KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2023; 33(2): 73-83
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2023.33.2.73
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752
REVIEW

A Single Case Study of Cobb's Angle, Angle of Trunk Rotation (ATR), and Height Changes in Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients following 12 Weeks of Wearing a 3D Fabric Brace

12주간의 3D패브릭 보조기 착용에 따른 청소년 특발성 척추측만증 환자의 Cobb's Angle, Angle of Trunk Rotation (ATR), 신장 변화의 단일사례 연구

Sang-Gil Lee[1], Eun-Taek Oh[1], Ji-Eun Kang[2]

[1]K Schroth Center, Seoul, South Korea
[2]Kang Ji- Eun Pilates, Seoul, South Korea

Received : 29 May 2023
Revised : 14 June 2023
Accepted : 19 June 2023

Corresponding Author
Ji-Eun Kang
Kang Ji- Eun Pilates, #513, 7, Wolgye-ro 40-gil, Seongbuk-gu, Seoul, 01044, South Korea
Email : kangz-80@daum.net

Objective: Adolescent idiopathic scoliosis patients make up 40% of all scoliosis patients, and it is likely to increase even more because of the increase in sitting times due to the pandemic.

Method: The subject of this study was a 16-year-old female student. The Cobb's Angle at initial value was 42° at the thoracic and 33° at the lumbar. The subject's height was 161.6 cm, and the type of scoliosis was 3CL. The brace was built with fabric materials with the size information from the X-ray information and actual measurements. The brace was made for the adolescents to wear for a longer time by making them put pressure on the same pressure points of the existing braces. The subjects were required to wear the device for 16 hours every day for three months. Additional features to check the pressure and time were synchronized through an app for easier communication and management with the responsible investigator.

Results: After wearing the 3D Fabric brace, Cobb's angle changed from 42° to 33° at the thoracic and 33° to 23° at the lumbar. The ATR changed from 9° to 8° at the thoracic and 11° to 6° at the lumbar. As a result, the changes in the ATR angle do relate to the decrease of Cobb's angle, which made the angle of scoliosis that is bent in a three-dimensional way improve, making the height of the subject increase from 161.6 cm to 163.5 cm.

Conclusion: Through this study, developing a brace that is made in the form of the 3CL to align the strap direction and putting pressure on the proper pressure points makes Cobb's angle and the ATR smaller. This means that there is a positive effect on the changes in height. A brace made of light fabric material is a good brace to help treat adolescent idiopathic scoliosis. There was an opinion that it is more comfortable to wear than existing braces, but it seems necessary to conduct a quantitative study about the before and after of wearing the brace and a survey for Korean specific cases.

Keywords: 3D fabric brace, Scoliosis, Height, ATR (Angel of Trunk Rotation), Cobb's angle, Vertebral rotation

Copyright © 2023 Korean Journal of Applied Biomechanics
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 noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

1. 척추측만증의 원인

청소년들은 어플리케이션, 스마트폰 등이 빠른 속도로 발전과 과도한 입시문화, 그리고 2020년 팬데믹까지 겹쳐 장시간 의자에 앉아있는 시간이 증가하고 있다. 실제로 대한민국 통계청의 '청소년 건강행태' 항목에서 2016년부터 2021년까지 통계자료를 조사해보았더니 '주 3회 이상 고강도 신체활동 실천율'이 2018년에는 37.8%, 2020년에는 27.5%로 감소하였다. 그리고 청소년 스마트폰 과 의존율은 2015년 4.9%에서 2021년 8.9%로 급격하게 증가하였다(Statistics Korea, 2023). 스마트폰의 엄지손가락의 과한 사용은 상지의 근·골격계의 변형을 유발하며 더 나아가서 손목, 어깨, 목, 머리 등의 통증의 원인으로 이어질 수 있다고 연구 결과로 증명되었다(Kim & Chae, 2012). 청소년 성장 시기에 잘못된 자세로 장시간 컴퓨터 또는 스마트폰의 사용은 척추체(vertebral)의 관상면, 시상면, 수평면에서의 척주변형을 유발하여 척추기형이 발생할 수 있다(Weinstein, Dolan & Cheng, 2008). 이는 성장과 밀접한 관계를 가지며, 바른 자세 및 평생 건강을 위한 체력의 기초를 다지는 중요한 단계인 청소년기에서는 그 심각성이 증가된다(Lee & Kim, 2019). 우리나라 건강보험심사평가원(Health Insurance Review & Assessment Service, HIRA)에서 2021년 척추측만증으로 진료를 받은 환자들의 수는 전체 94,845명 중에서 청소년의 환자 수는 40,280명이며 전체 환자의 41%를 차지하고 있다. 그 중 남학생은 14,310명으로 14%, 여학생은 25,970명으로 27%로 여자 청소년이 남자 청소년에 비해 약 2배 정도 높게 나타났다(HIRA, 2023). 척추측만증의 원인으로는 특발성 75~80%를 차지하고 있고, Winter (1995)에 따르면 드물게 발생하는 비 특발성 척추측만증은 신경근(신경 병, 근 질환 5~7%, 선천적 10%, 신경섬유종증 2~3%, 그 외 뼈 연골형성 장애 등으로 다양하다(Table 1). 그리고 Weiss와 Goodall에 의해 유전적 결함이 원인인 염색체 결실질환도 비 특발성 척추측만증을 유발한다(Weiss & Goodall, 2009).

