Transactions of KSAE, Vol. 30, No. 12, pp.955-963 (December, 2022)

Check for updates

Copyright ⓒ 2022 KSAE / 205-04
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2022.30.12.955

자동차 시트에서 자동으로 좌우 엉덩이 부분 독립제어가 가능한 Air Bladder를 이용한 척추 골반 균형 개선 효과에 대한 연구

최 우 진[1)] · 여 성 윤[2)] · 강 구 창[2)] · 김 성 훈[2)] · 손 문 준[*3,4)]

올바른신경외과[1)] · 현대트랜시스 시트기능설계팀[2)] · 인제대학교 뇌과학-방사선융합수술 연구소[3)] · 일산백병원 신경외과[4)]

A Study on the Effect of Improving the Balance of the Spine and Pelvis Using an Air Bladder That Can Automatically Control the Left and Right Hips on the Automotive Seats

Woojin Choi[1)] · Seongyun Yeo[2)] · Guchang Kang[2)] · Sunghoon Kim[2)] · Moonjun Sohn[*3,4)]

[1)]Allbareun Neurosurgery Clinic, 256 Aenggogae-ro, Yeonsu-gu, Incheon 21972, Korea
[2)]Seat Function Design Team, Hyundai Transys Inc, 11 Dongtan-daero 24-gil, Hwaseong-si, Gyeonggi 18463, Korea
[3)]Neuroscience & Radiosurgery Hybrid Research Center, Inje University, 170 Juhwa-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi 10380, Korea
[4)]Department of Neurosurgery, Inje University Ilsan Paik Hospital, College of Medicine, 170 Juhwa-ro, Ilsanseo-gu, Goyang-si, Gyeonggi 10380, Korea
(Received 21 July 2022 / Revised 22 October 2022 / Accepted 22 October 2022)

Abstract : This study aimed to evaluate changes in the driver's spinal pelvis posture between imbalanced and balanced sitting in a smart car seat using radiographic parameters. A smart car seat capable of balancing the air bladders was used to automatically measure the pressure difference between the participants' hips and balance them using the IoT based controller. When comparing x-ray imaging of balanced seating with initial standing versus unbalanced seating for a total of 32 applicants, the shoulder and pelvic height differences were significantly reduced during a 25-minute balanced seating (p=0.0026, 0.0013 versus p=0.0188, 0.0105, respectively). However, no statistically significant difference was found in the radiographic changes between initial and 25-minute unbalanced seating. The use of smart car seats equipped with air bladder allows drivers with spinal, shoulder, and pelvic imbalance to sit balanced while driving, thereby reducing the progress of driving-related-spine diseases and ultimately contributing to improved driving comfort.

Key words : Ergonomics(인체공학), Smart car seat(스마트 카시트), Automotive seats(자동차 시트), Air bladder(공기 주머니), Posture(자세), Comfort(편안함), Balancing(균형)

1. 서 론

장시간 운전을 하는 운전자 혹은 승하차가 빈번한 운전자들의 경우 요통, 경추통, 어깨 통증으로 병의원에 내원하는 경우가 많다. 허리 및 골반에 실리는 하중이 척추 및 골반의 근육 움직임이 최소화되어 있는 상태에서 지속적인 근긴장 상태는 근육 피로도를 증가시키기 때문이며 승차감의 감소에도 영향을 미친다.

승차감은 자동차의 5대 성능에 포함되며 차량 설계 측면에서도 중요한 성능이지만, 승차감과 주행 안전성, 그리고 승차감과 차체 자세는 서로 상충관계에 있기 때문에 모든 성능을 동시에 향상시키기 어렵다.[1)] 주행 안정성을 높이기 위해서는 서스펜션을 단단하게 해야 하지만 이는 노면 정보를 운전자에게 많이 전달하기 때문에 승차감을 하락시키는 요소가 된다. 따라서 서스펜션 성능은 유지하면서 승차감을 높이기 위해서 에어서스펜션 기술 및 바디 컨트롤 기술들이 발전을 하고 있다. 핸들링 성능을

[*]A part of this paper was presented at the KSAE 2022 Spring Conference
[*]Corresponding author, E-mail: mjsohn@paik.ac.kr
[*]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.

향상시키기 위해서는 차체 강성을 높여야 하는데 이 역시 승차감과는 양립하기 힘든 부분이 있다.

특히 진동에 의한 승차감에 대한 연구도 많이 이루어져 오고 있으며 고급차일수록 이러한 부분에 R&D를 많이 하고 있다. 장시간 앉아 있을 때 생기는 불편함은 크게 다시 자리를 잡음(Macro-repositioning)을 통해서 정상적으로 보상을 한다.[2] 또한 주기적으로 자동차 시트 등받이를 전후로 리클라이닝(Reclining)하여 불편함(Discomfort perception)을 줄일 수 있다.[2]

지금까지 자동차 시트에 있어 편안함 및 고급화는 가죽의 소재 및 가공방법 등이 큰 영향을 미쳤으며 요추 지지대의 적용을 통해서 편안함을 추구해왔다. 그리고 마사지 시트의 개발 및 적용 그리고 마사지 시트에 들어가는 공기주머니(Air bladder) 수의 증대를 통해서 고급화 및 편안함을 강조해왔으며 고급차에 적용이 되고 있다.

자동차 시트는 운전자가 차량에 승차하게 되면 가장 먼저 몸에 접촉하는 부분이며 가장 장시간 몸과 접촉을 하고 있는 부품 역시 시트이다. 자동차 시트는 승차감뿐만 아니라 운전자의 건강과도 밀접한 관련이 있는 자동차 부품이다.

그리고 운전자의 감성적 측면이 중요하게 고려되는 승차감에 대한 정의 및 이전까지의 평가는 주로 실험을 통해서 이루어져 왔다.[2] 하지만 실험을 통한 방법은 피실험자의 주관적인 느낌이 많이 개입되어 그 기준이 모호했기 때문에 승차감을 정확한 수치로서 정량화하고자 하는 산업적 요구가 발생하였으며, 이에 따라 많은 연구자들이 승차감을 정량화하기 위한 연구를 활발히 진행하여 왔다.[3] 하지만 이는 운전자의 평소 습관, 성향, 취향, 브랜드 선호도 등에 따른 잠재적인 변수를 가지고 있어서 객관성에 한계점을 보인다. Yu[3]의 연구에 따르면 인체의 각 부분별 승차감지수를 확인한 결과, 머리, 척추 및 복부 부위는 운전자가 느끼는 승차감에 큰 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다.

