정하여 그 차이를 다리길이차이로 정하였다.<sup>15</sup> 물건 들기는 검사자의 "시작" 구호와 함께 손잡이가 있는 10kg의 상자를 바닥에서 가슴높이까지 들도록 지시하였다 (Figure 1).

물건 들기 시 근활성도를 알아보기 위해 몸통근육은 양쪽 배곧은근과 척추세움근 그리고 다리근육은 양쪽 넙다리곧은근의 근활성도와 근수축 개시시간을 측정하였다. 실험 시작 전에 전극부착 부위에 털을 제거하고 소독용 알코올로 닦은 후 전극을 부착하였고 전극 부착부위는 Figure 2와 같다. 물건 없이 들기 동작을 하는 동안 각 근육의 5초간 자발적 근수축을 기준으로 하여 10kg의 물건 들기 동작의 시작과 끝 시점의 5초간 측정된 근전도 자료값을 비교하는 기준 자발적 수축(reference voluntary contraction, RVC)방법을 사용하였다.<sup>16</sup>

또한 수직지면반발력은 물건 들기 동안 두 개의 힘판 위에 두 발을



Figure 1. Posture during lifting, (A) Starting position (B) Ending position.

평행하게 위치하게 하였으며 지면반발력 자료는 아날로그 디지털 컨버터를 통해 동기화한 후 분석하였다.<sup>17</sup> 물건 들기 동안 다리길 차이에 따른 각 힘판의 수직지면반발력을 측정하였고 두 힘판의 최대 수직지면반발력의 차이값을 수직지면반발력의 차이값으로 사용하였다. 모든 자료의 측정은 3회 측정하였고 평균값을 자료분석에 사용하였다. 실험 중 근피로를 예방하기 위해 측정할 때 마다 5분간의 휴식 시간을 주었다.

### 3. 통계분석

다리길이차이 정도와 왼쪽-오른쪽 근활성도 차이, 근수축 개시시간 차이 그리고 왼쪽-오른쪽 수직지면반발력 차이와의 상관성을 알아보기 위해 Pearson의 상관관계분석을 사용하였고 각 변수들에 대한 평균값과 표준편차를 산출하여 제시하였다. 통계 프로그램은 SPSS 26 (IBM SPSS Statistics)를 사용하고, 유의수준( $\alpha$ )은 0.05로 설정하였다.

**Table 1.** General characteristics of subjects

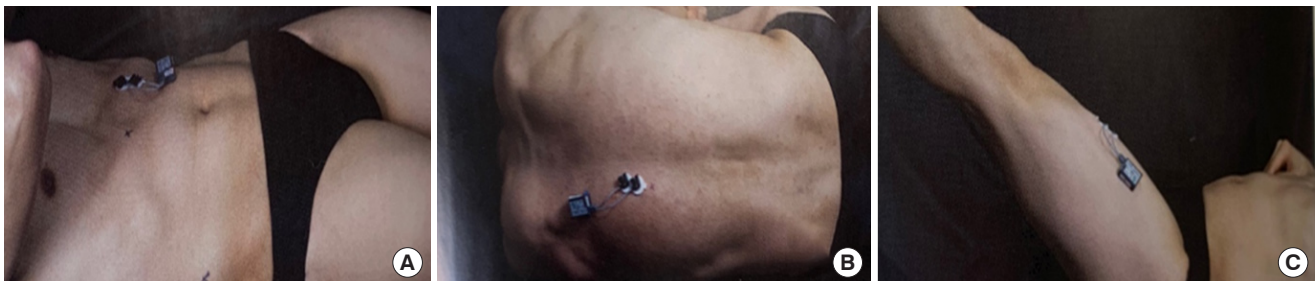
Variables	Subjects (n=39)
Age (yr)	26.5±7.5
Height (cm)	169.3±6.9
Weight (kg)	66.1±3.9
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	23.1±1.0

Mean±SD.  
BMI: body mass index.

**Table 2.** Descriptive statistics of LLD, difference of muscle activity, muscle contraction onset time, and vertical ground reaction force between short and long leg side during simple lifting task

Variables	Short leg side	Long leg side	Differences
Leg length discrepancy (mm)	852.02±79.36	865.16±84.71	13.14±5.35
Rectus abdominis activity (%RVC)	245.68±49.11	262.29±58.35	16.61±9.24
Erector spinae activity (%RVC)	440.29±183.21	485.34±196.64	18.05±13.43
Rectus femoris activity (%RVC)	265.61±180.04	278.47±189.32	12.86±9.28
Onset time rectus abdominis contraction (seconds)	0.24±0.06	0.20±0.04	0.04±0.02
Onset time erector spinae contraction (seconds)	0.36±0.15	0.19±0.05	0.17±0.10
Onset time rectus femoris contraction (seconds)	0.29±0.14	0.15±0.06	0.14±0.08
Vertical ground reaction force (N)	1.28±0.42	1.19±0.38	0.09±0.03

Mean±SD.



