ISSN 2509-2817 KiDRS Korea Institute of Design Research Society 2023. Vol.8 No.1

성장기 아동을 위한 러닝화 디자인 개발연구

A Study on the Development of Running shoe Design for Growing Children

주 저 자 : 이 걸 (Li, Jie) 동의대학교 디자인조형학과 박사과정

공 동 저 자 : 김민우 (Kim, Min Woo) 동의대학교 디자인조형학과 교수

교 신 저 자 : 강재철 (Kang, Jae Cheol) 동의대학교 디자인조형학과 교수
kang@deu.ac.kr

https://doi.org/10.46248/kidrs.2023.1.352

접수일 2023. 2. 28. / 심사완료일 2023. 3. 8. / 게재확정일 2023. 3. 16. / 게제일 2023. 3. 30.

Abstract

As the increase of number of childrens under China's three-child policy, the demand for children's running shoes is also expected to rise. In consideration of the physiological function, developmental characteristics, and biomechanical characteristics during children's development, the running shoes are designed to protect their feet and accelerate their development.

Subject to the biomechanical characteristics and preference of design, children's running shoes have to be designed systematically. Considering the features of children's feet, all-around researches and analysises were conducted to develop shoes that protect children's feet. To protect the feet and the long-term development of children from pes valgus and flatfoot, the development of running shoe with protection was proposed. As the development direction, the outsole design should be in form with anti-slippery and force dispersion features while the midsole was air cushion structure to relieve the possible pressure from body weight and generated during movements. Secondly, it was a shape that support the ankle joint of the shoe upper.

As a method of the experiment, two types of running shoes of the related comparative experimental group were selected, performance analysis, and subjective preference analysis were conducted. In the preference analysis, prototype running shoes were more aesthetic than the other two types of running shoes, and in terms of stability, the range of joint activity was better than that of the comparative group, and in terms of force absorption, prototype running shoes were higher than that of the comparative control group. Combining the research and developing running shoes for the protection of growing children's feet through biomechanical experiments can help to protect their feet more effectively, convincing consumers through persuasive marketing approach, and establishing a helpful design process for developing running shoe.

Keyword

Growing Children(성장기 아동), Flatfoot(평족), Eversion of the foot(족외반), Biodynamics(생체역학), Rrunning shoe(러닝화),

---

요약

오늘날 중국의 3자녀 정책에 따른 아동 인구의 증가로 인하여, 아동용 러닝화에 대한 수요도 확대될 것으로 보인다. 아동용 운동화는 발육기간 동안의 생리적 기능, 발달특성 및 생체 역학적 특성을 고려하여 아동의 발을 효과적으로 보호하고 성장을 촉진시킬 수 있다. 이러한 아동용 러닝화는 생체 역학적 특성과 선호하는 디자인에 영향을 받음으로 체계적인 신발 디자인 개발이 필요하다. 본 연구는 성장기 아동의 발의 특성을 고려하여 다각적인 조사 및 분석을 진행, 아동의 발을 보호할 수 있는 러닝화 디자인 개발을 연구하고자 한다. 성장기 아동을 대상으로 발 부위에서 발생하는 족외반과 편평족 질환을 방지하기 위해 발을 보호할 수 있는 러닝화 디자인 개발을 제안하였다. 개발의 방향으로 첫 번째는 러닝화의 아웃솔 디자인은: 미끄럼 방지 및 힘의 분산을 고려한 조각형태를 제안, 미드솔 부분에서는 체중 및 운동에서 발생 할 수 있는 압력을 완화시키기 위한 에어쿠션 구조로 디자인 제안한다. 두 번째로 신발 갑피의 복사뼈 관절을 지할 수 있는 형태이다. 실험의 방법으로는 관련 비교 실험군의 러닝화 2종을 선정, 성능 분석, 주관적 선호 분석을 진행하였다. 선호도 분석에서는 시제품 러닝화가 다른 두 종류의 러닝화보다 심미성이 높게 나타났으며, 안정성 측면에서도 관절의 활동 범위가 비교군보다 안정성이 우수, 완충성 측면에서도 비교 대조군에 비해 시제품 러닝화가 높게 나타났다. 연구를 종합하면 성장기 아동의 발 보호를 위한 러닝화를 개발할 때, 생체 역학적 실험을 통해 디자인을 개발한다면 성장기 아동의 발을 보다 효과적으로 보호할 수 있으며, 소비자를 설득하는 홍

보 마케팅의 설득력을 향상, 러닝화 및 운동화를 개발하는데 있어 디자인 프로세스를 정립하는데 큰 도움이 될 수 있을 것이다.

목차

1. 서론

1-1. 연구의 배경 및 목적

1-2. 연구의 범위 및 방법

2. 이론적 배경

2-1. 아동의 발 특성

2-2. 신발의 생체 역학적 특성

3. 아동 발 보호화 디자인

3-1. 가이드라인 및 디자인 개발

3-2. 실험환경의 설정

4. 실험 평가 및 분석

4-1. 선호도 평가

4-2. 완충성 평가

4-3. 안정성 평가

4-4. 소결

5. 결론

참고문헌

1. 서론

1-1. 연구의 배경 및 목적

중국 내 신발산업 및 시장은 급속하게 확장되는 반면에 한국의 신발개발과 비교함에 있어서는 생체학적 접근 및 디자인 프로세스는 아직 열악한 현실이다. 영국의 유명 발 전문의 David Hayes의 연구에서 신생아의 98%는 건강한 발을 가지고 있으며, 성인의 60%는 발에 문제가 있다 하였다. 이러한 현상이 나타나는 주요 원인은 아동 성장기 동안 신발의 기능 및 선택에 있어 사용자에게 맞지 않은 신발을 선택하였다고 볼 수 있다. "중국인의 군각형 법칙에 관한 연구"에서는 중국 성장기 아동들의 발은 절대다수가 건강하지만, 같은 지역의 청소년의 발 건강의 문제는 20% 정도 문제가 있다고 지적하고 있다. 이러한 원인으로는 착화하는 신발 및 운동 등으로 꼽을 수 있는데 본 연구에서는 성장기 아동의 부적절한 신발의 착화로 인한 문제가 존재함을 원인으로 제한하고자 한다. 이러한 아동화를 개발할 때 성장기 아동의 발육을 고려하였을 때 형태 및 소재의 합리성, 쾌적성, 안전성 등이 직접적으로 영향을 주기 때문에 성장기 아동의 발을 어떻게 생체 역학적으로 보호할 디자인 개발이 필요하다. 또한 아동의 감성적 특징을 고려한 표면적 스타일링이 필요하다.

