보행 시 스마트폰 사용이 대학생들의 몸통 근 활성화도에 미치는 영향

이대희, PT, PhD¹, 전해주, PT, PhD^{*1}

¹유원대학교 물리치료학과, ^{*1}유원대학교 물리치료학과

Effects of the Use of Smartphone

while Walking on the Trunk Muscle Activity in Young Students

Dae-Hee Lee, PT, PhD¹, Hye-Joo Jeon, PT, PhD^{*1}

¹Dept. of Physical Therapy, U1 University, Republic of Korea

^{*1}Dept. of Physical Therapy, U1 University, Republic of Korea

Purpose The study aims to determine the effects of smartphone use on the trunk muscle activity while walking in young students. **Methods** Twenty-one subjects were asked to perform 10-meter walk test between upright walking without using a smartphone and conducting two-handed texting while walking with using a smartphone, and the electromyography activities of the trunk were quantified. When using a smartphone, cervical flexion angle was measured using the digital goniometer. **Results** First, middle trapezius, latissimus dorsi, and external abdominal oblique muscles decreased muscle activity when walking by texting to the smartphone than when walking without using the smartphone ($p<0.05$). The upper trapezius muscle activity increased when walking by sending text messages with a smartphone than when walking without using a smart phone ($p<0.05$). The splenius capitis, lower trapezius, triceps, multifidus, and erector spinae increased muscle activity when walking while texting to the smartphone than when walking without using a smartphone ($p>0.05$). Second, when using a smartphone, the speed was slower than upright walking ($p<0.05$). Third, when using a smartphone, the bending angle of the neck increased more than when upright walking ($p<0.05$). **Conclusion** Our findings suggest that habitually using a smartphone while walking could be a potential risk for trunk musculoskeletal problems.

Key words Walking, Smartphone, Muscle activity, Trunk muscle, EMG

Corresponding author Hye-Joo Jeon (star-002@nate.com)

Received date 07 Apr 2021

Revised date 07 Oct 2021

Accept date 11 Oct 2021

1. 서론

보행은 인간의 일상생활 및 독립적인 생활을 지속해 나아가는데 있어 가장 중요하고 기본적인 행위이다.¹⁾ 이상적인 보행을 위해서는 신체의 상, 하지 운동에 의해 신체가 일정한 방향과 필요한 속도를 유지할 수 있어야 하며 단계적으로 움직이는 병진 운동을 필요로 한다. 머리, 목, 몸통이 서로 정상적인 선열을 유지함과 동시에 적절한 관절가동범위의 교대운동 허용과 피로를 최소화할 수 있는 효율성이 요구된다.²⁾ 또한 보행은 일차적으로 다리의 활동이 중요한 요소이지만 정상적인 보행을 하기 위해서는 상지의 움직임도 매우 중요하며, 이는 몸통의 돌림과도 깊은 연관이 있기 때문이다.³⁾ 상지의 근 활동은 팔의 돌림 크기와 시간을 제어하면서 보행 속도에 맞춰 팔

을 돌림 시키는데,⁴⁾ 상지의 돌림 운동이 동반되지 않으면 보행 시 좌우 힘의 불균형으로 이어진다.⁵⁾

스마트폰은 모든 연령대에서 일상생활에서 필수로 여겨지고 있으며, 전 세계 인구의 77%가 스마트폰을 소유하고 있는 것으로 나타났다.⁶⁾ 스마트폰을 오랜 시간 잘못된 자세로 사용하면 손목과 손가락에 과도한 스트레스가 발생하며 목, 어깨의 통증으로 이어질 수 있고, 전방머리자세(forward head posture)나 구부정한 자세(slouched posture)와 같은 부적절한 자세를 유발할 수 있다.⁷⁾ 전방머리자세는 목 근육 활성화도와 목 굽힘 각도 감소 및 피로가 증가함으로 인해 상위교차 증후군과 같이 머리가 거북이처럼 구부정하게 앞으로 굽어지는 질병을 유발하는 것으로, 어깨나 뒷목 주변 근육이 뭉쳐서 심할 경우 목 굽이에도 영향을 미친다고 하였다.⁸⁾ 이처럼 올바른 자세를 유지하지 못하고 잘못된 자세를 오랜 시간 지속해서 취하는 것은 목과 허리의 통증을 유발할 뿐만 아니라 고