**Figure 2.** Attachment place of electrode, (A) Rectus abdominis, (B) Erector spinae, (C) Rectus femoris.

## 결 과

### 1. 연구대상자의 일반적 특성

본 연구의 대상자는 39명으로 평균 연령은 26.5±7.5세, 평균 신장은 169.3±6.9cm, 평균 체중은 66.1±3.9kg, 체질량지수는 23.1±1.0kg/m<sup>2</sup>이었다(Table 1).

### 2. 다리길이차이와 근활성도 차이와의 상관관계

다리길이차이의 평균은 13.1±5.4mm이었고 배곧은근 근활성도 차이의 평균은 16.61±9.24%RVC, 척추세움근 근활성도 차이의 평균은 18.05±13.43%RVC, 넙다리곧은근 근활성도 차이의 평균은 12.86±9.28%RVC이었다(Table 2). 다리길이차이가 증가할수록 다리길이 짧은 왼쪽과 긴 오른쪽 사이의 근활성도 차이가 증가하는 경향을 보였다(Figure 3). 다리길이차이와 배곧은근 근활성도 차이( $r=0.921$ ), 등세움근 근활성도 차이( $r=0.924$ ), 넙다리곧은근 근활성도 차이( $r=0.941$ )는 모두 0.8 이상으로 매우 높은 상관관계가 있었다( $p<0.05$ ) (Table 3).

### 3. 다리길이차이와 근수축 개시시간 차이와의 상관관계

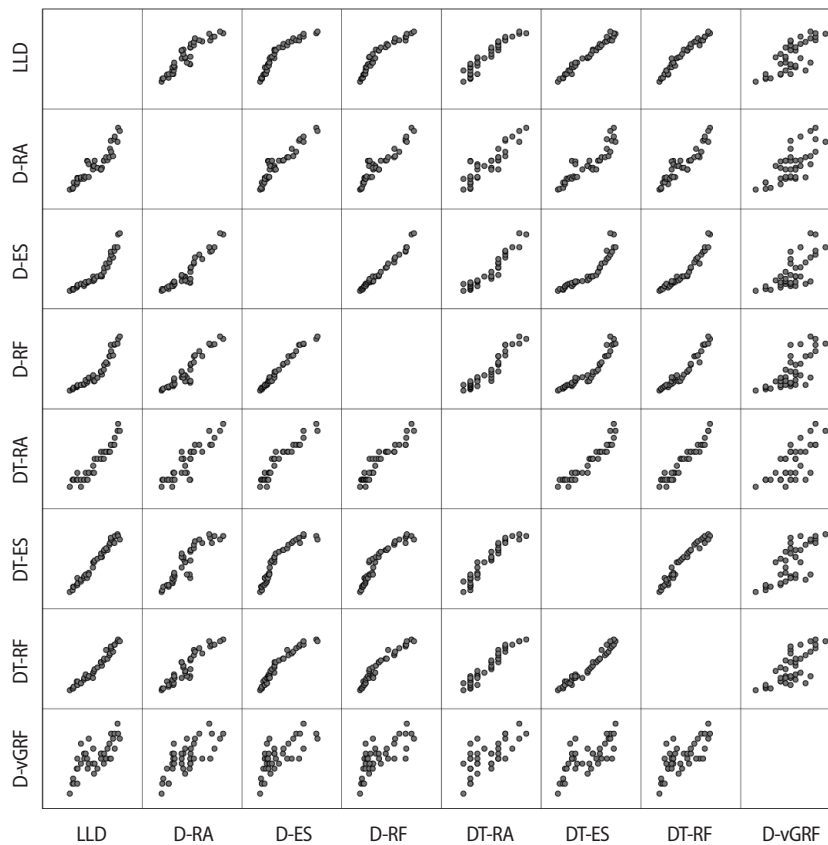
다리길이차이의 평균은 13.1±5.4mm이었고 배곧은근 근수축 개시시간 차이의 평균은 0.04±0.02sec, 등세움근 근수축 개시시간 차이의