척추측만증의 남녀 비율은 여성이 남성들보다 4배 정도 더 많이 발생한다. 각도가 10도 이하에서는 남녀의 비율이 비슷하나 10도 이상에서는 여성의 비율이 더 크다(Weinstein, 1988; Asher & Burton, 2006). 특히 특발성 척추측만증은 골격이 성숙하기 전에 뚜렷한 원인이 없이 나타나고(Perdriolle & Vidal, 1985; Weiss & Moramarco, 2013), 발병률은 평균 11~12세의 여자 아이에게서 2.22%이고 이 시기가 성장기와

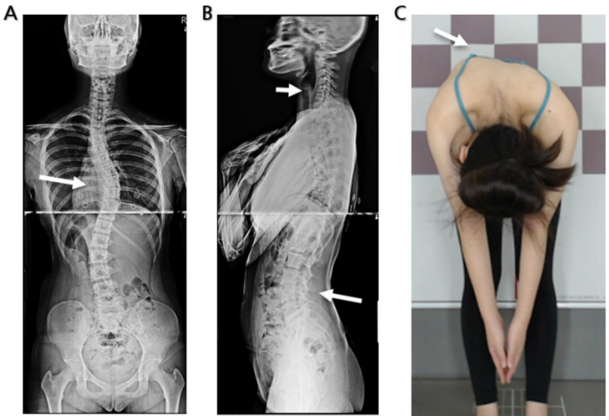
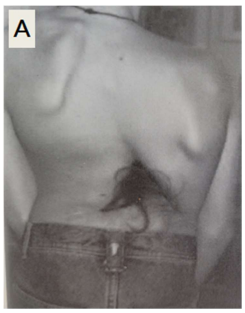
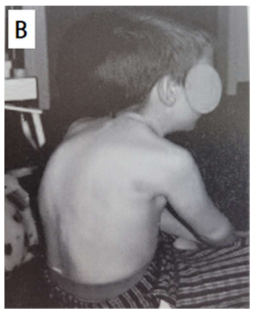


Figure 1. (A) Curvature, (B) Cervical kyphosis, Lumbar kyphosis, (C) Rib hump

Table 1. Non idiopathic scoliosis

Neuromuscular	Congenital	Recklinghausen	Genetic defect
5~7%	10%	2~3%	Less than 1%
			
Spondyloschisis	Arthrogryposis multiplex congenita	Café-au-lait spots	Chromosomal defect

겹쳐져서 측만이 급격하게 진행된다(Wong, Hui, Rajan & Chia, 2005).

관상면에서는 만곡(Figure 1, A)이 보이며 시상면에서는 후만과 전만(Figure 1, B) 현상이 보이며 수평면에서는 회전되며 "융기(hump)" (Figure 1, C)라고 하는 척추측만증의 특징적 현상이 보인다. 따라서 척추측만증은 위와 같은 현상들이 동시에 보이는 추체의 3차원 적인 변형을 의미하는 질환이라고 정의할 수 있다(Roaf, 1966). 척추측만증이란 관상면에서 척추가 옆으로 굽혀짐과 동시에 척추와 흉곽이 비틀어져 시상면의 형태가 손상되는 것으로(Weiß, Rigo & Rovenich 2006; 48), Cobb's Angle이 10° 이상으로 진단되는 것을 말한다(Green, Johnson & Moreau, 2009, Table 1). 더 나아가 척추체가 2차원적인 깨짐이 아니라 3차원적인 압박으로 변형되는 것이다.