<http://dx.doi.org/10.17817/2021.10.07.1111646>

유수용성감각(proprioception)에도 손상을 야기할 수 있는 것으로 보고되었다.⁷⁾

스마트폰을 사용하며 보행을 하는 사람들은 작은 화면에 집중하기 때문에, 보행에 필요한 시각 정보의 양은 줄어들게 되며,⁹⁾ 보행과 스마트폰을 이용하는 행위 간에 서로 간섭을 일으켜 인지능력과 사고력, 판단력을 저하하는 이중과제간섭(dual task interference)이 발생하여 보행 시 두 행위에 대한 수행력이 감소하게 된다.¹⁰⁾ 또한, 이전 연구에서 보행 중 스마트폰을 사용했을 때 걸음 횟수와 보행 속도가 감소하였으며, 이중 지지기 시간이 증가하였다.¹¹⁾ 이와 유사한 연구로 스마트폰으로 인지적 과제 수행 시 일반적인 보행에 비해 보행 속도가 33% 감소하는 것으로 나타났다.¹²⁾

Berolo 등¹³⁾은 스마트폰을 사용할 때 머리를 숙이는 자세가 목 부위의 근골격계 질환을 발생시킨다고 하였으며, Betsch 등¹⁴⁾의 최근 연구에서도 과도한 스마트폰 사용이 걷는 동안 몸통의 기울기를 증가시키고, 척추 후만증의 자세변화를 가져올 수 있다고 하였다.

또한, 보행 시 스마트폰의 사용은 스마트폰을 잡고 아래 방향을 보게 되며, 머리와 팔의 자연스러운 자세가 아닌 상태로 걸음을 걷게 된다. 이때 척추의 운동학이 변화하게 되며, 허리뼈근에 가해지는 근육의 부하가 증가되어 허리 통증을 유발하게 된다.¹⁵⁾

지금까지 보행 중 스마트폰 사용의 문제점에 대한 다양한 연구가 진행되고 있지만, 아직까지 몸통의 근활성도에 미치는 영향에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 보행 시 스마트폰 사용이 몸통 근 활성도에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구대상

본 연구는 20대의 성인 남녀 21명(남성 13명, 여성 8명)을 대상으로 하였으며, 선정기준은 다음과 같았다.

- 신체 뼈대계통의 골절 및 기능적 제한이 없는 사람
- 신체 전반적으로 통증을 호소하지 않는 사람
- 본 연구 참여에 자발적으로 동의한 사람
- 심장과 폐 관련 질환이 없는 사람

본 연구는 유원대학교 윤리심의위원회의 심의를 거쳐 윤리 승인을 받았으며 (U1IRB2020-06), 대상자에게 연구 윤리 승인을 고지하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. General characteristics of the subjects

Variables	Mean±SD
Gender (M/F)	13/8
Age (years)	24.76±2.74
Height (cm)	168.96±8.47
Weight (kg)	70.17±13.63

2. 측정도구 및 측정방법

1) 근전도

보행 시 스마트폰 사용이 몸통 근 활성도에 미치는 영향을 확인하기 위하여 Trigo Wireless EMG system(Delsys, Inc, boston, MA, USA)를 사용하였으며(Figure 1), 데이터 분석은 EMGworks 소프트웨어 패키지(ver. 4.0, Delsys)를 사용하여 수행되었다. 근전도 신호의 표본 추출률은 2,000Hz로 설정하였으며, 본 연구에서는 수집된 모든 근전도 신호를 RMS(root mean square) 처리하였다. 기준수축(reference voluntary contraction)에 대한 평균값은 피실험자가 정적인 자세에 있을 때 각 근육에서 계산되었으며 도출 방법은 다음과 같다.

$$\%RVC = \text{Walking RVC} / \text{Static standing RVC}$$

2) 10미터 보행 검사 10-MWT (10-meter walk test)

대상자들의 보행 능력을 평가하기 위한 도구로 신뢰도와 타당도가 검증된 10-MWT를 사용하였다. 평가 방법은 14m 직선 보행 경로에서 시행되었으며, 평가의 정확성을 위해 14m 중 처음과 끝 2m 지점의 가속, 감속 구간은 시간 측정에서 제외하였다.¹⁶⁾

3) 디지털 고니오미터

보행 시 스마트폰 사용 유, 무에 따른 목의 관절가동범위를 측정하기 위해 디지털 고니오미터 (Electronic Digital Protractor Goniometer Angle Finder Miter Gaug, iGaging, California,

Figure 1. Trigo Wireless EMG system

Figure 2. Range of motion in neck

US)를 사용하였다. 각도계의 중심축(axis)을 바깥귀길(external auditory meatus)에 맞추고 고정팔(stationary arm)을 지면에 수직이 되도록 하여 운동팔(moving arm)을 코 방향으로 맞추어 측정하였다. 목의 가동범위를 측정하기 위한 시작 위치에서 고니오미터는 90도로 판독되며, 이 판독 값은 0도로 전환하여 기록하였다(Figure 2).