장시간 운전 시에는 큰 움직임이 많지 않기 때문에 근육의 경직 및 이로 인한 척추의 유연성(Flexibility)이 감소하고 상하 진동을 견디기 위해서 힘이 계속 들어가 있는 상태를 유지하게 된다. 또한 시내 주행에서는 가다서다 반복이 많기 때문에 척추 및 골반 주변 근육의 긴장상태가 지속적으로 이어지게 된다. 운전자의 운전 습관에 따른 자세 변화 및 척추의 무게 중심 이동에 따른 엉덩이 압력 변화는 크게 다시 자리를 잡음(Macro-repositioning)을 통해서 보상을 할 수도 있지만,[2] 본 연구에서는 좌판 아래에 좌우 엉덩이의 압력을 측정 및 개별적인 높낮이 조절을 통해서 밸런싱을 하여 척추 및 골반의 균형을 맞췄을 때 변화를 확인한다.

이는 최근 엑스레이를 이용해서 이러한 시트 리클라이닝 각도 등에 의한 시상면 균형(Sagittal balance) 등과 같은 항목에 대한 분석 및 평가를 기초로 접근을 하는 시도가 이루어지고 있는 것[4]처럼 자동차 공학에 임상의학을 접목시키는 것으로 좌판의 압력 분포를 분석 및 데이터 분석을 통해 제작한 알고리즘을 바탕으로 좌우 시트 높낮이를 개별적으로 밸런싱을 했을 때 운전자의 척추 및 골반에 미치는 영향을 엑스레이를 통해서 임상데이터를 취득 및 분석하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상

총 32명의 참가자를 대상으로 본 실험의 목적과 방법에 대한 설명을 듣고 동의를 얻어 실험을 진행하였다. 평소 운전 습관 등에 대한 설문 이후 단순방사선 영상촬영 사용에 대한 동의를 얻었다. 전체 대상자들은 최근 6개월 이내 척추 및 골반 관련해서 병의원에서 시술 또는 수술를 받은 병력이나 선천성 질환이 없는 대상이 포함기준이었다. 남녀 비율은 18:14였으며 평균 나이는 34.97±9.64세이었고, 평균 키와 몸무게는 각각 170±7.83 cm, 71.31±13.27 kg이었다. 대상자들의 평균 운전 경력은 12.79±10.17년이었으며 하루 평균 운전 시간은 3.51±2.89시간이었다.

2.2 실험기기 및 도구

본 실험에 사용한 카시트는 현재 시판중인 제네시스 G80 모델의 운전석을 구매하여 사용하였다. 시트는 바닥이 평탄화가 되어 있는 단순 방사선영상촬영실에 위치하는 이동식 운반장치 위에 설치를 하였다. 이동식 운반장치는 고정식 바퀴가 달려있는 대형 트레이였으며, 이 위에 평평한 나무합판(10 T)을 설치하고 그 위에 제네시스 G80 운전석 시트를 수평을 맞추어 설치하였다.

테스트 시, 수평계를 통해서 매번 테스트마다 시트가 수평임을 확인하였으며 제어기의 로직 변경을 통해서 시트 쿠션부에 있는 좌우 두 개의 공기주머니(Air bladder)의 압력을 공기 유량 센서(Air flow sensor)를 통해서 측정하고 공압펌프모터 및 밸브를 통해서 흡기 및 배기를 개별 구동시킬 수 있게 하였으며 블루투스 모듈을 제작하여 태블릿으로 작동을 하였으며 모니터링을 하였다.

좌우 엉덩이의 압력은 공기 유량 센서를 통해서 들어오는 전압값을 ADC 값으로 변환하여 사용하였으며 좌우 차이가 2 % 이내가 될 때까지 밸런싱을 하였으며 1분 간격으로 압력을 재측정 및 밸런싱을 반복하였다. 이 로직을 AUTO MODE로 설정하였으며 초기 착좌 전 양측 공기

주머니에 400 mV의 전압을 유지할 수 있도록 흡기를 해둔 상태를 NORMAL MODE로 설정하고 테스트를 진행하였다. 전원 공급장치는 MEANWELL SMPS LRS-350-12 Power supply를 이용했다.

피험자들은 시트의 등받이 각도 110도, 시트 쿠션부는 평평하게 한 상태에서 NORMAL MODE로 세팅을 한 후 착좌를 하게 하였으며 양쪽 발은 설정된 악셀레이터 및 브레이크 위치에 두게 하였다. 엑스레이에서 무릎 및 허벅지가 장골능선(Iliac crest)을 가리지 않을 정도의 고관절 굴곡 및 무릎 굽힘 각도를 유지한 채 테스트를 진행하였다. 시선은 전방 수평에서 상하 10도 위아래 범위 이상 움직이지 않도록 하기 위해서 핸들 위치에 구조물을 설치하였으며 시선을 전방을 주시하는 타겟으로 설치하여 테스트 시간 동안 유지하게 하였다. 본 연구를 통해 취득한 데이터는 Graphad사의 PRISM 9.3.1을 사용하여 분석하였다.

2.3 실험방법

자동차 시트로 밸런스 조정 전후의 착석에 따른 영상학적 척추-골반 매개변수의 변화를 측정하기 위하여 단순방사선영상촬영 장비를 이용하여 다음과 같이 테스트를 진행하였다(Fig. 1).

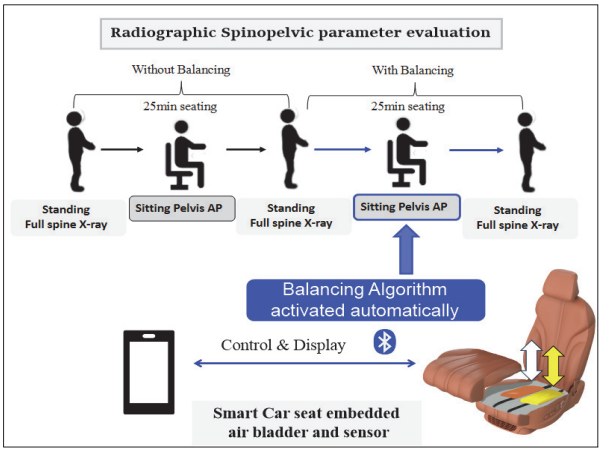

Fig. 1 Flow chart of the study design

2.3.1 초기 착석 전후 촬영(Without Balancing)

1) 기립 영상촬영: 초기 기립자세에서 전 척추 전방 단순 방사선영상을 촬영하였다.