중국 내 신발 생산을 고려해본다면, 절대다수의 생산기업은 여전히 조형, 소재, 배색을 주요 판매 포인트로 기획하고 있으며, 발의 생체 역학적 특징을 고려하지 않고 판매하여 사용자의 소비 관념을 축소시키고 있다. 특히 아동화는 러닝화 형태의 신발군이 대부분을 형성하고 있으며, 전연령 신발 제품군에서도 가장 큰 매출 범위를 형성함으로 생리적 기능, 발달특성 및 생체 역학적 특성, 운동특성, 타켓 사용자에 대한 감성적 특성 등을 체계적으로 접근하여 소비자가 러닝화를 구매함에 있어 합리적인 선택을 할 수 있도록 도와주는 역할이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 성장기 아동의 발육 특성과 발 보호 기능을 비교하여 개발하는 러닝화 디자인의 가치를 도출하고자 하는 실증 연구를 하고자 한다. "성장기 아동의 발의 생태 역학적 발달 특성"을 고려하여 러닝화 디자인을 개선하고 구조적 발을 보호, 러닝화 디자인을 제안, 비교 분석하여 디자인 개발의 가치를 확보하는 것을 연구의 목표로 설정하였다. 이러한 연구를 통해 국내외 아동화의 디자인 개발의 수준을 향상시키기 위한 참고 자료를 제공하고, 성장기 아동의 발

육과정에 선택의 합리성을 향상시키고자 한다.

1-2. 연구의 범위 및 방법

성장기 아동의 발은 청소년기까지 성장점 등이 활발히 활동하는 시점이자 발의 형태 및 질환 등을 예방할 수 있는 중요한 시작점이다. 따라서 디자인의 합리성, 쾌적성, 안정성, 기능성 등은 신발 선택 및 발 건강에 있어 직접적으로 영향을 끼침으로 러닝화 개발에서 최우선적으로 고려되어야 할 요소이다. 특히 성장기 아동의 발을 어떻게 보호하고 외적 스타일링을 통해 아동의 감성적 특징을 자극할 지가 디자인 개발에 있어서 중요한 방향이다. 연구 목적을 달성하기 위한 이론적 고찰과 실증적 분석으로 구분되며, 진행 과정 및 방법은 아래와 같다.첫 번째로 문헌연구에서 연구에 관련된 논문과 저널을 분석하고, 서적과 인터넷 자료를 통해 기초 고찰을 진행하며, 이론적 자료와 보행 관련 생채 역학적 특성을 고려한 시제품을 관련 비교 제품과 테스트를 진행하고자 한다. 이를 통해 성장기 아동의 발 발달 특성을 통해 러닝화의 디자인 요소를 분석하고 정리하여 결론한다.

제1장에서는 연구의 배경과 목적, 연구의 범위와 방법을 소개한다. 제2장에서는 성장기 아동의 발 발달특성을 체계적으로 분석하고 정리하며, 러닝화의 특성을 체계적으로 기술한다. 제3장에서는 성장기 아동의 발 보호를 위한 러닝화 디자인 개발의 방안을 제시하여 디자인 과정의 가이드라인 요소를 정리한다. 제4장에서는 아동의 발 및 보행을 대상으로 테스트를 진행하며, 개발된 러닝화와 시중 판매 러닝화를 비교 성능 테스트를 진행하여 결론한다.

2. 이론적 배경

2-1. 아동의 발 특성

일반적으로 아동은 만 18세 미만의 사람으로 정의되고 있으며, 신발 업계에서는 신생아화, 유아화, 아동화, 성인화로 구분된다. 일반적으로 아동은 태어날 때부터 15세 정도가 되면 발 부분이 거의 완전히 발달하는데, 신생아, 유아, 소아, 청소년 시기를 거치며, 이때 신발은 발을 외부 위험요소로 부터 효과적으로 보호할 필요가 있을 뿐만 아니라 발의 성장 등 생리적 기능의 요구 사항을 충족하도록 설계되어야 한다. 이러한 조건을 충족한다면 성장기 아동의 발 발달을 위한 건강하고 좋은 성장 환경을 제공할 수 있다.[1)]

[표 1] 아동화 구분과 특징

종류	연령	사이즈	제품	특징
신생아화	1-12개월	19		일체형이며 가볍고 유연함
유아화	1-5세	20-26		가볍고 유연하며 지탱(고정)력을 약간 고려함
아동화	6-12세	26-37		신발 뒷축이 두꺼우며 신발의 굴절을 강조함
성인화	13-18세	37이상		신발의 솔 뒷꿈치 쪽에 완충 기능을 설치함

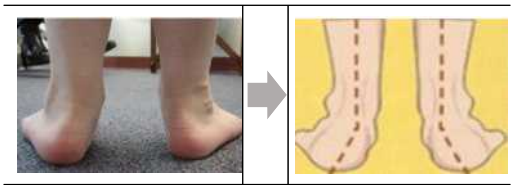
청소년기 아동의 발은 성별에 따른 특성이 뚜렷하게 나타나며, 여성의 발은 가늘고 길며, 남성의 발은 발 중앙부가 넓어지게 된다. 10세 이후로 발 성장의 절정기며 동시에 신체적 성장이 최고조를 이루는 시기로, 발육 시기에 따라 남녀 아동의 발육이 두 번 교차하는 것으로 나타난다. 10세 전후 사춘기 여성은 신체 각 부위가 빠르게 성장하고 발달하면서 발 사이즈가 남성을 넘게 되는데 이것이 남녀의 발 사이즈의 첫 번째 교차이다. 이후 13세 남성은 신체 각 부위가 빠르게 성장하고 발달하는 데에 비해, 여성은 성장 속도는 오히려 감소하며, 남성의 발 사이즈는 여성보다 커지게 되는데, 이 시기에 남녀 발 사이즈의 두 번째 교차로 볼 수 있다. 여성의 발 사이즈가 성장을 멈춘 후에도 남성의 발길이는 어느 시정까지 계속 성장한다. 따라서 10세 전후에는 신발 디자인이 발 성장에 중요한 영향을 끼친다. 아동의 발 질환 중 70% 내외가 편평족, 약 30%가 족외반이다. 부모 10명 중 7명은 족외반과 편평족에 대한 이해가 부족하며 편평족과 족외반 두 가지 문제에 주로 주의를 기울이기 위해 성장기 아동 시기에 신발에 대한 문제를 고려하여야 한다.