4) 측정방법

측정 시, 연구대상자의 머리넒판근, 위등세모근, 중간등세모근, 아래등세모근, 넓은등근, 못갈래근, 척주세움근, 배바깥빗근에 SENIAM의 권고에 따라 부착하였다(Table 2).¹⁷⁾ 대상자들은 부착 부위의 피부 표면에 있는 털을 제거하고 소독용 알코올을 이용하여 닦아낸 후 근전도 센서를 근섬유 방향과 평행하도록 해당 근육에 부착한 후 스마트폰을 사용하지 않고 정면을 바라본 상태와 스마트폰을 사용한 상태에서 각각 10-MWT를 수행하였다. 스마트폰을 사용하여 보행을 할 때에는 애국가 1절을 스마트폰 자판으로 타이핑하도록 지시받았으며, 보행 속도는 평상시 선호하는 속도로 실시하였다. 10-MWT를

마치고 도착하자마자 디지털 고니오미터를 이용하여 목의 관절가동범위를 측정하였다.

3. 분석방법

본 연구의 분석방법은 SPSS 18.0(International Business Machines, Armonk, USA)을 사용하였으며, 데이터는 평균 $\pm$ 표준 편차(SD)로 표현되었다. 보행 시 스마트폰 사용 유무에 따른 보행 속도, 목 굽힘 각도, 몸통 근 활성도의 차이를 알아보기 위해 Wilcoxon signed rank test를 사용하였으며, 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다. 모든 데이터는 3번 반복 측정 후 평균값을 계산하였다.

III. 결 과

1. 보행 시 스마트폰 사용 여부에 따른 근 활성화도 비교

중간등세모근, 넓은등근, 배바깥빗근은 평상시 보행을 했을 때보다 스마트폰을 사용하여 보행을 했을 때 근 활성화도가 더 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 위등세모근의 근 활성화도는 평상시 보행을 했을 때보다 스마트폰을 사용하여 보행을 했을 때 근 활성화도가 더 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다($p < 0.05$). 머리넒판근, 아래등세모근, 못갈래근, 척주세움근은 평상시 보행을 했을 때보다 스마트폰을 사용하여 보행을 했을 때 근 활성화도가 더 증가했지만, 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$) (Table 3).

2. 보행 시 스마트폰 사용 여부에 따른 10-MWT 검사 비교

평상시 보행 속도는 8.58 ± 0.80 초, 스마트폰 사용하여 보행을 했을 때는 9.58 ± 1.21 초로 나타났으며, 스마트폰을 사용하여 보행을 했을 때 평상시 보행 속도보다 감소하였다($p < 0.05$) (Table 4).

Table 2. Position of electrode

Muscle	Position
splenius capitis	2cm away from C4 in the direction of the muscle fiber.
upper trapezius	between the acromion and the line of the spine on vertebra C7.
middle trapezius	between the medial border of the scapula and the spine, at the level of T3.
lower trapezius	2/3 on the line from the trigonum spinea to the T8 thoracic verterbra.
latissimus dorsi	1/2 the distance between the spine & the lateral edge of the torso on an oblique angle of 25 degrees.
multifidus	aligned with PSIS to the interspace between L1 and L2 interspace at the level of L5 about 2-3cm form the midline.
erector spinae	two finger width lateral form the spinous process of L1.
external abdominal oblique	lateral to the rectus abdomins directly above the ASIS.

Table 3. Comparison of muscle activity

Muscle [%RVC]	nomal walking without using a smartphone	walking while using a smartphone	<i>p</i>
splenius capitis	147.69±69.03	176.27±100.06	0.11
upper trapezius	286.64±424.96	294.39±240.74	0.03*
middle trapezius	213.62±133.21	153.83±73.41	0.00*
lower trapezius	144.74±41.57	166.08±99.61	0.64
latissimus dorsi	340.99±550.21	222.94±128.78	0.03*
multifidus	266.64±220.58	397.19±892.03	0.22
erector spinae	205.03±96.98	206.17±86.83	0.79
external abdominal oblique	298.07±456.62	234.89±305.37	0.01*