2) 착석 영상측정: 자동차 좌석에 밸런스 조절없는 상태로 앉은 직후 착석 상태의 골반 전면 단순 방사선 촬영(Pelvis AP x-ray)을 하였다.

3) 25분 착석 후 기립 영상촬영: 25분간 자동차 좌석에 움직이지 않은 채로 착석한 이후 다시 서서 기립자세에서 척추 단순 방사선영상 촬영을 하였다.

2.3.2 밸런스 착석 촬영(With Balancing)

1) 25분 밸런스 착석 후 골반 영상촬영: 자동 정상모드로 밸런스 보정한 후 25분간 착석한 상태로 골반 전면 단순 방사선 촬영을 하였다.

2) 25분 밸런스 착석 후 기립 영상촬영: 25분간 자동차 좌석에 움직이지 않은 채로 밸런스 착석한 이후에 다시 서서 기립 자세로 전 척추 전방 단순방사선영상을 촬영하였다.

2.4 측정방법

본 실험으로 촬영된 단순방사선 영상에서 척추 골반자세의 변화를 평가하기 위하여 아래와 같은 3가지 매개변수를 다음과 같이 측정하였다(Fig. 2).

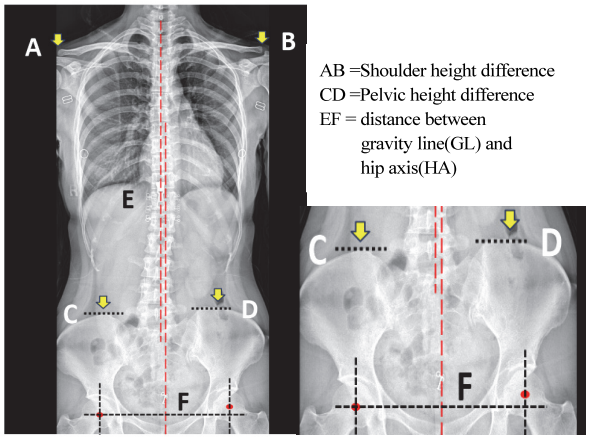

Fig. 2. Three radiographic spino-pelvic parameters

어깨높이 차이(Shoulder height difference): 양측 원뿔인대결절(Acrominal end) 높이차이 측정 골반 높이 차이(Pelvic height difference): 양측의 장골 능선(Iliac crest)의 높이를 수평선을 그었을 때 높이 차이를 측정무게중심선에서 고관절 중심축 중간점과의 이격거리(GL/HA distance): 무게 중심선(Gravity line, GL)과 고관절 중심축 중간점(Hip axis, HA)과의 이격거리를 측정한 것으로 관상면에서 척추 축의 이격도를 측정한 값[25](GL: 7번 경추 극돌기부터 수직으로 내린 선 / HA: 양쪽 고관절의 중앙을 연결한 선을 이등분한 중간점, Midpoint of the line connecting the femoral heads)

3. 실험결과

본 연구에서 얻어진 척추 골반자세 변화 평가에 대한 영상의학적인 매개변수 측정값은 아래 Table 1과 같다.

Table 1 Measurments of three radiographic parameters (average + SD mm)

Standing	Initial	Without balancing	With balancing
Shoulder Ht diff.	9.20±7.29	8.57±6.90	6.54±6.13
Pelvic Ht diff	4.39±3.70	3.83±3.19	2.74±3.16
Distance of GL/HA	6.52±6.01	6.89±5.24	5.02±3.91

Sitting (25 min)	Without balancing	With balancing
Pelvic Ht. diff	12.04±8.69	11.02±9.42

(Ht. diff: height difference, GL: gravity line, HA: Hip axis)

3.1 어깨 높이 차이

처음 기립자세에서의 전척추 단순방사선촬영상의 어깨높이차이 측정값은 9.20±7.29 mm으로 밸런싱 조정없이 25분간 착석한 후 기립자세에서 촬영한 영상에서의 측정값(8.57±6.90 mm)에서는 감소하였으나, 통계적으로는 유의하지 않았다(p=0.5287). 그러나, 25분간 밸런싱을 하면서 착석 이후 촬영한 영상에서의 좌우 어깨 높이차이는 6.54±6.13 mm로 처음 기립자세에서 측정한 측정값과 비교하여 통계적으로 유의하게 감소하였다(p=0.0026). 그러나 밸런싱 조정없이 25분간 착석한 영상에서의 측정값과 비교할 때에도 양측 어깨 높이차이는 통계적으로 유의하게 감소하였다(p=0.0188). 세 그룹간의 측정값도 통계적으로 유의하게 차이가 관찰되었다(p=0.0115, ANOVA, Fig. 3).

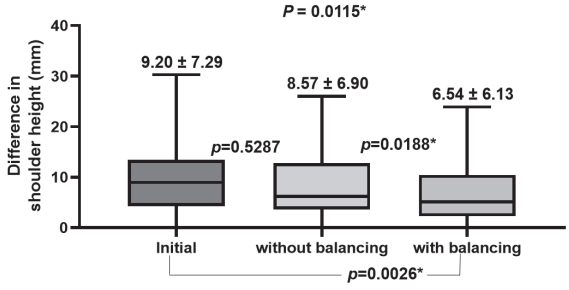

Fig. 3 Comparison of the differences in both shoulder heights

3.2 골반 높이 차이

처음 기립자세에서의 좌우 골반 높이 차이는 4.39±3.70 mm였으며 밸런싱 조정없이 25분간 착석한 후 기립자세에서 촬영한 영상에서의 골반높이 차이 측정값은 3.83±3.19 mm로 감소하였으나 통계적인 의미있는 차이는 관찰되지 않았다(p=0.2779). 그러나, 25분간 밸런싱을 하면서 착석 이후 서서 촬영한 영상에서의 골반높이 차이의 측정값은 2.74±3.16 mm로 처음 기립자세의 측정값 및 밸런싱 조정없이 25분간 착석한 후 서서 얻은 측정값과 비교했을 때 통계적으로 유의하게 감소하였다(p=0.0013, p=0.0105). 세 그룹간의 골반높이차이 변화는 통계적으로 유의하였다(p=0.003, ANOVA, Fig. 4).