2. 척추측만증의 분류에 따른 치료방법

척추측만증의 분류의 기준은 Cobb's Angle의 15° 미만, 15~20° 미만, 20~25°에서 40°까지, 척추체의 회전 그레이드를 0~4까지 나누어서(Ng & Bettany-Saltikov, 2017, Table 2) 중증 정도를 분류한다. 이에 대한 치료방법은 물리치료나 특수 운동법, 보조기 착용 등의 보존적 방법과 수술적 방법 등이 있다(Lee & Kim, 2014).

청소년 특발성 척추측만증 교정을 위한 다양한 운동 중재 프로그램들이 있으며, 그 중 Schroth 운동법이 호흡 형태를 포함한 정렬을 바로잡는 운동으로 효과적이다(Lee & Lim, 2013). 반면 횡경막 호흡이 자세정렬을 바로잡는데 효과적이라는 연구도 있다(Koh & Jung, 2013). 운동 중재 프로그램의 일부분에서 기형적인 호흡 형태를 교정하는 Schroth 운동을 필수적으로 진행해야만 한다. 하지만 이런 Schroth 운동을 하루에 적게는 50~100분씩 하고 다시 일상으로 돌아가게 되면 Schroth 운동으로 교정된 각도를 유지하기가 어려우므로 일상생활 중 보조기를 착용하는 것을 권장하며 특히, 청소년기 환자의 경우 Cobb's Angle이 20~25°에서 40°까지 진행된 척추측만증은 척추체의 회전 경감을 위해서 보조기를 최소 16시간 착용을 권장하고 있다(Weiss, 2007). 척추보조기의 사용 목적은 첫 번째로 Schroth 운동으로 교정된 신체를 보전하기 위해서 보존적 방법으로 보조기를 착용하며, 두 번째로는 Schroth 운동을 할 수 없는 상태의 환자라도 보조기를 통해 Schroth 운동을 하게끔 하는데 있다. 그 결과 3D 보조기 착용은 초기 Cobb's angle가 40% 이상 교정되었고(Cheung

Table 2. The Nash and Moe method of determining vertebral rotation clinically (Ng & Bettany-Saltikov, 2017)

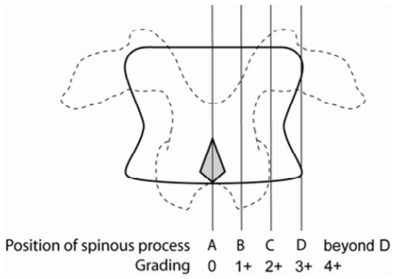
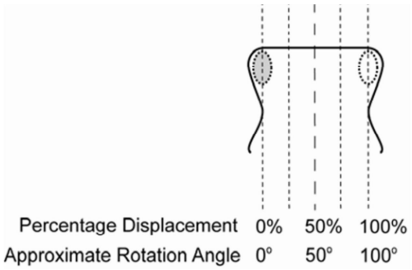
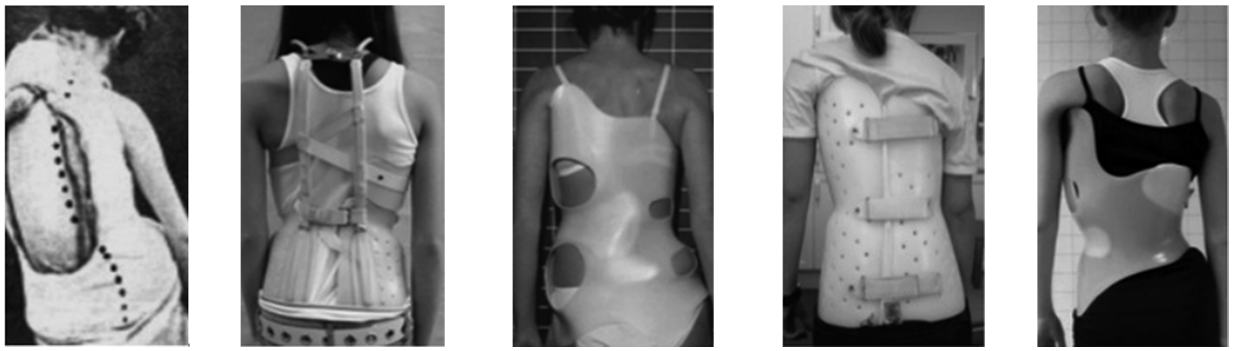
Method	Method description	Diagram
Cobb	The vertebral body is divided into six sections; the region in which the spinous process is aligned determines the grade assigned	
Nash-Moe	The percentage displacement of the convex pedicle with respect to the vertebral body width is used to approximate the angle of vertebral rotation	
Grade of vertebral rotation by Cobb & Nash Moe		