2-1-1. 족외반

족외반과 편평족은 종종 동시에 나타나기도 하는데,

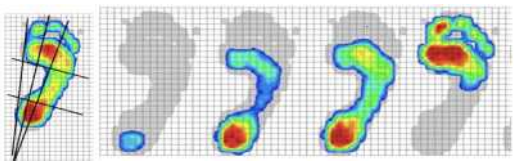
1) 张秀丽, 基于儿童足部发育规律及步态特征的6~10岁童鞋设计原则, 体育学刊, 2011, Vol.18, No.4.

아동의 발 성장에서 시작될 수 있는 중요한 질환이다. 아동의 족외반은 발 바깥쪽이 위쪽으로, 중골(발꿈치뼈)가 바깥쪽으로 휘어지면서, 족궁이 내려앉아 발 뒤꿈치가 바깥쪽으로 회전하는 것을 뜻한다. 신발을 신었을 때 족궁 안쪽 부위의 신발 아웃솔의 마모가 다른 부위에 비해 더욱 심하다. 아동 족외반의 원인으로는 첫 번째로 관절이 느슨해져서 발이 과도하게 회전하기 직전의 상황인데, 이 때 발에 하중이 가해지면 외반 현상이 일어나고 족궁이 아래로 눌리면서(평평해지면서) 편평족이 된다. 둘째, 외부 요인으로 보행시 신발의 바닥과 뒤꿈치 부분이 미끄러져서 발꿈치를 지탱 및 고정시키지 못하여 발을 안정시키는 못함으로 잘못된 힘의 전달로 인하여 발이 과도하게 외전될 수 있다.[2)]



[그림 1] 아동 족외반 표현 및 뒤꿈치 안내도

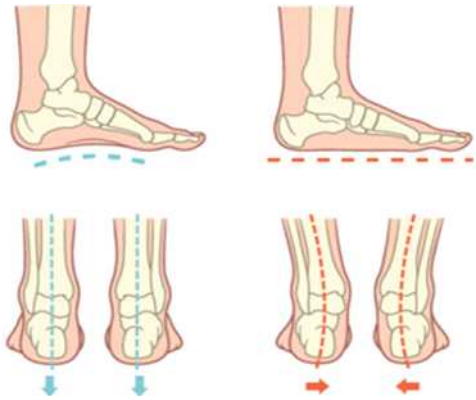
보행의 단계는 접촉면적이 가장 큰 부위 발 앞바닥, 뒤꿈치, 족궁 순으로 외반형 발을 가지고 있을 경우, 자연 보행할 때 발바닥의 접촉면적은 앞바닥, 족궁, 뒤꿈치 순이며, 정상적인 발과 외반형 발의 접촉면적은 전체 면적에서 큰 차이가 있으며, 외반형 발의 족궁의 접촉면적은 정상적인 발보다 훨씬 넓으며, 앞쪽 발바닥의 접촉면적도 정상적인 발보다 훨씬 넓다. 따라서 뒤꿈치의 접촉면적의 비율은 정상적인 발보다 적고 그 차이는 통계적으로 유의하며, 피실험자의 좌우 발바닥 접촉면적의 비율은 기본적으로 동일하다.



[그림 2] 족외반 아동의 걸음걸이 착지 및 힘을 받는 상황

2-1-2. 편평족

편평족은 족외반 문제를 동반하기도 하며, 발바닥 중족골 부위의 지방이 비교적 두꺼워, 족궁의 아치형 구조가 무너진다는 것을 의미한다. 병리학적 편평족은 족궁 구조의 기형으로 인한 발 질환으로, 관련 치료를 통해 교정이 필요하며, 편평족의 임상 증상은 족궁의 내측 아치형 감소 및 함몰, 족궁의 외측에서 약간의 외반 등을 보이며, 관절 손상 및 하지 기능 저하 등의 문제를 일으킨다. 족궁 편평화는 각기 다른 연령대에 따라 발생할 수 있으며, 편평족의 높은 발병률은 주로 10세 이전에 집중되어 있으며, 주요 원인은 각 연령대마다 다르다. 성장기 아동은 많은 양의 운동을 시작하는데, 운동의 절반이 달리기, 점프, 분주한 활동, 정지 활동 등 발 부위에 비교적 더 큰 압력을 가하는 활동으로, 발의 성장과 발육에 있어서 이러한 활동들은 성장점 자극 측면에서 긍정적 측면으로 볼 수도 있지만, 충격 흡수가 부족한 신발를 신고 운동을 한다면, 외부 작용에 따라 변할 수 있기 때문에, 따라서 적절한 운동과 관찰이 발의 생리적 구조를 건강하고 효과적으로 교정할 수 있다.[3)]



[그림 3] 정상 족궁과 편평족 비교

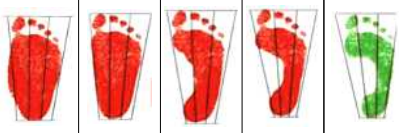
편평족 질환을 가진 아동의 발 기형 현상과 함몰 정도는 모두 조금씩 다르기 때문에 경도 편평족, 중도 편평족, 중증 편평족의 세 가지 범주로 구분 할 수 있다.[4)] 풋 프린트 방법을 사용하면 다양한 유형의 편평족의 형태와 특성을 명확하게 표현할 수 있다.

[표 2] 편평족 정도 비교

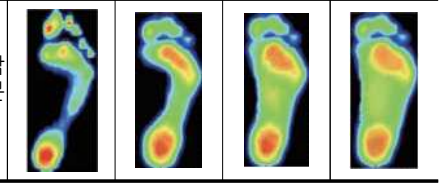
2) 刘奕, '足外翻脑瘫患儿动态足底压力特征性研究', 安徽医科大学硕士论文, 2010.

3) 陈足娇 张睿 周莉, 扁平足儿童足底压力鞋研究设计, 学术交流, 2017, vol.7, No.6.

4) 韩艳坤, '基于足型-步态特征的扁平足矫正鞋垫研究', 河北师范硕士论文, 2021.