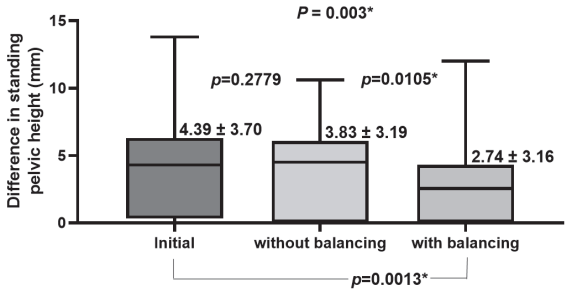

Fig. 4 Comparison of the differences in both pelvic heights

3.3 관상면 척추 축의 이격도(GL/HA Distance)

관상면에서의 척추 축 이격도 측정 지표인 무게중심선과 고관절 중심축 중간점간의 이격거리(GL/HA distance) 차이는 대상자들에 대한 처음 기립자세에서의 측정값은 6.52±6.01 mm이었다. 밸런싱 조정 없이 25분간 착석한 이후 촬영한 기립 영상에서의 이격거리 측정값은 6.89±5.24 mm로 다소 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p=0.6843). 또한, 25분간 밸런싱 착석을 유지한 이후에 촬영한 관상면 척추 축의 이격거리는 5.02±3.91 mm으로 감소하였으나 차이 변화는 통계적으로는 유의하지 않았다(p=0.0733). 그러나, 밸런싱 조정 없이 25분간 착석한

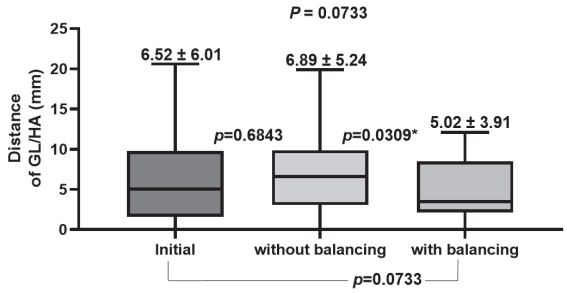

Fig. 5 Comparison of the distance between GL/HA in coronal plane GL: gravity line, HA: hip axis, midpoint of the line connecting the femoral heads, GL/HA: Distance between GL and HA

이후의 측정값과 25분간 밸런싱 착석 후 측정값과의 두 군을 비교하였을 때에는 관상면 척추 축 이격도가 통계적으로 유의하게 감소하였다(p=0.0309). 그러나 각 세 군간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다(p=0.0733, ANOVA, Fig. 5).

3.4 밸런싱에 따른 착석시 골반 높이 차이 비교

밸런싱 조정없이 25분간 착석한 상태에서 측정한 좌우 골반 높이 차이값은 12.04±8.69 mm였으며 25분간 밸런싱을 한뒤 착석 상태에서 측정한 좌우 골반높이 차이는 11.02±9.42 mm로 다소 감소하였다. 그러나, 두 군간의 차이는 통계적으로는 유의하지 않았다(p=0.4255, Fig. 6).

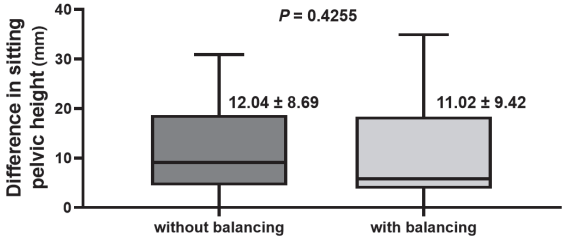

Fig. 6 Comparison of differences between both pelvic heights on sitting without balancing and with balancing

4. 논 의

일상의 장시간 운전 자세에서 비대칭으로 고정된 자세는 국소적인 근골격계 불편감(통증, 근육경련, 무감각)을 유발하여 이로 인한 피로감이 축적되어 오랜기간 지속시에는 만성적인 근골격계 질환 및 문제들을 유발할 수 있다.[5] 따라서 장시간 운전은 척추와 관련된 직업병의 발생과 밀접하게 연관되어 있다.[6]

일반적인 경우 운전자세와 습관에 따라서 체간 부위 근육의 효율적인 지지가 결여되어 척추 자세 특히 등허리 굴곡이 후만각으로 구부정하게 변형이 유발되고, 이 결과 정상적인 요추전만(Lumbar lordosis)이 소실 되는 굴곡변이 유발되게 된다.[6] 그러므로, 인체공학적으로 고안된 자동차 시트의 사용은 인체의 체간부의 등받이를 효율적으로 지지하여 근긴장도를 이완시키고 요추의 정상 생리적인 굴곡을 유지하여 자세변형의 진행을 개선하는 효과가 있다. Back support 또한 인체공학적인 측면에서 운전으로 발생하는 등-허리의 통증을 개선하기 위한 자세 유지에 중요한 중재 도구로 사용되고 있다.[5] 특히 요추 지지(Lumbar support) 쿠션의 사용은 척추에 적용하여 실질적으로 척추와 골반의 자세의 생체역학적인 자세 유지에 기여한다는 연구결과들이 발표되고 있지만 그 효과는 제한적이다.[5]

고정된 자세에서 장시간 자동차 시트에 앉아 있는 자세가 인체의 몸에 부정적인 영향을 미치는 현상은 다음과 같다.[6] 자동차 시트에 고정된 자세로 앉게 되면 허벅지 및 종아리 근육에 경직이 흔히 발생하며, 이는 근육내에 위치한 혈관을 압박하여 혈류장애에 영향을 주게된다. 이러한 현상이 오래 경과하게 되면 근육내에 허혈성 변화와 염증반응이 유발되어 통증이나 불편감의 자각증상으로 발현된다. 특히 대복재정맥(Saphenous vein) 및 심부대퇴정맥(Deep femoral vein)이 압박되어 장시간 운전 후 흔히 하지 부종의 증상이 나타나며,[12] 발이 붓거나 밤에 자는 동안 쥐가 나는 등의 증상이 나타나기도 한다. 또한, 만성적으로 지속되거나, 당뇨, 고지혈증, 비만 등의 기저질환이 동반되는 경우에는 하지 혈전증의 발생 위험도 증가하게 된다.[13,26]