Table 3. Scoliosis brace examples (Moramarco & Borysov, 2017)



Abbott 1910	Milwaukee Brace 1946	Boston Brace 1972	Chêneau Brace 1990s	3D Gensingen Brace

et al., 2004) 수술 발생률을 감소시켰으며(Rigo, Reiter & Weiss, 2003). 특히 청소년 특발성 척추측만증의 경우 보조기 착용 결과 Nachemson과 Peterson (1995)은 3D 보조기 초기모델인 Chêneau Brace가 척추측만증 진행을 74% 정지시켰다고 보고하였으며, 착용시간이 길수록 교정의 효과는 큰 것으로 나타났다(Weiss, 1995; Castro, 2003).

3. 척추보조기

초기 척추측만증 보조기는 Katharina-Schroth가 코르셋을 응용하여 제작되었으나, 시행착오를 통해 다양한 종류의 보조기가 개발되었으며, 최근 3D 형태의 보조기로 발전되었다(Moramarco & Borysov, 2017, Table 3). 기존의 척추보조기 중 가장 초기 형태인 Milwaukee Brace는 골반 대 전방지주와 후방지주를 넣고 경부링으로 구성하여 제작되었다. 그러나 무게가 무겁고 시상면을 편평하게 만들어 척추의 만곡을 감소시키는데 영향을 주지 못하였으며(Goldberg, 2001), Boston Brace는 질병진행 예방효과는 있었으나 Cobb's angle과 외형 개선에 대한 효과는 없었다. 반면 3D 보조기의 초기 형태는 1979년부터 본격적으로 유럽에서 Chêneau Brace가 맨 처음 개발되었다. Chêneau Brace의 장점은 Lehnert-Schroth가 척추측만증의 형태를 2가지 종류로 분류하여 만든 운동법을 보조기 형태에도 적용하여 2가지 종류의 척추 형태에 맞춰 척추보조기를 개발하였다(Weinstein, Dolan, Wright & Dobbs, 2013). 그 후 Chêneau Brace를 기초로 Dr. Weiss는 환자의 척추측만증의 형태에 따라 2가지에서 7가지 종류로 더 세분화된 3D Gensingen Brace를 개발하였다. 그 결과 3D Gensingen Brace는 척추측만증 환자를 위해 3차원 교정에 기초하여 환자 맞춤형으로 특수하게 제작된 보조기를 이용하여, 이를 통한 치료가 효과적이었다는 연구 결과(Ovadia, Eylon, Mashiah, Wientroub & Lebel, 2012)도 보고되었다. 3D 패브릭 보조기는 K-Schroth Master Lee가 개발한 것으로 3D Gensingen Brace를 기초로 하여 개발한 보조기이다. 척추측만증의 보조기가 발전하면서 무게는 경량화 되어가고 교정의 효과는 좋아졌지만, 착용시 압박을 최대한 많이 해줘야 하기 때문에 불편함을 준다. 초기에 만곡의 각도가 큰 환자의 경우 사춘기 청소년들에게는 정서적으로나 정신적으로 위축시키거나 외모 자신감 저하 등 심리적으로 문제가 발생하고 보조기 착용을 거부하는 경우가 발생할 수도 있다. 따라서 본 연구에서는 3D Gensingen Brace를 기초로 하여 K-Schroth Master Lee가 3D 패브릭 슈트를 개발하였다. 3D 패브릭 슈트는 기존의 보조기의 중요한 압박지점은 똑같이 압박을 해주면서 나머지 다른 부위는 패브릭을 이용한 조끼 형태로 만들어서 불편감을 낮추어 청소년으로 하여금 오랜 시간 보조기를 착용하게끔 유도하였다. 특히 잠자는 시간에도 착용하고 잘 수 있게 하고, 학교에도 착용하고 가기 쉽게 보통의 겉옷과 같은 형태로 제작하였다. 또한 16시간 이상 착용을 권장과 정확한 압박지점을 조여서 압박을 해야만 교정의 효과가 있는 보조기의 특성에 따라 압박지점에 센서를 부착하여 정확한 착용과 시간을 체크할 수 있도록 하여 유도하여 교정의 효과를 높이도록 하였다. 그래서 청소년뿐만 아니라 척추측만증을 가진 환자들 중 딱딱한 타입의 보조기를 착용하기 힘든 환자들에게도 보조기의 효과로 척추의 만곡이 감소하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 보여진다.