**Table 3.** Correlation among LLD, difference of muscle activity, onset time of muscle contraction, and vertical ground reaction force between short and long leg side during lifting (unit: r)

Variables	LLD	D-RA	D-ES	D-RF	DT-RA	DT-ES	DT-RF	D-vGRF
LLD	1							
D-RA	0.921**	1						
D-ES	0.924**	0.948**	1					
D-RF	0.941**	0.941**	0.989**	1				
DT-RA	0.948**	0.879**	0.950**	0.948**	1			
DT-ES	0.988**	0.904**	0.915**	0.935**	0.955**	1		
DT-RF	0.980**	0.931**	0.957**	0.968**	0.965**	0.978**	1	
D-vGRF	0.745**	0.717**	0.719**	0.733**	0.708**	0.714**	0.728**	1

LLD: Leg length difference, D-RA: Difference of rectus abdominis muscle activity, D-ES: Difference of erector spinae muscle activity, D-RF: Difference of rectus femoris muscle activity, DT-RA: Difference of contraction onset time of rectus abdominis, DT-ES: Difference of contraction onset time of erector spinae, DT-RF: Difference of contraction onset time of rectus femoris, D-vGRF: Difference of vertical ground reaction force.

\*\*p < 0.01.



**Figure 3.** Scatter graph between each variable. LLD: Leg length difference, D-RA: Difference of rectus abdominis muscle activity, D-ES: Difference of erector spinae muscle activity, D-RF: Difference of rectus femoris muscle activity, DT-RA: Difference of contraction onset time of rectus abdominis, DT-ES: Difference of contraction onset time of erector spinae, DT-RF: Difference of contraction onset time of rectus femoris, D-vGRF: Difference of vertical ground reaction force.

평균은  $0.17 \pm 0.10$ sec, 넓다리골은근 근수축 개시시간 차이의 평균은  $0.14 \pm 0.08$ sec이었다(Table 2). 다리길이차이가 증가할수록 다리길이 가 짧은 왼쪽과 긴 오른쪽 사이의 근수축 개시시간 차이가 증가하는 경향을 보였다(Figure 3). 다리길이차이와 배곧은근 근수축 개시시간 차이( $r=0.948$ ), 등세움근 근수축 개시시간 차이( $r=0.879$ ), 넓다리골

은근 근수축 개시시간 차이( $r=0.980$ )는 모두 0.8 이상으로 매우 높은 상관관계가 있었다( $p < 0.05$ )(Table 3).

#### 4. 다리길이차이와 수직지면반발력 차이와의 상관관계

다리길이차이의 평균은  $13.14 \pm 5.35$ mm이었고 수직지면반발력 차이

의 평균은  $0.09 \pm 0.03\text{N}$ 이었다(Table 2). 다리길이차이가 증가할수록 다리길이 짧은 왼쪽과 긴 오른쪽 사이의 수직지면반발력 차이가 증가하는 경향을 보였다(Figure 3). 다리길이차이와 수직지면반발력 차이( $r=0.745$ )는 모두 0.6 이상으로 높은 상관관계가 있었다( $p<0.05$ ) (Table 3).

## 고 찰

선행연구에서 물건들기 시 배곧은근, 척추세움근과 같은 몸통 주위 근들은 자세 정렬을 유지하며 넙다리곧은근과 같은 무릎관절 펴근은 동적 움직임을 만들어 주는 역할을 한다.<sup>18</sup> 다리길이차이에 따른 운동역학적 변화들과 운동학적 변화 때문에 일상생활에서 비대칭적인 운동 부하가 증가되고 이로 인해 근골격계 질환들이 발생할 수 있다.<sup>19</sup> 반복적인 들기 자세는 허리의 과부하로 인해 급성 척추사이원반 탈출증이나 허리통증을 증가시킨다고 하였다.<sup>20</sup> 본 연구는 일상생활과 작업 중에 흔히 경험하는 물건들기 동안 다리길이차이와 짧은쪽-긴쪽 근활성도 차이, 근수축 개시시간 차이, 그리고 수직지면반발력의 차이와의 상관성을 알아보았다.