장시간 자동차 시트에 앉을 때 직접적으로 하중의 영향을 가장 많이 받는 신체 부위는 골반 및 엉치의 궁둥뼈(Ischium) 이다. 운전석에 착석 시에 인체하중의 70 % 이상을 시트 쿠션에서 지지하게 되며, 특히 좌골 결절(Ischial tuberosity)에서 상당한 하중 체압이 발생하게 된다.[7] 이는 해당부위의 혈액 순환의 장애를 유발하기에 충분한 압력이어서 혈류장애에 따른 통증과 마비가 발생하여 운전시 불편감을 발생시키는 주요 요인으로 작용하게 된다.[7]

본 연구에서는 이러한 배경을 바탕으로 양측 좌골결절 아래에 공기주머니를 위치하게 하고 좌우 공기 유량의 압력을 센서로 측정하여 이를 바탕으로 척추 및 골반의 기울기의 변화를 영상학적으로 분석하였다. 자동으로 압력차이를 조절하는 공기의 흡배기를 이용하여 양측 좌골결절의 높이를 인체공학적으로 밸런싱 조절하였다. NORMAL, AUTO MODE의 밸런싱 조절에 따른 결과를 단순영상촬영을 통해서 영상 매개변수 측정과 분석을 통해서 그 효과를 비교 분석하였다. 초기 기립상태, 밸런싱 조정없는 25분 착석과 25분간의 밸런싱 착석에 따른 기립 전척추 전방 단순영상촬영 영상과 착석 골반 전방 단순영상 촬영을 이용하였다. 연구를 통해서 측정된 데이터를 기반으로 양측 좌골 결절에 실리는 압력의 차이와 엑스레이상에서 척추의 양측 어깨 높이 차이, 관상면 척추축의 이격도 차이, 골반 높이 차이와의 연관성을 분석하였다. 궁극적으로 본 연구에서 활용된 영상의학적 매개변수 분석을 통하여 인체공학적인 밸런스 착석을 위한 최적의 알고리즘을 적용하는 기초자료로 활용하고자 한다.

4.1 어깨 높이 차이

어깨 높이 차이는 양쪽 승모근 및 목에 위치한 주변 근육 혹은 흉부 근육의 긴장도와 연관되어 있으며 골반 및

허리의 움직임에 따라서 보상기전으로 높이 변이가 발생하게 된다.[8,9] 따라서, 좌우 어깨 높이 차이가 클수록 양쪽 근육의 긴장도가 비대칭이 되는 것을 의미하며,[14] 이는 목주변 근육의 긴장도를 증가시켜 두통, 어깨결림, 손저림, 흉통등의 다양한 자각증상과 불편감을 유발할 수 있다.[15]

본 연구에서 측정된 결과에서 보면, 처음 기립한 상태와 밸런싱 없이 25분간 착석한 후 측정한 어깨 높이 차이는 두군간에 통계적으로 의미있는 변화가 관찰되지 않았으나(p=0.5287), 초기 기립자세에 비해 자동차 시트에 앉아서 등받이에 어깨를 지지하며 기댔을 때 어깨 근육의 긴장도가 다소 감소하는 것을 가늠할 수 있다 하겠다. 이에 추가적으로 25분간 밸런싱 착석 이후에는 어깨 높이 차이 변화가 앞의 각 측정값과 비교해서 통계적으로 유의하게 감소하는 변화가 관찰되었다(p=0.0026, p=0.0188). 이러한 변화는 자동차 시트의 자동 밸런싱 조정을 통해서 양쪽 골반 높이의 비대칭 차이 보정이 어깨 높이의 보상기전을 감소시켜 궁극적으로 어깨의 근육 긴장도와 이에 따른 피로도를 줄이는 개선 효과를 보이는 것을 시사한다. 결론적으로, 자동차 시트에 앉은 상태에서 스마트 카시트의 좌우 자동 밸런싱 조정은 골반 및 허리 근육의 긴장도의 완화에 영향을 주어 골반 높이 차이 보정으로 어깨 높이차이의 보상기전을 감소시키는 효과로 어깨 근육의 긴장도를 개선시키는 효과를 보이는 결과를 얻을 수 있었다.

4.2 골반 높이 차이

골반 높이 차이는 자동차 시트에 앉았을 때 양쪽 엉덩이에 가해지는 압력 혹은 힘의 차이에 영향을 받는다. 처음 기립한 상태와 밸런싱 없이 25분간 착석한 후 측정한 골반 높이 차이가 다소 감소하였으나, 통계적으로 유의하지는 않았다(p=0.2779). 골반 높이 차이는 착석시의 자동차 시트와의 접촉면의 압력차이 에 따라서 영향을 받으며, 자동차 시트 쿠션 폼의 설계 및 재질에 따라서 영향을 받을 수 있다.

25분간 밸런싱 착석 이후의 골반 높이 차이의 변화는 처음 기립한 상태와 밸런싱 없이 25분간 착석한 후 측정값과 비교하여 통계적으로 매우 유의하게 감소하는 것이 관찰되었다(p=0.0013, p=0.0105). 또한 세 군간의 변화도 통계적으로 유의하였다(p=0.0003).

이는 스마트 카시트의 자동 밸런싱 착석으로 양측 좌골 결절(Ischial tuberosity)에 실리는 접촉압력이 균등하게 인체공학적으로 보정됨에 따라서 골반 주변 근육의 긴장도 완화의 개선효과의 결과라고 하겠다.

장시간 운전자세에 유발될 수 있는 골반 주변 근육의 지속적인 경직과 이에 따른 불편감과 피로감이 축적되어 장기적으로 요통 및 추간판 탈출증, 좌골신경통, 이상근 증후군 등[16]의 운전과 관련된 만성 척추질환의 유병률을 개선하는데 기여할 것으로 기대한다.