METHOD

1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 강원도 거주의 16세 여학생을 대상으

로 하였다. 참여대상자가 미성년자이기 때문에 부모님과 참여대상자에게 본 연구의 목적과 내용을 충분히 설명하였고, 연구 참여 동의서에 자발적으로 서명한 자에 한하여 실시하였다. 이름은 김 00이고, 16세 여학생이다. 2021년도에 01월에 강원도 소재 A병원에서 특발성 척추측만증으로 진단을 받았다. Cobb's Angle은 흉추에서 42°, 요추 33°로 수술적 치료가 권장되는 상태였다(Weiss & Goodall, 2008). 연구대상자에 대한 신체적 특징은 <Table 4>과 같다.

Table 4. Physical Characteristics of subject

Age (yrs.)	Height (cm)	Cobb's angle (°)		Classification
		Thoracic	Lumbar	
16	161.6	42.0	33.0	3CL

Lehnert-Schroth는 척추측만증을 크게 3C <Figure 2, A>와 4C <Figure 2, B> 형태로 분류하였고 몸을 Shoulder Block, Thoracic Block, Lumbar Block, Pelvic Block로 나누었다. 이 각각의 Block을 가지고 더 Block에 위치한 부위들의 만곡 형태에 따라 하여 7가지 형태로 세분화하였다. 3C는 3CH (3-Curve with Hip prominence), 3CTL (3-Curve ThoracoLumbar with hip prominence), 3CN (3-Curve Neutral with a more balanced pelvis), 3CL (3-Curve with Long lumbar counter curve)로 4가지로 분류되고, 4C는 4C (4-Curve double major), 4CL (4-Curve single Lumbar), 4CTL (4-Curve single ThoracoLumbar)로 3가지이다(Weiss et al., 2016). 연구참여자는 3C type 분류되지만 특이하게도 압박지점은 4C 타입과 같다고 할 수 있다. 더 세분화해서 분류를 하게 되면 3CL (3-Curve with Long lumbar counter curve) (Figure 2, C)인데, 3C와 4C의 중간이라고도 할 수 있다.

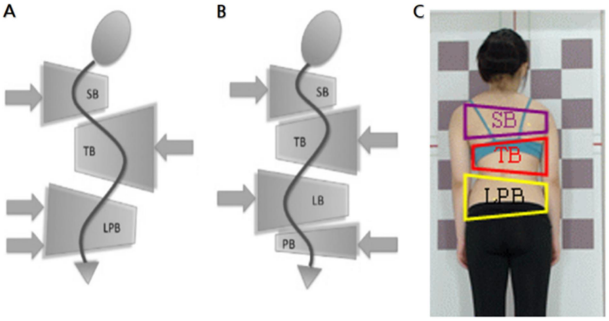


Figure 2. (A) 3C, (B) 4C, (C) 3CL

2. 실험 절차

연구참여자의 전신 x-ray의 관상면과 시상면 원본을 가지고 3D 패브릭 보조기를 제작하였다. 연구참여자의 척추측만증의 분류 형태가 3CL로 분류되었다. 3D 패브릭 보조기를 하루 16시간 이상 착용하였고, 기간은 12주간 착용하게 하였다. 착용 시간의 정확도를 높이기 위해서 3D 패브릭 보조기에 센서 디바이스의 압박력을 APP 연동을 통하여 확인 가능하게 센서를 부착해서 보조기의 착용 여부와 압박력를 확인할 수 있게 해 놓았다. 이 센서는 담당 선생님의 APP과 연결이 되어 있어서 착용을 하고 있지 않을 경우 담당 선생님의 지도 아래 착용하게끔 설계되었다. 그리고 3D 패브릭 보조기의 정확한 착용을 위해서 압박력을 유지해야 하는 부위에도 특수 제작된 체압 센서를 설치하여 압박력을 확인하였다(Figure 9, C). 연구참여자가 2~4주 동안 '적응기간'이 필요한데 이유는 보조기의 압력이 몸통에 제대로 압착되는 적응기간이고 이 기간 동안 어깨 올라감, 신체중심에서 벗어나는 느낌, 튀어나온 메인 커브의 압박으로 인한 약간의 압통증이 있을 수 있지만 이는 정상적인 반응이며 만약 통증이 심할 경우는 압박력이 높기 때문에 전문가와 상의하여 압박 정도를 조금 낮춘 상태에서 시작할 필요가 있다. 이 적응기간 후 3D 패브릭 보조기 착용 후 적응기간과 중간점검 기간이 있는데 이 기간 동안 3D 패브릭 보조기 효과로 인한 각도의 변화가 있을 경우 3D 패브릭 보조기의 압박력을 높여줘야 교정의 효과가 있기 때문에 중간점검 기간이 존재하며 이는 하드 타입의 보조기도 이와 같이 간격을 두고 보조기를 수정하게끔 되어 있다. 중간 점검은 x-ray 촬영 시기와 관계가 있기에 최소 3개월 이후 재촬영이 가능하므로 그 시기에 맞춰서 중간 점검의 시점이 정해져 있다. 본 연구에서는 3D 패브릭 보조기 개발 후 첫 임상실험 단계이므로 3개월을 착용하는 것으로 하였다.