본 연구에서 물건들기 동작 시 다리길이차이와 근활성도 차이, 근수축 개시시간 차이, 수직 지면반발력 차이의 상관관계 분석 결과, 다리길이와 배곧은근, 척추세움근, 넙다리곧은근의 짧은쪽-긴쪽 근활성도 차이는 매우 높은 상관관계가 있었다. 다리길이와 배곧은근, 척추세움근, 넙다리곧은근의 짧은쪽-긴쪽 근수축 개시시간 차이 역시 높은 상관관계가 있었다. 2cm 이상 다리길이차이가 있는 사람들은 보행 시 산소소모량이 증가하고 넙다리근육의 피로가 유의하게 증가한다고 하였고, 다리길이차이가 있는 대상자의 짧은쪽 다리보다 긴쪽 다리에서 넙다리근육의 근활성도는 유의하게 증가한다고 하였다.<sup>11</sup> 이는 본 연구에서 물건들기 시 짧은쪽-긴쪽의 몸통과 다리 근활성도와 근수축 개시시간이 다리길이차이 정도와 상관성이 높은 것과 유사한 결과이며 다리길이차이가 클수록 몸통과 다리 근육의 근활성도 불균형과 근수축 개시시간의 차이가 증가하는 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 생각한다. 물건들기 시 다리길이차이가 증가되면 골반과 척추 그리고 다리 등의 신체 전반의 부정렬로 인한 근육불균형이 초래되고 짧은 쪽 다리의 근육 단축으로 인해 근활성도 감소 및 근수축개시시간의 지연이 동반된다고 사료된다. 따라서 기능적 다리 길이차이는 다리관절의 근육 불균형과 무릎의 과적힘, 척추옆굽음증과 같은 자세불량의 원인이 될 수 있다.<sup>21</sup>

본 연구의 결과에서 물건들기 시 다리길이차이가 증가할수록 짧은쪽-긴쪽 수직지면반발력의 차이는 증가하였고 다리길이차이와 짧은쪽-긴쪽 수직지면반발력의 차이는 상관관계가 높았다. Swaminathan 등<sup>22</sup>은 0.5-2cm의 다리길이차이가 있는 대상자의 긴쪽 다리보다

짧은쪽 다리에서 수직지면반발력이 높게 나타났다고 하였고 체중 분배가 긴쪽 다리보다 짧은쪽 다리에 더 크다고 하였다. Zabri 등<sup>23</sup>은 다리길이차이가 증가할수록 보행 시 수직지면반발력뿐만 아니라 관절반발력 역시 증가하였고 이는 다리길이차이가 보행 시 힘의 분배에 영향을 주고 체중 분배의 불균형은 자세 불안정을 유발할 수 있다고 하였다. 한편 Maines와 Reiser<sup>24</sup>은 바닥에 있는 물건을 수직 방향으로 들어 올릴 때 양쪽 발의 지면반발력은 발바닥에서의 앞쪽과 뒤쪽 힘은 차이를 나타내지 않았지만 안쪽과 바깥쪽의 지면반발력이 차이가 크게 나타났다고 하였다. 이는 물건 들기 동안 무게중심이 안쪽으로 모이는 경향이 있기 때문이며 다리길이차이가 있는 경우 다리 길이 짧은 쪽으로 무게중심이 더 이동될 것이라고 사료된다. 따라서 선행연구들의 연구결과와 유사하게 본 연구에서도 다리길이차이는 물건들기 시 수직지면반발력에 영향을 줄 수 있고 자세 불균형을 유발된다는 것을 확인할 수 있다고 생각한다. 다만, 다리길이차이와 수직 지면반발력차이와 상관성이 상대적으로 근활성도차이와 근수축 개시시간차이 보다 낮은 것은 수직지면반발력이 다리길이차이보다 몸무게의 영향이 다소 높기 때문이라고 사료된다.

본 연구에 제한점은 몸통과 팔다리의 다양한 근육을 충분히 측정하지 못한 것과 연구대상자를 남자로만 진행한 것은 연구결과를 일반화하기에 부족하다고 생각한다. 앞으로 대상자들의 다양한 근육과 남녀를 모두 포함한 연구의 진행이 필요하다고 생각한다.

본 연구의 결과는 다리길이차이는 물건 들기 시 왼쪽과 오른쪽의 근활성도와 지면반발력에 영향을 미칠 수 있으며 이는 일상생활에서 다리길이차이가 근육의 불균형 또는 자세불균형의 원인이 될 수 있다는 것을 제시할 수 있을 것이다. 또한 본 연구의 결과를 근거로 다리길이차이를 해결하기 위한 다양한 치료적 중재를 적용한다면 작업 시 신체 손상의 위험을 낮추고 부상을 빈도를 줄이는 데 도움이 될 것이라고 생각한다. 향후 다양한 작업환경에서 다리길이차이가 신체 정렬과 기능에 미치는 영향 및 부상 위험을 예방하기 위한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