Table 4. Comparison of 10-meter walk test

index (second)	nomal walking without using a smartphone	walking while using a smartphone	<i>p</i>
speed	8.58±0.80	9.58±1.21	0.00*

Table 5. Comparison of cervical angle

index (degree)	nomal walking without using a smartphone	walking while using a smartphone	<i>p</i>
cervical flexion angle	4.06±3.33	30.84±8.43	0.00*

3. 보행 시 스마트폰 사용 여부에 따른 목의 관절가동범위 비교
보행 시 스마트폰 사용 여부에 따라 목의 굽힘 각도는 유의한 차이가 있었으며, 스마트폰을 사용하여 보행을 했을 경우 목의 굽힘 각도가 정상 보행 시 보다 더 크게 나타났다($p<0.05$) (Table 5).

IV. 고 찰

본 연구는 20대 학생 21명을 대상으로 보행 시 스마트폰의 사용이 몸통 근 활성화에 미치는 영향을 알아보기 위해 시행하였다.

본 연구결과 중간등세모근, 넓은등근, 배바깥빗근은 평상시 보행할 때보다 스마트폰을 사용하여 보행할 때 근 활성도가 감소하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다. Sei와 Uhl¹⁸⁾의 연구에서는 중간등세모근의 근육 약화가 어깨의 기능을 손상시키고 불안정성을 증가시킬 수 있다고 하였고, 이러한 어깨 불안정성은 보행 능력에 영향을 미칠 수 있다고 하였다.¹⁹⁾ 넓은등근은 보행에서 필수적이지만 종종 간과되는 근육 중 하나이며,²⁰⁾ 상지와 하지를 연결하는 기능적 연결 고리라고 할 수 있다.^{21,22)} 특히 스마트폰을 사용하며 보행 시 팔 흔들기(arm swing)를 할 수 없어 넓은등근의 활동이 감소하였으며,²³⁾ Ford 등²⁴⁾은 팔 흔들기가 제한적일 때 몸통과 골반의 돌림이 감소한다고 하였다. 또한 배바깥빗근은 가슴에서 골반 뒤까지 장력이 전달되고 유압 효과를 통해 허리의 안정

성을 유지하는데 중요한 역할을 하는데,²⁵⁾ 이러한 스마트폰 사용으로 감소된 배바깥빗근의 근활성도는 상지의 움직임과 연관되고 부자연스러운 보행 패턴을 만들어 허리의 안정성에 부정적인 영향을 끼치게 될 것이다.

위등세모근은 평상시 보행을 할 때보다 스마트폰을 사용하여 보행을 할 때 근 활성도가 증가하였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있었다. Mescollotto 등²⁶⁾의 연구에서는 오랜 시간 스마트폰을 사용하면 위등세모근 근육의 피로도가 높아지고, 어깨뼈 움직임에 영향을 주어 구부정한 자세로 이어질 수 있다고 하였다.

머리네편근, 아래등세모근, 못갈래근, 척주세움근은 평상시 보행을 할 때보다 스마트폰을 사용하여 보행을 할 때 근 활성도가 더 증가했지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다. 이 결과는 이전의 연구들과 일치했으며, 또한 스마트폰 사용자는 서 있는 상태에서 스마트폰을 사용할 때 고개를 숙이게 되고, 스마트폰을 사용하면서 보행 시 머리 기울기에서 오는 정적 부하를 더한다고 하였다.²⁷⁾

허리의 주요 근육이라고 볼 수 있는 척주세움근은 보행 주기의 40%부터 활동하며, 50%에서 최고점에 도달하고, 입각기 전에 계속 활동한다. 못갈래근은 발뒤꿈치 접촉 시 양쪽에서 활성화되며, 양쪽 사지의 보행 주기의 90~12%까지 확장된다고 하였다.²⁸⁾ Angelini 등²⁹⁾은 팔 움직임이 제한된 보행 시 몸통의 측방향 돌림이 감소한다고 하였으며, 허리뼈의 측방향 비틀림 및 횡 방향 굽힘의 감소와 함께, 척주세움근 및 못갈래근과 같은 아래쪽 허리 근육의 활성화가 증가한다고 하

였다.³⁰⁾ 결국 이러한 결과는 보행 중 스마트폰 사용이 평상시 보행에서 보다 척추세움근에 더 큰 부하를 줄 수 있다는 것을 보여준다.³¹⁾

본 연구에서 10-MWT 결과, 스마트폰을 사용하며 보행을 할 때 평상 시 보행 속도보다 감소하였다($p < 0.05$). Eke-Okoro³²⁾의 연구에서도 보행 시 상지의 움직임을 제한한 결과 보폭 길이, 보행 빈도 및 속도가 감소되었다. Lamberg와 Muratori¹²⁾의 연구에서도 보행 중 스마트폰 사용으로 인해 속도가 감소하는 결과가 나타났으며, 이는 이중과제로 인해 인지 활동이 추가적으로 필요하기 때문이라고 하였다.