4.3 관상면 척추 축의 이격도(GL/HA Distance)

관상면에서의 척추 축 이격도를 나타내는 지표인 무게중심선과 고관절 중심선 중간점간 이격거리 차이(GL/HA distance)는 앞서 기술한 바와 같이 경추 7번의 극돌기로부터 수직으로 내린 무게 중심선과 양쪽 고관절의 머리(Head)의 중심을 연결한 선을 이등분한 중간점과의 거리 차이를 측정하여 척추 축의 이격도를 측정한 것으로[25] 척추가 좌우로 기울어지거나 이동을 한 경우 이격도가 증가한다. 관상면 척추축 이격도 차이가 처음 기립한 상태에서보다 밸런싱 조정 없이 25분간 착석한 이후의 기립 측정값에서 증가하는 경향이 관찰되었으나 통계적으로는 유의하지 않았다(p=0.6843). 관상면 척추축 이격도의 증가는 자동차 시트에 앉아 있는 동안 척추의 좌우 변이가 증가 하는 것을 의미하며, 무게중심의 이동에 따라서 척추 주변 근육의 긴장도의 변화를 유발한다. 이러한 변화들은 골반 주변을 비롯한 흉추 및 요추 부위의 자세 기립근의 근긴장도의 증가를 유발하여 어깨 주변 근육의 긴장도를 증가시키게 된다.

자동차 시트에 25분간 밸런싱을 하면서 착석을 한 이후의 관상면 척추축의 이격도가 감소하는 경향이 관찰되었다. 비록 밸런싱을 동반한 착석에 따른 감소 차이가 통계적으로 유의하지는 않았으나(p=0.0733), 향후 많은 대상자 수를 포함한 후속연구가 필요할 것으로 판단된다. 그러나, 밸런싱 조정없이 25분간 착석한 후와 비교하여 25분간 밸런싱 착석 후의 관상면 척추축 이격도 차이 변화에서는 통계적으로 유의하게 감소하는 것이 확인되었다(p=0.0309). 일반적으로 자동차 시트에서 운전시에 밸런싱이 없는 착석 상태에서는 시간이 지날수록 체간이 편측성으로 이동하여 관상면 척추축의 이격도가 증가하게 되고 이에 따른 근육 긴장도의 증가가 유발하게 된다.[17,19] 이 결과 근육 피로감이 축적되어 장시간 운전에 따른 척추-골반의 근육통이 유발되는 현상이 비교적 흔하게 발생한다고 하겠다. 그러므로, 운전시 자동적으로 밸런싱 착석을 유지시킴으로서, 그렇지 않은 경우에 비해 척추 중심축의 좌우 이격도를 낮추어 줌으로써 자세 기립근의 근육긴장도를 감소시켜 장시간 운전에 따른 근피로감을 줄여 승차감의 향상시키는데 기여할 것으로 기대된다.

4.4 밸런싱 조정에 따른 착석 골반 높이 차이

자동차 시트에 착석한 후 앉은자세에서 촬영한 골반높

이의 차이변화는 밸런싱 조정여부와 관계없이 두 군간에는 통계적으로 유의한 차이가 관찰되지 않았다(p=0.4255, Fig. 6). 착석한 상태로 앉아 있는 자세에서는 골반 주변을 지지해주는 근육들이 자세 유지를 위해서 근긴장도를 일정부분 이미 유지해야 하기 때문에 밸런싱 조정에 따른 변이값이 적은 것으로 판단된다. 즉, 골반 주변을 지지해주는 근육 중 가장 큰 역할을 하는 장요근(Iliopsoas muscle), 다열근(Multifidus muscle), 요방형근(Quadratus lumborum muscle) 군들인데, 착석으로 앉은자세 자체가 근육긴장도를 유지하고 있는 상태이므로, 앉은 상태에서의 밸런싱 착석이 앉은자세에서의 골반 높이 차이 변화에는 영향을 주지 않는 것으로 보인다.

4.5 자동차 시트의 착석시 승차감에 대한 고찰

착석시 척추의 자세 기립근 및 골반 주변 근육들은 근육 긴장도의 비대칭 증가와 불균형에 따라서 관상면에서의 척추축 이격도가 편측으로 증가될 수 있다. 본 연구에서도 밸런싱 조정없이 25분간 착석한 후 측정한 관상면에서의 척추축 이격도가 처음 기립상태(6.52±6.01 mm)와 통계적으로 유의한 변화가 없이 유지되거나 다소 증가(6.89±5.24 mm)되는 경향을 확인할 수 있었다. 그러나, 본 연구 결과에서 자동차 시트 쿠션부 밸런싱은 골반 주변 근육 및 자세기립근 등 척추 주변 근육들이 편측성 혹은 비대칭으로 경직되는 것을 감소시키는 것을 알 수 있다. 또한 시트 밸런싱을 통해서 시트에서 하차 후 상대적으로 낮은 근육 긴장도 및 근육 긴장도의 대칭성을 통계적으로 유의하게 유지 개선할 수 있다. 이에 따라서 장시간 운전 혹은 장시간 차량에 탑승을 하게 되어 골반 주변의 근육이 긴장되면 불편함 및 통증이 유발되는데[16,26] 자동차 시트 쿠션부 밸런싱을 통해서 골반 주변의 근육 긴장도를 감소시키면 장시간 운전으로 인한 착석시의 문제점과 하차 후 근육 경직 등의 불편감을 감소시킬 수 있다고 판단된다.

특히 나이가 들수록 근력이 감소하고 퇴행성 변화로 인한 후관절 증후군(Facet joint syndrome), 추간판 탈출증(Lumbar herniated intervertebral disc), 척추관협착증(Spinal stenosis) 등 발생 가능성도 증가하며 디스크의 높이 감소 등으로 인하여 척추가 휘거나 전후 혹은 좌우로 이동할 가능성이 증가한다.[26] 이는 체중 분포의 비대칭성을 유발하게 되며 좌우 근육 사용량의 차이를 발생시킨다. 그리고 엉덩이에 편측성으로 눌리는 압력이 증가하면 비대칭적으로 좌골 결절(Ischial tuberosity)이 대둔근(Gluteus Maximus), 이상근(Piriformis muscle) 등을 시트 폼과 함께 눌러서 주행 중 상하 진동과 동시에 지속적인 압박을 하게 되면 근육에 허혈성 변화(Ischemic change)가 유발되게 되며 이는 염증 반응(Inflammatory change)를 일으키게 되고[6] 통증 및 불편한 승차감을 유발하게 된다.