분류	고도편평족	중도편평족	경도편평족	약도편평족	표준
편평족					
비중	4:0	3:0	1:2	1:1	2:1

[표 3] 아동 편평족과 정상 발의 힘 분포도

분류	정상	경도편평족	중도편평족	고도편평족
발바닥 압력분포도				

풋프린트 방법을 사용하면 다양한 유형의 편평족의 형태와 특성을 명확하게 표현할 수 있으며, 정적으로 서 있는때 족궁 부위와 지면의 접촉면적은 정상 족궁의 해당 위치의 접촉면적보다 넓지만, 제4, 제5 중족골과 지면의 접촉면적은 정상 족궁의 해당 위치의 접촉면적보다 좁다. 발바닥의 압력 분포가 고르지 않거나 압력 피크가 너무 강하면 발 뼈의 변형, 족궁의 붕괴, 발 혈관의 압박 및 다양한 발 질환을 유발할 수 있다.[5] 따라서 편평족 아동의 발바닥에 가해지는 압력을 수집 및 분석함으로써, 발바닥압력분포의 특성을 보다 정확하게 이해할 수 있으며, 이를 바탕으로 아동 편평족의 성장발육을 위한 체계적인 아동 발 보호 러닝화 디자인 방안을 제시하여, 아동 편평족의 기형 정도를 개선할 수 있다.

2-2. 신발의 생체 역학적 특성

성장기 아동의 편평족 및 족외반 질환을 예방하기 위해 "3D 발 보호" 개념이 필요하다. 신발의 솔(sole) 부분에서 신발 갑피까지, 앞꿈치에서 뒤꿈치까지 전방위적으로 아동 발 보호에 대한 개념이라 할 수 있다. 발 보호를 위한 신발의 생체 역학적 특성을 적용하고 아동 감성을 위한 스타일링이 결합된다면 신발개발에 있어서 전문적인 프로세스를 수립할 수 있다. 현재 중구내 시장에서는 이러한 프로세스 개념에 대하여 표적 연구를 진행하고 있지만, 생체 역학적 역량 및 디자인 개발, 신소재 개발 등의 역량이 부족한 것이 현실이다.

2-2-1. 신발 sole의 기능

성장기 아동에서 나타나는 심한 편평족과 족외반 질환을 대비하여 미드솔에 완충역할을 강화하는 것이 일반적이다. 하지만 하중을 1차적으로 접촉하는 인솔 부분부터 충분한 완충 역할이 필요하다. 따라서 아동의 운동화 미드솔 부분은 적절한 부드러움과 두께가 있어야 한다. 미드솔이 너무 부드러우면 쉽게 운동 피로를 겪을 수 있으며, 심지어 어린이의 발, 무릎, 허리의 건강에 영향을 끼침으로써 족내외반 질환을 더욱 가속시킬 수도 있다. 반면에 미드솔이 너무 단단하면 어린이의 발 발육에 악영향을 끼치기 쉽고, 신생아의 발에 통증이 가해지면 보행 및 운동 활동에 장애가 발생할 수 있다. 따라서 미드솔은 충분한 지탱력과 탄력을 제공할 수 있는 완충재로 제작되어야 하며, 두께는 5~10mm로 유지되, 걷거나 운동할 때 합리적인 밑창의 경도와 두께를 얻을 수 있도록 하여 발뒤꿈치 등의 문제를 방지해야 한다.[6] 따라서 발바닥에 가해지는 과도한 압력을 줄이는 목적을 달성하기 위해서는 발의 중앙 및 뒤쪽의 안정성을 높이는 방법이 필요하며, 족궁 패드의 높이가 너무 높아서는 안되며, 보행 및 운동 시 미끄러지지 않도록, 아동화의 아웃솔 앞꿈치에 접지 기능 추가 하는 디자인 가이드가 필요하다.

아동의 편평족과 족외반 두 가지 질환에 대하여 아웃솔 디자인에 대한 건의 사항은 다음과 같다. 아동의 보행 중 앞 발바닥에 가해지는 힘은 발가락과 중족발가락에 집중되어 있어, 신발 전체에 영향을 주지 않는 '1/3 만곡'의 원칙 하에, 부드러운 질감의 EVA 소재를 적절히 사용하여 신발 밑창의 마찰 성능을 향상시키고, 앞 발바닥 부분의 힘이 주변으로 효과적으로 분산되도록 하여, 밑창 접지력이 좋은 디자인을 실현한다. 이외에도 헤링본, 품자형 외지 무늬를 사용할 수 있고, 과학적인 무늬 구조 디자인을 통하여 아동 운동화의 아웃솔의 접지력을 높일 수 있다.

5) Wunderlich RE Richmond B G Hatala K G, et al, The relationship between plantar pressure and footprint shape, Journal of Human Evolution, 2013, Vol. 65, No.7.

6) 박승범 이경득, 충격흡수 강화를 위한 안전화용 서스펜션 구조에 관한 족저압 분포 연구,대한인간공학회 학술대회논문집, 2007, 178-183.

[표 4] 아동용 솔 기능 지도

항목 / 분석	A	B	C
뒤꿈치 완충 쿠션			
솔 고무 분산			

2-2-2. 신발 Upper의 기능

발목 관절 부분의 내층 재료는 발을 붙이고 편안하며 땀을 흡수하여 아동의 발목 관절에 부적절한 마찰로 인한 손상을 방지해야 하며, 다음으로, 발목 뒤꿈치의 높이를 적절하게 높여 발목 보호 기능을 향상시킬 수 있어야 하며, 마지막으로 발목 뒤꿈치에 TPU 재료를 적절히 첨가하여 신발의 비틀림 방지 능력을 강화하는 지지대를 사용하여 아동이 걷기와 운동 과정에서 충분한 발목 지지와 안정 기능을 얻을 수 있도록 해야 한다. 대부분의 아동 발 러닝화는 발의 외반을 방지하기 위해 중간 허리와 뒤꿈치에 지지 구조를 만든다.