본 연구 결과, 목 굽힘 각도는 평상 시 보행과 스마트폰을 사용하여 보행을 했을 경우 각각 4.06° 와 30.84° 로 두 결과 간의 큰 차이가 있었다. Yoon 등²⁷⁾의 연구에서는 보행 중 스마트폰 사용이 목 굽힘이 커져 목 근골격계 문제에 잠재적 위험을 내포한다고 보고하였으며, 이러한 과도한 목 굽힘은 회전축에 따라 머리의 모멘트 팔(moment arm)을 증가시켜 목 펌프근에 부하를 주게되어 굽힘된 머리의 무게를 지지하게 만든다.³³⁾ 스마트폰을 사용하는 동안 목 굽힘이 증가되면 신체는 운동학적 관절 체인(kinematic chain of joint)으로 연결되어 있는 우리 신체의 특성상 척추 전체에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 이외에도 목 굽힘 정도가 클수록 보행에 필수적인 전정기관의 정보 입력이 감소될 수 있다.³⁴⁾

본 연구의 제한점으로는 몇 가지가 있다. 첫째, 20대 대학생들만 연구에 참여하였기 때문에 다양한 연령대에 적용하지 못하였으며 그로 인해 결과를 일반화시키기가 어려울 수 있다. 둘째, 측정 환경의 제한으로 인해 비교적 짧은 거리에서 측정이 이루어졌다. 그러므로 향후 연구에서는 더 다양한 환경과 연령대를 대상으로 연구가 이루어지길 기대해본다.

본 연구의 결과, 평상시 보행을 할 때보다 스마트폰을 사용하여 보행을 했을 때 중간등세모근, 넓은 등근, 배바깥빗근의 근 활성도가 통계적으로 유의하게 감소하였다. 위등세모근은 평상시 보행을 할 때보다 스마트폰을 사용하여 보행을 했을 때 근 활성도가 통계적으로 유의하게 증가하였다. 머리넒판근, 아래등세모근, 뭇갈래근, 척추세움근은 평상시 보행을 할 때보다 스마트폰을 사용하여 보행을 할 때 근 활성도가 더 증가했지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

결과적으로 보행 시 빈번한 스마트폰 사용은 몸통의 근활성도를 변화시키며, 이로 인해 근골격계에 부정적인 영향을 미칠 것으로 보인다. 나아가 근골격계 질환의 발생을 예방하기 위한 가이드 라인을 제공하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

References

- Han JT, Bae SS. Gait analysis methods and walking pattern of hemiplegic patients after stroke. PNF and Movement. 2007;5(1):37-47.
- Bae SS, Lee JH, Yoon CG. A study of gait and gait analysis techniques. Journal of Korean Physical Therapy. 1996;8(1):49-64.
- Wagenaar RC, van Emmerik REA. Resonant frequency of arms and legs identify different walking patterns. Journal of Biomechanics. 2000;33(7):853-61.
- Frigo C, Caraballona R, Dalla Mura M, et al. The upper body segmental movements during walking by young females. Clinical Biomechanics. 2003;18(5):419-25.
- Li Y, Wang W, Crompton RH, et al. Gunther, free vertical moments and transverse forces in human walking and their role in relation to arm-swing. Journal of Experimental Biology. 2001;204(1):47-58.
- Schabrun SM, van den Hoorn W, Moorcroft A, et al. Texting and walking: Strategies for postural control and implications for safety. PLOS One. 2014;9:812-43.
- Dolan KJ, Green A. Lumbar spine reposition sense: The effect of a 'slouched' posture. Manual Therapy. 2006;11(3):202.
- Harms-Ringdahl K, Ekholm, J. Intensity and character of pain and muscular activity levels elicited by maintained extreme flexion position of the lower-cervical-upper-thoracic spine. Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine. 1986;18(3):117-26.
- Langer P, Holzner B, Magnet W, et al. Hands-free mobile phone conversation impairs the peripheral visual system to an extent comparable to an alcohol level of 4-5 g 100 ml. Human Psychopharmacology. 2005;20(1):65-6.
- Pellecchia GL. Dual-task training reduces impact of cognitive task on postural sway. Journal of Motor Behavior. 2005;37(3):239-46.
- Licence S, Smith R, McGuigan MP, et al. Gait pattern alterations during walking, texting and walking and texting during cognitively distractive tasks while negotiating common pedestrian obstacles. PLOS one. 2015;10(7):133-281.
- Lamberg EM, Muratori LM. Cell phones change the way we walk. Gait & Posture. 2012;35(4):688-90.
- Berolo S, Wells RP, Amick BC. Musculoskeletal symptoms among mobile hand-held device users and their relationship to device use: A preliminary study in a canadian university population. Applied Ergonomics. 2011;42(2):371-8.
- Betsch M, Kalbhen K, Michalik R, et al. The influence