자동차 시트의 편안함을 측정하는 것은 일반적으로 주관적인 선호에 의해서 결정되는 것(Subjective concern)으로 객관적 평가에 있어서 상당한 제한이 있다고 알려져 왔다.[20] 사무용 의자 디자인이 자동차 시트 디자인에 사용되는 다양한 연구들이 이전부터 제안되어 왔으며,[20] 이를 자동차 시트에 적용하기 위해서는 고려해야 할 많은 사항중 하나로 국소 접촉면 압력 분포(Focal Pressure distribution)가 앉은자세에서의 불편감을 유발하는데 밀접한 연관이 있다고 보고되고 있다.[20,21] 자동차 시트에 적용되는 요추 마사지 시스템 사용은 요추부위의 불편함을 감소시킨다고 하며,[10,11] 이러한 개입은 국소적인 조직 영양을 증가시키거나 혹은 유지시킴으로써 불편함을 감소시키는 것으로 보고되고 있다.[10,11]

하지만 착석 상태에서 엉덩이의 움직임에 크게 다시 자리 잡음(Macro-repositioning)[2]이 발생하기 힘든 조건은 결과적으로 국소적인 조직의 영양(Nutrition)이 감소하여 허혈성 변화(Ischemic change)을 통한 조직의 염증 반응(Inflammatory reaction)을 일으키고 엉덩이가 시트에 닿는 시트 팬(Seat pan)과 좌골 결절(Ischial tuberosity)가 엉덩이 및 골반 주변 근육을 누르거나 누른 채로 발생하는 비틀림에 의해서 불편함이 재생산될 수 있다.[18] 운전 상황에서 가장 움직임이 적은 부분이 엉덩이이며 시트에 닿는 부분이다. 상체의 움직임은 반복적으로 발생하지만 엉덩이는 크게 다시 자리 잡음(Macro-repositioning)[2]이 거의 불가능하기 때문에 척추의 전후방 움직임, 비틀림 등으로 인하여 엉덩이 부분은 지속적으로 눌리는 압박 및 하중을 받게 되고 이는 통증으로 이어진다. 압력을 받는 면적이 적을수록 상체가 국소적으로 엉덩이 부위에 가해지는 하중의 힘이 증가하여 단위면적당 압력을 증가시킴으로서 엉덩이 접촉면의 국소적인 허혈성 변화 및 염증 반응으로 인한 조직 영양상태의 악화가 승차시 착석의 불편함을 유발하는 것으로 알려져 있다.[6]

본 연구에 있어 자동차 시트에 착석 상태에서 엉덩이의 접촉 압력 분포를 균형있게 밸런싱 조정함으로서 척추 및 골반 자세의 균형을 개선시키거나 호전시키는 효과에 대해서 문헌에 따라 차이는 있지만 요추 4~천추 1번까지의 움직임이 요추 전만(Lumbar lordosis)에 43~66 %까지 영향을 주기 때문이라고 보고되고 있다.[22-24] 요추 분절 중에서 가장 영향을 많이 주는 부위는 요추 5번 천추 1번이라고 알려져 있다.[23] 본 연구 결과에서도 자동차 시트를 이용한 밸런싱 착석을 통해 시트 접촉부위인 좌골 결절(Ischial tuberosity)에 비대칭적으로 실리는 압력을 자동 알고리즘으로 조정하여 단위 면적당 압력을 최소화하여

균형있게 보정함으로써 양쪽 골반 및 요추 주변 근육 긴장도의 완화의 효과를 얻을 수 있었다. 이러한 좌골 결절(Ischial tuberosity) 주변의 근육 긴장완화는 장요근(Iliopsoas muscle), 내복사근(Internal oblique abdominal muscle), 다열근(Multifidus muscle)등의 추가적인 근육 긴장도 감소를 가능하게 하여 척추 및 골반 배열의 좌우 대칭 밸런스를 유지하는데 기여하였다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구 결과, 운전석에 앉았을 때 시간에 따른 척추 골반의 균형 변화를 단순 방사선영상 촬영을 통해서 확인할 수 있었으며, 영상의학적 매개변수 측정과 분석을 통해서 운전으로 발생 가능한 척추-골반 자세변화가 승차감 저하와 통증, 피로감의 유발 기전과 연관 관계를 정량적으로 분석할 수 있었다.

하지만 이번 연구에서 인체공학적인 스마트 카시트를 이용하여 시트에 접촉하는 엉덩이의 좌우 압력을 측정하였다. 자동 밸런싱 기능을 통해서 좌우 좌골결절 주변의 압력차이를 최소화하는 최적한 착석 환경을 제공하였을 때 영상의학적으로도 척추 및 골반의 균형이 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 이에 본 기술을 실제 차량에 적용 시, 운전에 따른 근육 피로도를 개선하여 승차감 향상 및 운전으로 인해서 발생할 수 있는 척추 관련 질환을 예방하거나 개선하는 효과가 예상된다.

궁극적으로 Air bladder를 장착한 스마트 카시트를 사용하면 척추, 어깨, 골반 불균형이 있는 운전자가 운전 중에 균형을 잡고 앉을 수 있어 운전과 관련된 척추 질환의 퇴행성 진행을 줄이고, 이에 따른 운전의 편의성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문은 2020년도 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다(과제번호: NRF-2020R111A3073930).