## REFERENCES

1. Shin YJ, Joo HY, Yang JH et al. A study on IMU sensor suitable for musculoskeletal disorder monitoring. JKICS. 2020;2:824-5.
2. McKenzie R, May S. The lumbar spine: mechanical diagnosis and therapy: vol.1. 2nd ed. Waikanae, Orthopedic Physical Therapy Products, 2003:13-700.
3. Griffith LE, Shannon HS, Wells RP et al. Individual participant data meta-analysis of mechanical workplace risk factors and low back pain. Am J Public Health. 2012;102:309-18.
4. Kim WH. Electromyographic analysis of muscle activity and fatigue of the paraspinal muscles during a repetitive lifting task. KRSPT. 2009;16

- (3):16-23.
5. Jeong SY, Kang JW, Koo JW. The relationship between grip strength and ground reaction force by change of position when lifting tasks. *J Ergon Soc Korea*. 2009;28(3):41-7.
  6. Kingma I, van Dieën JH, de Looze M et al. Asymmetric low back loading in asymmetric lifting movements is not prevented by pelvic twist. *J Biomech*. 1998;31(6):527-34.
  7. McCarthy JJ, MacEwen GD. Management of leg length inequality. *J South Orthop Assoc*. 2001;10(2):73-85.
  8. Resende RA, Kirkwood RN, Deluzio KJ et al. Biomechanical strategies implemented to compensate for mild leg length discrepancy during gait. *Gait Posture*. 2016;46:147-53.
  9. Maines JM, Reiser RF. Ground reaction force bilateral asymmetries during submaximal sagittal plane lifting from the floor. *Int J Ind Ergon*. 2006;36(2):109-17.
  10. Raczkowski JW, Daniszewska B, Zolynski K. Functional scoliosis caused by leg length discrepancy. *Arch Med Sci*. 2010;6(3):393-8.
  11. Gurney B, Mermier C, Robergs R et al. Effects of limb-length discrepancy on gait economy and lower-extremity muscle activity in older adults. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83(6):907-15.
  12. Kim HR, Song YJ, Moon SG et al. The influence of electromyographic activation on gluteus medius and tensor fascia lata by functional leg length discrepancy in women's university students during lunge. *J Korean Orthop Manu Phys Ther*. 2013;19(2):39-43.
  13. Han JT. The effect of visual deprivation on trunk and lower extremity muscle activity on an unstable surface. *PNF Mov*. 2018;16(3):433-9.
  14. Lee PK, Yang BI. The effects of theratainmental squat exercise on ground reaction force in the patients with chronic hemiplegia. *Journal of KOEN*. 2018;12(1):297-307.
  15. Han JT. Effect of induced leg length discrepancy on the limitation of stability and static postural balance. *PNF Mov*. 2018;16(2):267-73.
  16. Moon GD, Lim JY, Kim TH et al. The effects of joint mobilization and stretching on the muscle activity and internal rotation of shoulder joint in patients with impingement syndrome with posterior shoulder tightness. *Phys Ther Korea*. 2020;27(1):38-44.
  17. Kim KW, Ahn SJ. The effects of gaze direction on the stability and coordination of the lower limb joint during drop-landing. *Korean J Sport Biomech*. 2021;31(2):126-32.
  18. Kim MH, Lee JA, Jung DY et al. Effects of back-belt on electromyographic activities and angle of lower back and extremity during lifting. *Korean J Occup Environ Med*. 2005;259-66.
  19. Needham R, Chockalingam N, Dunning D et al. The effect of leg length discrepancy on pelvis and spine kinematics during gait. *Stud Health Technol Inform*. 2012;176:104-7.
  20. Gurney B. Leg length discrepancy. *Gait Posture*. 2002;15(2):195-206.
  21. Marras WS, Sommerich CM. A three-dimensional motion model of loads on the lumbar spine: I. model structure. *Human Factors*. 1991; 33(2):123-37.
  22. Swaminathan V, Cartwright-Terry M, Moorehead JD et al. The effect of leg length discrepancy upon load distribution in the static phase (standing). *Gait Posture*. 2014;40(4):561-3.
  23. Zabri SWK Ali, Basaruddin KS, Salleh AF et al. Leg length inequality effects on ground and lower extremity joint reaction forces during walking. *J Teleco Elec Comp Eng*. 2018;10(1-16):141-5.
  24. Maines JM, Reiser RF. Ground reaction force bilateral asymmetries during submaximal sagittal plane lifting from the floor. *Int J Ind Ergon*. 2006;36(2):109-17.