- of smartphone use on spinal posture - a laboratory study. *Gait & Posture*. 2021;19(85):298-303.
15. Choi SB, Kim MS, Kim EJ, et al. Changes in low back muscle activity and spine kinematics in response to smartphone use during walking. *Spine*. 2021;46:426-32.
 16. Dean CM, Richards CL, Malouin F. Walking speed over 10 meters overestimates locomotor capacity after stroke. *Clinical Rehabilitation*. 2001;15(4):415-21.
 17. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, et al. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2000;10(5):361-74.
 18. Seitz AL, Uhl TL. Reliability and minimal detectable change in scapulothoracic neuromuscular activity. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2012;22(6):968-74.
 19. Kim MH, Yoo WG. Effect of minimizing arm swing while walking on the trunk and gluteal muscles. *Journal of Physical Therapy Science*. 2017;29(1):79-80.
 20. Cappellini G, Ivanenko YP, Poppele RE, et al. Motor patterns in human walking and running. *Journal of Neurophysiology*. 2006;95(6):3426-37.
 21. Vleeming A, Pool-Goudzwaard AL, Stoeckart R, et al. The posterior layer of the thoracolumbar fascia. *Spine*. 1995;20(7):753-8.
 22. Willard FH, Vleeming A, Schuenke MD, et al. The thoracolumbar fascia: anatomy, function and clinical considerations. *Journal of Anatomy*. 2012;221(6):507-36.
 23. Wu Y, Li Y, Liu AM, et al. Effect of active arm swing to local dynamic stability during walking. *Human Movement Science*. 2016;45:102-9.
 24. Ford MP, Wagenaar RC, Newell KM. Arm constraint and walking in healthy adults. *Gait & Posture*. 2007;26(1):135-41.
 25. Fan C, Fede C, Gaudreault N, et al. Anatomical and functional relationships between external abdominal oblique muscle and posterior layer of thoracolumbar fascia. *Clinical Anatomy*. 2018;31(7):1092-8.
 26. Mescollotto FF, Pelai EB, de Castro EM, et al. Influence of smartphone use on the median frequency of masticatory and trapezius muscles in women: A pilot study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2020;24(2):69-73.
 27. Yoon W, Han H, Choi S, et al. Neck muscle activation and head kinematics when using a smartphone while walking. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2019;63(1):957-61.
 28. Cioni M, Pisasale M, Abela S, et al. Physiological electromyographic activation patterns of trunk muscles during walking. *The Open Rehabilitation Journal*. 2010;3(1).
 29. Angelini L, Damm P, Zander T, et al. Effect of arm swinging on lumbar spine and hip joint forces. *Journal of Biomechanics*. 2018;70:185-95.
 30. Callaghan JP, Patla AE, McGill SM. Low back three-dimensional joint forces, kinematics, and kinetics during walking. *Clinical Biomechanics*. 1999;14(3):203-16.
 31. Choi S, Kim M, Kim E, et al. Changes in low back muscle activity and spine kinematics in response to smartphone use during walking. *Spine*. 2020;46(7):426-32.
 32. Eke-Okoro ST, Gregoric M, Larsson LE. Alterations in gait resulting from deliberate changes of arm-swing amplitude and phase. *Clinical Biomechanics*. 1997;12(7):516-21.
 33. Straker LM, Coleman J, Skoss R, et al. A comparison of posture and muscle activity during tablet computer, desktop computer and paper use by young children. *Ergonomics*. 2008;51(4):540-55.
 34. St George RJ, Fitzpatrick RC. The sense of self-motion, orientation and balance explored by vestibular stimulation. *The Journal of Physiology*. 2011;589(4):807-13.