[표 5] 신발 upper의 기능

항목	A	B	C
버팀목	허리 지지대	뒤축 지지대	허리 지지대
스타일			

3. 러닝화 디자인 개발

3-1. 가이드라인 및 디자인 개발

이 단계에서 편평족을 가지고 있는 중대아동의 발에 가해지는 압력 측정은 주로 대규모 테스트 시스템을 사용하지만, 이러한 시스템은 족궁 지지 쿠션의 개입 효과를 실시간으로 모니터링할 수 없으며, 족궁 지지 쿠션이 편평족 아동의 발바닥 압력 분포를 더 균일하게 할 수 있는지에 대한 여부를 적시에 피드백할 수 없다. 따라서 센서 기술, 컴퓨터 기술 등을 결합하여 발 받침 에어쿠션을 디자인하고, 아동의 발바닥 압력을 실시간으로 모니터링하고 피드백할 수 있는 웨어러블 압력 측정 시스템을 디자인해야 한다. 아동의 발육과정에서 발생하는 편평족과 족외반의 두 가지 큰 문제에 따라, 편평족을 위해 미드솔에 완충 쿠션을 적용하여 발에 가해지는 압력을 감소시키고, 족외반을 위해서는 신발의 바깥쪽 발목에 지지구조를 통하여 아동의 발이 좌우로 흔들림 과정에서 발을 지탱하는 효과를 주어 좌우 흔들림을 방지하며, 신발 솔에 완충 구조를 더하여 발에 가해지는 압력을 감소시켜 발의 균형을 맞추는 효과를 얻을 수 있다.

[표 6] 아동 발 보호 러닝화 디자인 4시도

신발 바깥쪽	신발 부감도
신발 안쪽	신발 솔 부감도

3-1-1. Sole의 디자인

아동의 발 충격 완화 디자인은, 신발의 재료와 구조를 최대한 활용하여 아동이 걷기를 직립보행 연습과 격렬한 운동을 할 때 지상에서 발에 가해지는 충격을 흡수할 수 있으며, 아동의 발 건강을 보호함과 동시에 운동 능력을 향상시키며 아동이 운동에 대한 흥미를 자극하는 데 매우 중요한 역할을 한다. 본 디자인 방안에서는 발 3차원 스캐너를 이용하여 다수의 편평족 아동의 발 형태를 스캔하여 정확한 3차원 점운도를 얻고, 특성점을 수동으로 선정하여 편평족 아동의 발 크기와 발등 높이를 구한다. 족궁 지지 에어쿠션의 지지 아치 높이는 편평족의 생체역학과 족궁 교정 효과에 영향을

미친다. 따라서, 편평족 아동의 발에 가해지는 힘이 앞뒤꿈치에 집중되지 않도록 앞뒤 발바닥에 가해지는 압력을 완화하여 압력 완화 효과를 높이고 중간 부분에 쿠션구조를 추가한다. 에어쿠션은 밀폐된 에어백 구조에 불활성 기체를 주입하여 에어백이 일정한 탄성과 지지 성능을 갖도록 하는 구조이다. 에어쿠션은 아동에게 우수한 완충 성능을 제공할 수 있으며 상대적으로 품질이 안정적이고 기술이 비교적 성숙하여 본문에서는 족궁 구조의 족궁 지지 완충 에어쿠션을 설계하였다.

[표 7] Sole 디자인 가이드라인-1

그림	명칭	기능
	밑창 디자인 스케치	세 토막의 쿠션 디자인
	밑창 실물 효과	중부 쿠션 완충
	뒷쿠션 디테일	순차적으로 레이어드하여 완충효과가 뛰어나며, 뒤꿈치가 발을 안정시킬 수 있다

디자인 작용 원리는 아래의 그림에 나와있듯이 편평족의 족궁은 상대적으로 곧고 시중에 나와 있는 완충쿠션에 비해 중저부에 쿠션을 추가하고 쿠션 완충구조를 추가해 3단식 쿠션을 형성한다. 이를 통해 편평족을 가진 사람들이 '인육 쿠션'으로 지탱하여, 족궁 효과를 얻을 수 있다. 이를 통해 완충 에어쿠션이 족궁을 지지하도록 설계해 쿠션의 완충효과를 높인다.

[그림 4] 디자인 원리 안내도

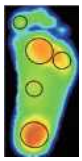
중·대아의 발달특성 중 족외반 현상의 경우, 발 외측에서 받는 힘의 면적이 크게 증가하여 발이 내경화 및 족외반 현상이 나타난다. 중대아동 발 보호 러닝화 미끄럼 방지 디자인에 "5원 디자인" 좌우대칭을 분포하는 것인데, 좌우에 원형고무를 고르게 분포시켜 좌우 발의 분포와 안정감을 균형 있게 하여 발바닥을 안정시키고 발바닥의 균형을 맞춘다.

[표 8] Sole 디자인 가이드라인-2

2D디자인	수력 분석도	실물사진
아웃솔 2D전개도	수력분석도	실물효과사진

발바닥 압력 특성점의 분포를 결정한 후, 압력 측정 신발의 하드웨어 부분에 있는 각 모듈의 구조 설계가 필요하다. 앞서 연구한 편평족 아동의 발바닥 압력분포 특성에 따르면, 편평족은 주로 앞꿈치와 뒤꿈치에 힘을 받기 때문에 신발바닥을 6개 영역으로 나누어 각각 중족골 영역, 족궁 내외측, 발꿈치 내외측의 압력분포 상황을 측정한다. 목적은 荻花 디자인에 중간 힘받이 지점을 넣어 힘받이 면적을 늘려 편평족 아동이 운동 중 앞뒤 발바닥에 힘이 집중돼 생기는 어려움을 줄이는 것이다.

[표 9] 발바닥 압력 설명도

편평족 압력도	솔 수력(受力) 분석	개정 후 수력 분석
		
편평족 아동은 주로 앞뒤 발바닥에 압력이 발생	디자인 방안 개선, 신발 밑창에 중간 수력(受力) 지점을 추가함으로써 앞뒤 발바닥의 압력을 완화	압력을 완화하기 위해 전, 중, 후 4개의 압력 분포를 표현

3-1-2. Upper의 디자인

발의 생체 역학적 특성을 기반으로 한 건강한 아동 운동화는 발달 단계와 격렬한 운동 시 발목 관절에 발생할 수 있는 힘, 변형 등, 특히 발의 외반으로 인한 내외측 불안정성과 o자형 다리를 충분히 고려해야 한다. 따라서 아동의 족외반 현상에 대응하여, 이번 발보호 운동화 설계에서는 측면 지지면에 고리 구조를 추가하여 발목을 보호하고 이중 고리 지지 구조, 이중 보호 지지가 안정되어 족외반 현상을 방지한다.