References

1) K. W. Lee, High Efficiency Active Suspension System Development Using Low Frequency Hydraulic Actuator Combined with Continuously Variable Damper, Ph. D. Dissertation, Kookmin University, Seoul, 2021.
2) F. Maradei, L. Quintana and J. Castellanos, “Influence of Seat Tilt Motion on Discomfort Perception during a Simulated Driving Activity,” Work, Vol.56, No.1, pp.99-110, 2017.
3) M. R. Yu, An Investigation of a Ride Comfort Index using a Human-vehicle Combined Model, M. S. Thesis, Hanyang University, Seoul, 2018.
4) N. Nishida, T. Izumiyama, R. Asahi, H. Iwanaga, H. Yamagata, A. Mihara, D. Nakashima, Y. Imajo, H. Suzuki, M. Funaba, S. Sugimoto, M. Fukushima and T. Sakai, “Changes in the Global Spine Alignment in the Sitting Position in an Automobile,” Spine J., Vol.20, No.4, pp.614-620, 2020.
5) D. E. De Carvalho and J. P. Callaghan, “Influence of Automobile Seat Lumbar Support Prominence on Spine and Pelvic Postures: A Radiological Investigation,” Appl Ergon, Vol.43, No.5, pp.876-882, 2012.
6) M. Varela, D. Gyi, N. Mansfield, R. Picton, A. Hirao and T. Furuya, “Engineering Movement into Automotive Seating: Does the Driver Feel More Comfortable and Refreshed?,” Applied Ergonomics, Vol.74, pp.214-220, 2019.
7) S. Y. Kim, J. R. An and K. S. Kim, “The Analysis on Characteristics of Seat Pad Considering the Body Pressure of Vehicle Drivers,” IKSA Spring Conference Proceedings, pp.123-456, 2011.
8) A. F. Morasca, L. Stenerson, N. Butryn, J. P. Krutsch, S. J. Schmiege and J. D. Mann, “Myofascial Trigger Point- Focused Head and Neck Massage for Recurrent Tension-Type Headache: A Randomized, Placebo- Controlled Clinical Trial,” Clinical Journal of Pain, Vol.31, No.2, pp.159-168, 2015.
9) J. E. Kim, S. Ha and W. M. Kim, “The Effects of 8-Week Spinal Stabilization Exercise Program on NDI, Postural Balance and Body Shape Change in Patients with Chronic Neck Pain,” Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society, Vol.21, No.12, pp.43-51, 2020.
10) C. J. Donnelly, J. Callaghan and J. L. Teague, “The Effect of an Active Lumbar System on the Seating Comfort of Officers in Police Fleet Vehicles,” Int J Occup Saf Ergon, Vol.15, No.3, pp.295-307, 2009.
11) J. L. Durkin, A. Harvey, R. L. Hughson and J. P. Callaghan, “The Effects of Lumbar Massage on Muscle Fatigue, Muscle Oxygenation, Low Back Discomfort, and Driver Performance during Prolonged Driving,” Ergonomics, Vol.49, No.1, pp.28-44, 2006.
12) A. Hirao, K. Kato, S. Kitazaki and N. Yamazaki, “Evaluations of Physical Fatigue during Long-term Driving with a New Driving Posture,” SAE Technical Paper, 2007.
13) G. Margiotta, E. Carnevali, M. Gabbrielli, M. Bacci and M. Lancia, “Report of a Fatal Case of

Pulmonary Thromboembolism in a Long-distance Truck Driver," The American Journal of Forensic Medicine and Pathology, Vol.35, No.4, pp.242-245, 2014.

14) H. J. C. G. Coury, S. Kumar, S. Rodgher and Y. Narayan, "Measurements of Shoulder Adduction Strength in Different Postures," International Journal of Industrial Ergonomics, Vol.22, No.3, pp.195-206, 1998.
15) R. Rao, "Neck Pain, Cervical Radiculopathy, and Cervical Myelopathy: Pathophysiology, Natural History, and Clinical Evaluation," The Journal of Bone & Joint Surgery, Vol.84, No.10, pp.1872-1881, 2002.
16) V. Leinonen, M. Kankaanpää, H. Vanharanta, O. Airaksinen and O. Hänninen, "Back and Neck Extensor Loading and Back Pain Provocation in Urban Bus Drivers with and without Low Back Pain," Pathophysiology, Vol.12, No.4, pp.249-255, 2005.
17) M. J. Sohn, H. Lee, B. J. Lee, H. W. Koo, K. H. Kim and S. W. Yoon, "The Radiographic Assessments of Spino-pelvic Compensation using IoT-based Real-time Ischial Pressure Adjustment," Medicine, Vol.101, No.5, 2022.
18) N. Akkarakittichoke and P. Janwantanakul. "Seat Pressure Distribution Characteristics during 1 Hour Sitting in Office Workers with and Without Chronic Low Back Pain," Safety and Health at Work, Vol.8, No.2, pp.212-219, 2017.
19) I. Obeid, P. Berjano, C. Lamartina, D. Chopin, L. Boissière and A. Bourghli, "Classification of Coronal Imbalance in Adult Scoliosis and Spine Deformity: A Treatment-oriented Guideline," European Spine Journal, Vol.28, No.1, pp.94-113, 2019.
20) K. K. Dama, V. S. Babu, R. N. Rao and R. Y. Madhava, "A Review on Automotive Seat Comfort Design," International Journal of Engineering Research, Vol.4, No.4, pp.678-683, 2015.
21) M. P. de Looze, L. F. Kuijt-Evers and J. van Dieën, "Sitting Comfort and Discomfort and the Relationships with Objective Measures," Ergonomics, Vol.46, No.10, pp.985-997, 2003.
22) D. E. de Carvalho, D. Soave, K. Ross and J. P. Callaghan, "Lumbar Spine and Pelvic Posture Between Standing and Sitting: A Radiologic Investigation Including Reliability and Repeatability of the Lumbar Lordosis Measure," Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, Vol.33, No.1, pp.48-55, 2010.
23) P. Stagnara, J. C. de Mauroy, G. Dran, G. P. Gonon, G. Costanzo, J. Dimnet and A. Pasquet, "Reciprocal Angulation of Vertebral Bodies in a Sagittal Plane: Approach to References for the Evaluation of Kyphosis and Lordosis," Spine, Vol.7, No.4, pp.335-342, 1982.
24) M. Bernhardt and K. H. Bridwell, "Segmental analysis of the Sagittal Plane Alignment of the Normal Thoracic and Lumbar Spines and Thoracolumbar Junction," Spine, Vol.14, No.7, pp.717-721, 1989.
25) T. Hernandez, T. Thenard, C. Vergari, L. Robichon, W. Skalli and R. Vialle, "Coronal Trunk Imbalance in Idiopathic Scoliosis: Does Gravity Line Localisation Confirm the Physical Findings?," Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research, Vol.104, No.5, pp.617-622, 2018.
26) W. Choi, S. Yeo, G. Kang, S. Kim and M. Sohn, "A Study on the Effect of Improving the Balance of the Spine and Pelvis Using an Air Bladder that Can Automatically Control the Left and Right Hips on the Automotive Seats," KSAE Spring Conference Proceedings, pp.606-616, 2022.