1) 측정방법 및 도구

(1) Cobb's Angle

Cobb's Angled은 척추측만증 전문 의사를 통해 x-ray 촬영 후 진단받은 결과 값을 기록하였다. 척추전문병원의 x-ray는 posterior에서 anterior로 촬영하는 방식의 기계를 선택해서 촬영하여 Cobb's Angle 값을 측정하여 진단하기 때문에 협력 병원의 전문의의 진단아래에 진행하였다(Figure 3, A).

(2) Height

신장의 변화는 신장계를 이용하여 연구참여자의 신장변화를 측정하였다(Figure 3, B).

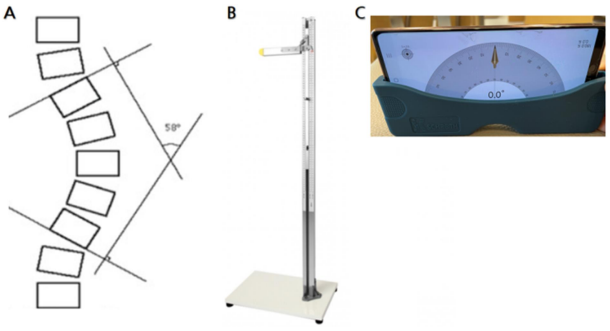


Figure 3. (A) Measurement of Cobb's Angle, (B) Height measurement, (C) Scoliotester

(3) Angle of Trunk of Rotation (ATR)

① 1단계 연구참여자의 다리를 골반 넓이로 벌리게 한 뒤, 두 손바닥을 마주보게 붙이고 양 발 중앙으로 내려가게 하여 준비 자세를 취하게 하고 측정자는 연구참여자의 뒤에 서 있는다(Figure 4, A).

② 2단계 Scoliotester를 천골(골반 살짝 아래)에 둔 후 수치가 0°가 되는지 확인한 후 측정을 하였다(만약 0°가 되지 않을 경우, 낮은 쪽의 발 뒤꿈치에 패드, 혹은 수건 등으로 받쳐 0°가 되었는지 확인 후 측정을 하도록 하였다) (Figure 4, B).

③ 3단계 Scoliotester 가운데의 오목한 부위가 척추의 극돌기에 위치하도록 한 후 연구참여자의 상체가 올라오는 속도에 맞춰 Scoliotester를 요추, 흉 요추, 흉추 부위로 움직여 계측기에 나타난 수치상의 가장 큰 각도를 기록하였다 (Figure 4, C).