[표 10] Upper 디자인 가이드라인

그림	명칭	기능
	디자인 초안	신발 옆면에 고리를 덧대어, 이중 고리를 설치
	발의 지지력	이중 고리는 발 바깥쪽에 있어, 족외반 현상을 방지하는 지지 역할
	세부 CMF	Tpu+특수무늬로 지지효과와 미관도 완벽하게 부합

3-2. 실험환경의 설정

3-2-1. 피실험자 및 비교군의 설정

[표 11] 피실험자의 유형

변수	항목	인원
성별	남자	10
연령	6-12세 (중동)	10
사이즈	36	10
키	156± 3.17cm	10
체중	50.10± 5.55kg	10

본 논문의 연구 대상은 6-12세 남녀 아동을 대상으로 피실험자를 설정한다. 대상은 모두 초등학생이며, 모든 연구 참여자 10명(연령 6-12세, 신장 156.10±3.17cm, 체중 50.10±5.55kg), 오른발잡이가 우세하며 신발 사이즈는 36이다. 모든 피실험자는 신체 상태와 운동 능력이 양호하고 실험 전 반년 동안 하지 손상이 없었으며, 실험 전 24시간 동안 격렬한 활동을 하지 않았다. 실험 전에 이 실험의 연구 목적, 실험 요구 사항 및 절차 및 관련 단계를 이해하고 실험에 대한 사전 동의서에 서명했으며 모두 자발적으로 테스트에 참여하였다.

[표 12] 비교 테스트 신발

개발 시제품	N사	P사
미드솔에 완충있음 측면에 지지부	미드솔에 완충없음 측면에 지지부	미드솔에 완충없음 측면에 지지부
35호	35호	35호
고무가 균등이 분포	고무가 분산	고무가 앞뒤 바닥에 집중

Nike와 Pro-Specs, 개발된 아동용 러닝화를 각 대조군으로 하였고, 스프링백부터 안정감, 완충감 등 다기능 테스트를 통해 데이터를 비교·분석하였다. 참고 신발 제품 판매군이 가장 넓고 일반적인 러닝화 신발군으로 선정하였고 비교대상 제품으로는 “Nike 키즈 러닝화(미국 브랜드)”, “Pro-Specs 키즈(한국)”를 선정하였다.

3-2-3. 실험의 과정

피실험자는 러닝화 3켤레를 무작위로 5분간 신고 걷기 테스트를 진행하였으며, 아동용 발 보호대의 주관적 편안함을 통해 완충, 안정성, 편안함 등의 주관적 감각 피드백 정보를 수집하였다. 또한, 피실험자는 3켤레의 러닝화를 신고 심미성, 착용성, 가격, 기능성, 운동 성능에 대한 선호도를 평가하여, 피실험자의 주관적인 느낌을 취합하여 순위를 매겼다(첫 번째 주관적인 느낌에 따라 다음과 같은 성능에 가장 적합하다고 생각하는 아동용 러닝화를 선정).

본 실험은 완충 성능 테스트와 달리기 안정성 테스트의 두 번의 단계로 나뉜다. 첫 번째로 3차원 동력계 AMTI를 통해 착지 지지 과정에서 수직 바닥 반력 피크 VGRF, 수직 충격 로딩 속도 VALR 및 기타 매개변수 변화를 수집하여 아동 발 보호 운동화의 완충 및 충격 감소 성능을 평가한다.[7] 러닝화의 완충 및 충격

7) 김홍규, 3차원 스캐닝을 활용한 맞춤형 수제화 제작 –

완화 성능을 평가하고, 속도는 3m/s로 설정하여 러닝화의 안정성 테스트를 진행한다.

[그림 5] 아동 발 보호 러닝화 완충 성능 테스트

두 번째로 러닝화 안정 성능 테스트는 3차원 적외선 모션 캡처 시스템 비콘을 통해 하체 고관절, 무릎, 발목 및 중족지골 관절을 채취하여 달리기하였다. 3개 평면의 각도, 각속도, 관절운동도 등의 매개변수 변화를 평가하여[8] 운동화가 하지 안정성에 미치는 영향을 평가하였으며, 달리기 속도는 3m/s로 설정하고 6DOF 모델을 적용하였다.

[그림 6] 러닝화의 안정 성능 테스트

[그림 7] 1 VICON 3D 적외선 모션 캡처 시스템

본 연구는 통계 분석을 SPSS 21.0 통계 소프트웨어를 사용하여 각 테스트 지표의 차이를 분석하였으며, 피실험자의 유의 수준을 0.05로 설정하였다.

족외반증 환자를 중심으로, 디지털 디자인학연구, 2014, Vol.14, No1.

8) 오혁근 김홍규, 맞춤형 수제화 제작을 위한 라스트 생산의 전산화에 대한 연구, 디지털디자인학연구, 2013, Vol.13, No.2.

4. 실험 평가 및 분석

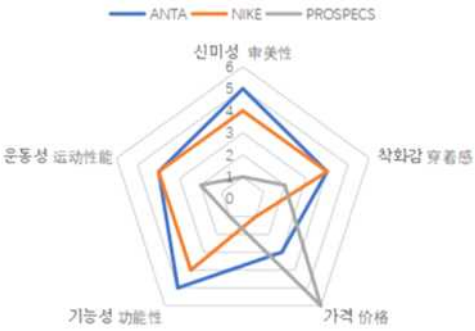
4-1. 선호도 평가

다음 표에서 볼 수 있듯이, 성장기 아동의 러닝화는 다른 두 가지 대상보다 심미적으로 우수하다고 응답되며, 아동의 감성적 특성을 고려하였을 때 사람들의 주목을 받는 스타일링을 선호한다고 볼 수 있다. 착화감 면에서 Nike 러닝화 데이터와 거의 균일하며, 개발 시제품에서는 솔 내부에 에어쿠션이 장착되어 있어서 무거운 반면 Nike 러닝화는 가볍기 때문에 호응이 높다고 응답되었다. 가격은 Pro-Specs 키즈가 저렴해 대중들에게 인기를 끌었고, 기능성으로는 개발 시제품이 에어쿠션을 장착해 호응이 높게 응답되었다. 그 외남성 피실험자는 기능적이고 화려하지 않은 신발을 선호하였다. 운동 성능 면에서는 Nike 러닝화와 개발 시제품의 평가 데이터가 유사하게 도출되었다.

주관적 의견에 대한 결과를 분석, 운동화 3켤레를 신은 피실험자의 주관적 쾌적성 점수 결과는 표 14와 같다. 아동 발 보호 러닝화는 앞꿈치 완충성 및 안정성에서 nike 및 Pro-Specs보다 높았다($p<0.05$). 시제품과 Nike 러닝화와의 편안함은 물론 발등의 편안함과 발볼 부위의 편안함이 거의 균일하다.

[표 13] 선호도 분석표

명칭	요소	개발 시제품	Nike	PRO SPECS
심미성	조형, 디자인	5사람 (50%)	4사람 (30%)	1사람 (10%)
착화감	적합함, 편안함, 가벼움	4사람 (43%)	4사람 (33%)	2사람 (20%)
가격	가성비	3사람 (30%)	1사람 (10%)	6사람 (60%)
기능성	발을 디딜 때의 촉감	5사람 (40%)	4사람 (30%)	1사람 (10%)
운동성	활동성	4사람 (40%)	4사람 (40%)	2사람 (20%)



[그림 8] 상호 요인 비교 분석

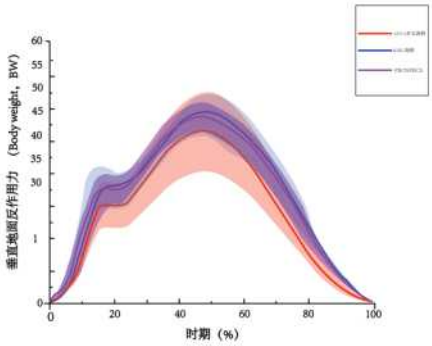
[표 14] 주관적 쾌적도 점수

쾌적도 지표	N사	개발 시제품	P사
앞꿈치 완충성	8.96±0.82	9.48±0.2[c]	8.94±0.09
앞꿈치 안정성	8.94±0.68	9.26±0.40	9.20±0.4
뒤꿈치 안정성	9.06±0.63	9.08±0.11	9.36±0.39
족궁부위 쾌적성	9.24±0.25	9.24±0.17	9.22±0.36
발등 쾌적성	9.30±0.25	9.28±0.26	9.26±0.36
전체적 쾌적성	9.28±0.27	9.28±0.19	9.26±0.39

주: a, 와 Nike 러닝화는 현저한 차이를 보임 ; b, 와 개발 시제품 러닝화는 현저한 차이를 보임 ; c, 와Pro-Specs 러닝화는 현저한 차이를 보임.

4-2. 완충성 평가

달리기의 수직 지면에서의 반동력 곡선은 그림과 같으며, 수직 지면에서의 반동력의 첫 번째와 두 번째 피크 및 평균 로딩율의 통계학적 검정 결과는 아래의 표 15와 같다. 3켤레 러닝화의 달리기 중 수직 바닥 반동력의 첫 번째와 두 번째 피크 및 평균 로딩율에는 유의한 차이가 없었으나, 아동용 발 보호 러닝화는 전체적으로 nike와 Pro-Specs 보다 약간 낮으며, 이는 완충솔이 있는 아동용 발 보호 러닝화는 완충 성능이 더 강함을 나타내며, 수직 지면에서의 반동력이 더 작고, 탄성력이 더 좋아 발을 보호하고 편평족과 족외반이 되는 것을 방지하는 데 더 도움이 된다.



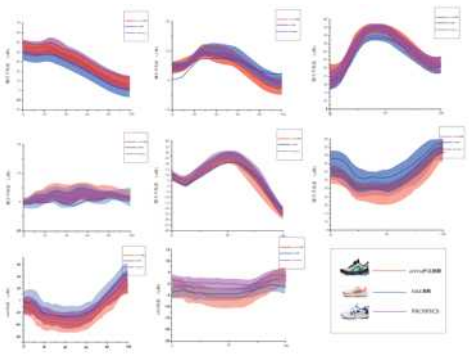
[그림 9] 지면에서의 반동력 변화

[표 15] 지면 반동력 최고점 및 평균 로딩율

지표	개발 시제품	N사	P사
첫 번째 최고점 (BW)	1.60±0.51	1.75±0.53	1.70±0.57
두 번째 최고점 (BW)	2.87±0.47	3.04±0.62	2.96±0.37
평균 로딩률 (첫 번째 최고점) (BW/S)	55.12±25.71	61.46±19.39	66.59±17.76

4-3. 안전성 평가

러닝화를 신고 달리는 보행 하체의 고관절, 무릎, 발목 및 중족지골 관절의 각도 변화 곡선은 아래 그림과 같으며, 하지의 고관절, 무릎, 발목, 중족지골 관절의 최대값, 최소값, 관절활동도를 통계적으로 분석한 결과를 표에 나타내었다. "발 보호화"와 Nike 러닝화의 무릎 관절 관상면 활동 범위는 Pro-Specs보다 현저히 작으며($p<0.05$), "발 보호화" 운동화 중족지골 관절의 시상면과 관상면의 활동 범위는 Nike와 pro보다 현저하게 컸으며($p<0.05$), 다른 각도는 통계적으로 현저한 차이를 나타내지 않았다($p>0.05$).



[그림 10] 피실험자의 하지관절 각도 변화

[표 16] 피실험자의 하지관절 각도 최대, 최소값 및 관절 활동도

지표		개발 시제품	N사	P사
체관절 X 축	최대값	47.85±11.27	40.42±12.76	52.00±6.74
	최소값	5.86±6.99	0.20±11.99	13.48±4.53
	ROM	41.99±5.03	40.22±3.9	38.52±3.18
체관절 Y 축	최대값	8.96±2.76	9.81±3.48	10.16±0.94
	최소값	-3.23±3.06	-2.05±2.62	-0.75±2.55
	ROM	12.19±3.91	11.86±3.00	10.91±2.14
무릎관절 X 축	최대값	51.03±4.13	49.02±16.47	50.79±2.69
	최소값	19.93±6.91	17.97±5.97	19.40±10.49
	ROM	31.10±6.69	21.73±14.89	31.38±8.57
무릎관절 Y 축	최대치	5.32±4.33	2.32±2.51	5.61±4.49
	최소값	-0.36±4.06	-2.57±2.59	0.41±2.69
	ROM	31.10±6.69	21.73±14.89	31.38±8.57
발목관절 X 축	최대값	22.53±3.93[c]	21.42±3.85c	30.24±1.37[ab]
	최소값	-26.33±5.88[c]	-25.25±4.18	-18.14±3.43[b]
	ROM	48.86±5.86[a]	46.67±4.49	48.38±3.56[a]
발목관절 Y 축	최대값	-0.22±5.28	3.58±5.22	-5.28±2.01
	최소값	-21.25±8.08	-15.37±8.39	-24.75±1.32
	ROM	21.03±4.45	18.95±3.75	19.47±2.09
중족지골관절 X 축	최대값	41.22±16.69	47.86±16.18	23.27±7.90
	최소값	-43.05±14.78[a]	-21.27±14.27	-26.64±1.22
	ROM	84.27±26.01[ac]	69.13±25.76[b]	54.90±7.67[b]
중족지골관절 Y 축	최대값	3.78±2.26[a]	0.12±1.97[b]	4.95±1.75[a]
	최소값	-6.49±5.70	-5.18±3.33	-1.02±2.68
	ROM	10.27±5.03[ac]	5.31±1.84[b]	5.98±1.75[b]

주: a와 Nike 러닝화는 현저한 차이가 있다, b와 시제품 러닝화는 현저한 차이가 있다, c와 Pro-Specs 러닝화는 현저한 차이가 있다. X 축은 관절의 시상면의 굴/신, Y 은 관절의 관상면의 내수/외전, 내반/외반.