3. 3D 패브릭 보조기 제작 과정

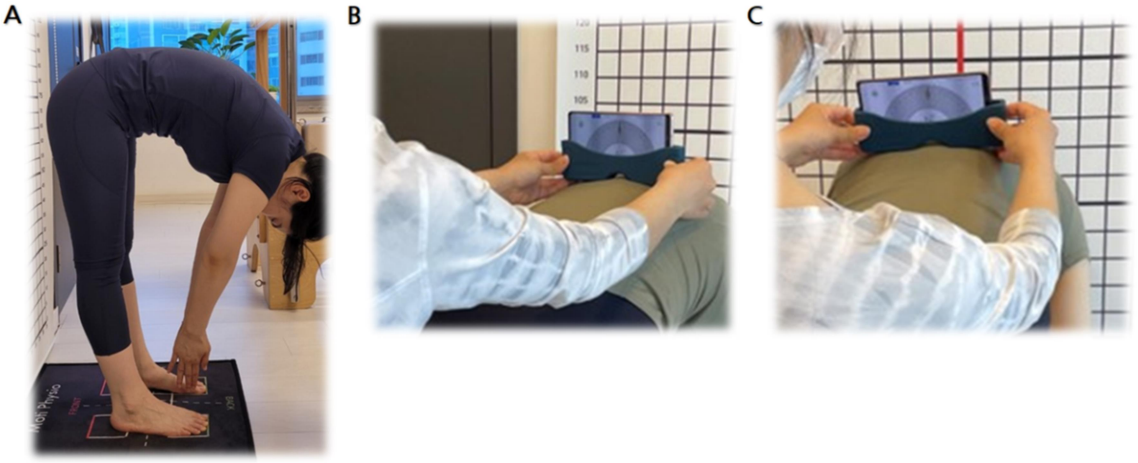
1) 3D 패브릭 보조기 측정방법 및 도구

(1) 3D 패브릭 보조기 제작을 위한 신체 사이즈 측정 부위 및 도구

3D 패브릭 보조기 제작을 위해서 Gensingen Brace 제작을 전문으로 하는 전문가가 직접 측정하였다. 측정 시 사용된 도구는 줄자(Figure 5, F), Caliper (Figure 5, G)이다. 측정 부위는 좌우 액와(Axilla)간 너비, 오른쪽의 Axilla부터 오른쪽 ASIS까지 길이, 왼쪽 Axilla부터 왼쪽 ASIS까지 길이, 허리둘레, 가슴둘레, 경추 C7부터 왼쪽 Trochanterion까지 길이를 측정하였다(Figure 5). 그리고 ATR Test (Figure 4)를 통해 Hump의 각도를 측정하였다.

(2) X-ray와 CAD/CAM 응용 프로그램

3CL 타입의 주요 압점인 좌측 액와, 우측 흉추, 좌측 골반에 대한 압박력과 만곡에 대한 압박과 회전 변형에 대한 교정을 같이 고려해서 스크랩의 방향과 조이는 방향을 X-ray와 CAD/CAM 응용 프로그램(Weiss, Tournavitis, Nan, Borysov & Paul, 2017; Figure 6)을 이용한 3D printing 압박지점을 정확하게 측정해 3CL 타입 척추측만증의 척추 변형인 흉추 우만곡(주만곡), 요추 좌 만곡(주만곡 혹은 2차 만곡), 골반의 우측 측방 변위, 경-흉추의 보상 만곡(2차 만곡), 경추부, 어깨의 반시계방향 회전 변형, 흉추부의 시계방향 회전 변형, 요추-골반부의 반시계방향 회전 변형을 패브릭 슈트에도 적용하였다.



Step 1 Step 2 Step 3

Figure 4. Angle of Trunk Rotation (ATR) Measurements

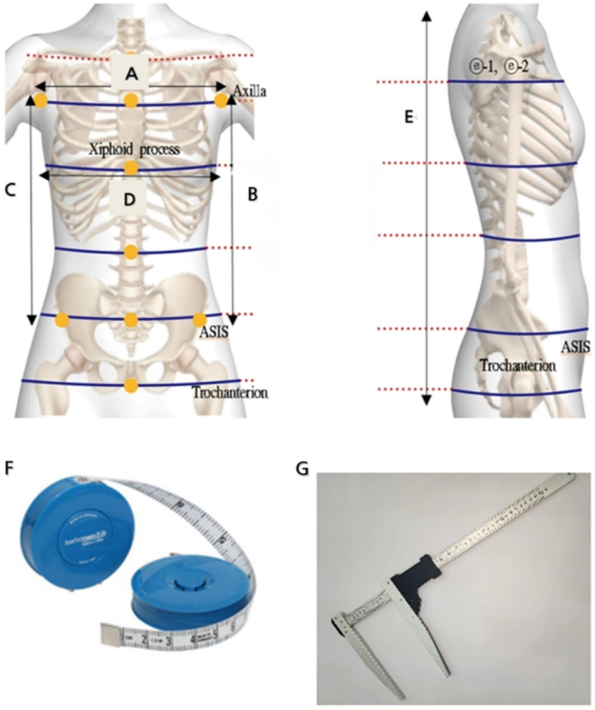


Figure 5. Landmarks and ranges of measurement (A) Width of axilla, (B) Axilla-ASIS length of left side, (C) Axilla-ASIS length of right side, (D) Chest circumference, (E) C7-Trochanterion length, (F) Tape measure, (G) Caliper