4-4. 소결

선호도 분석 결과, 다른 두 운동화보다 개발 시제품 러닝화가 심미성이 우수하다고 조사되었으며, 착화감에서는 개발 시제품 러닝화와 Nike 러닝화가 기본적으로 거의 균일하며, Pro-Specs 러닝화는 조금 약하지만, 가격 측면에서는 Pro-Specs 러닝화가 월등히 앞서며, 기능성 측면에서는 개발 시제품 러닝화가 나머지 두 운동화보다 우수하였다. 운동성 측면에서 앞의 두 가지는 기본적으로 동일하며, 피실험자의 주관적인 피드백 결과로는 개발 시제품 러닝화와 Nike 러닝화는 앞꿈치 완충성, 앞바닥 안정성, 뒤꿈치 안정성 그리고 전체적인 편안함에서 상대적으로 높은 결과가 나타났으며, Pro-Specs 러닝화는 상대적으로 낮은 결과로 나타났다.

운동역학 테스트에서는 개발 시제품 러닝화와 Nike 러닝화의 무릎 관절 관상면 활동 범위가 Pro-Specs보다 현저히 작아 위의 두 운동화의 측면 안정성이 더 우수하다고 나타났다. 그리고 '발 보호화' 중족지골 관절의 시상면과 관상면의 활동 범위는 Nike 러닝화와 Pro-Specs 러닝화보다 현저히 크다($p<0.05$). 세 켤레의 지면 반동력은 거의 차이가 없으며, 개발 시제품 러닝화는 다른 두 대조군에 비해 약간 낮아 상대적으로 완충 성능이 우수함을 나타낸다.

5. 결론

편평족과 족외반은 청소년 발육에서 가장 흔한 발 질환 중 하나로, 환자의 일상 활동, 하지 기능 그리고 인체 체중 지탱에 심각한 영향을 미치며, 심할 경우 다양한 발 질환을 유발할 수 있다. 편평족과 족외반의 주요 원인은 아동의 뼈 발달기간동안 잘못된 운동 방식,

부적절한 신발을 신거나 발이 완전히 발달하지 않은 상태에서 아동의 격렬한 보행 운동으로 인한 압박을 견딜 수 없기 때문이다. 선행연구 결과와 문헌 자료의 학습을 통하여 아동의 편평족과 족외반의 질환이 발생되는 힘의 구조적 특성을 요약하고 편평족 아동의 발바닥 압력 및 발바닥 압력 분포와 정상 족궁 대응 데이터의 차이를 분석하였다. 이러한 요약 및 분석을 기반으로, 본 논문에서는 갑피 지탱 구조 디자인 및 재료 디자인에서 시작하여, 측면 지탱 및 발목 보호를 위한 이중 고리 구조로 하여 편평족과 족외반 질환을 예방할 수 있는 아동용 발 보호 러닝화를 개발제안하고자 하였다.

아웃솔 디자인에서 출발하여 아웃솔 완충 구조에 대해 3단식 에어쿠션을 제안하고 인공족궁을 만들어 발의 압력을 완화하고 아웃솔의 미끄럼 방지 디자인에서 시작하여 중앙의 힘을 받는 지점을 증가시켜 발의 압력을 균형 있게 하고 좌우 발을 균형 있게 하여 족외반 질환을 예방한다. 그리고 개발 시제품 러닝화와 시중에서 판매되는 아동 러닝화를 비교 테스트 결과, 개발 시제품 러닝화는 다차원적으로 편평족과 족외반 질환을 효과적으로 예방할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 30명의 어린이를 대상으로 하는 것은 보편적이지 않고 실험적으로 아동 테스트하는 테스트 장비와 데이터에는 약간의 차이가 있어 목표성이 부족하다고 할 수 있다. 개발 시제품 러닝화를 보면 Nike 러닝화에 비해 운동성이 낮으며, Pro-Specs에 비해 가성비가 부족하였다.

추후 연구에서는 편평족과 족외반 현상에 초점을 맞춘 성장기 아동의 생체 역학적 평가 요소의 추가하여 더 세밀한 평가를 진행하고, 다양한 지역과 확대된 연령을 통해 발 모양 측정과 발바닥 압력 측정 등을 통해 효과적인 표준화 데이터를 추출하는 연구가 추가되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김홍규, 3차원 스캐닝을 활용한 맞춤형 수제화 제작 - 족외반증 환자를 중심으로, 디지털 디자인학연구, 2014, Vol.14, No1.
2. 박승범 이경득, 충격흡수 강화를 위한 안전화용 서스펜션 구조에 관한 족저압 분포 연구, 대한인간공학회 학술대회논문집, 2007, 178-183.
3. 오혁근 김홍규, 맞춤형 수제화 제작을 위한 라스트 생산의 전산화에 대한 연구, 디지털디자인학연구, 2013, Vol.13, No.2.
4. Wunderlich RE Richmond B G Hatala K G, et al, The relationship between plantar pressure and footprint shape, Journal of Human Evolution, 2013, Vol.65, No.7.
5. 刘奕, '足外翻脑瘫患儿动态足底压力特征性研究', 安徽医科大学硕士论文, 2010.
6. 张秀丽, 基于儿童足部发育规律及步态特征的6~10岁童鞋设计原则, 体育学刊, 2011, Vol.18, No.4.
7. 陈足娇 张睿 周莉, 扁平足儿童足底压力鞋研究设计, 学术交流, 2017, vol.7, No.6.
8. 韩艳坤, '基于足型-步态特征的扁平足矫正鞋垫研究', 河北师范硕士论文, 2021.