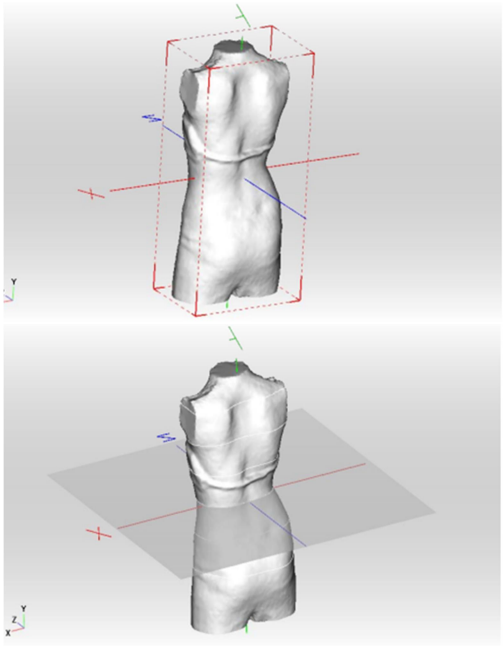


Figure 6. The patient's scan has to be scaled, which is a semi-automated process using the ScoliCAD® Scaler (Weiss et al., 2017).

(3) 3CL 타입의 3D 패브릭 보조기 도안

3D 패브릭 보조기 제작을 위해서 Axilla에서부터 ASIS까지의 길이를 기록할 때 척추측만증에 맞춤 보조기 제작이기 때문에 좌·우를 각각 따로 기록하였다. Axilla는 견갑대를 교정하는데 필요한 압점을 찾아내서 흉추의 탈회전력(de-rotational force)이 더 가해지도록 하기 위함이다. 연구참여자는 3CL이기 때문에 <Figure 7>과 같은 형태의 슈트가 만들어진다. 그런데 <Figure 7, C>와 <Figure 7, D>을 보면 측면이지만 팔의 모양이 다른 이유는 왼쪽 견갑대를 교정하기 위해서 좌우의 모양이 다르기 때문에 다음과 같은 형태의 보조기를 제작하였다(Figure 4).

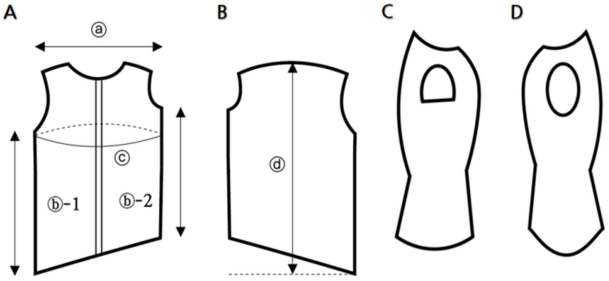


Figure 7. Design of participant's 3D Fabric Brace

(4) 3D 패브릭 보조기 스트랩의 종류와 길이

3D 패브릭 보조기 스트랩 종류와 길이는 Table 5와 같다.

Table 5. Details of 3D Fabric Brace's strap

		Pressure method	Distance between pressure dial and strap	Total length
Strap 1	Purple	Both sides	10 cm	124 cm
Strap 2	Red	One sided	10 cm	85 cm
Strap 3	Blue	Both sides	10 cm	53 cm
Strap 4	Green	Both sides	10 cm	106 cm

(5) 3D 패브릭 보조기의 압박 스트랩 방향과 압박 지점

스트랩의 압박력과 방향의 힘의 크기의 결정은 Cobb와 Nash-Moe가 3차원 분석을 통해 만들어 놓은 회전 단계에 따라서 압박력과 방향이 결정된다.

1번 스트랩은 <Figure 8, A>에서 보라색으로 표시하였다. 스트랩의 방향은 좌측 액와부, 우측 흉추부, 좌측 요추부 압

박을 위한 스트랩으로 가장 긴 스트랩이다. 좌측 액와부의 압박과 시계방향으로 회전된 몸통의 역회전 교정력을 위해 좌측 상부 가슴에 부착하여 좌측 액와부를 압박하며 지나며 우측 흉추 만곡의 압박과 회전 변형의 역회전 교정력을 위해 우측 흉추부를 압박하며 좌측 요추 만곡을 교정하기 위해 좌측 요추부에 부착하였다.

2번 스트랩(Figure 8, B)에서 빨강색으로 표시하였다. 스트랩의 방향은 흉추의 우만곡과 요추의 좌 만곡을 교정하기 위한 압박 스트랩으로 좌, 우로 변형된 척추를 가운데로 모아주기 위한 역할로 흉추의 만곡부와 요추의 만곡부에 부착하였다.

3번 스트랩(Figure 8, C)에서 파랑색으로 표시하였다. 주만곡인 흉추의 우만곡과 요추의 좌 만곡의 교정률을 극대화하기 위한 스트랩으로 후면부에서 시작하는 스트랩의 특징으로 스트랩 등 쪽은 다이얼을 부착하지 않으며 흉추의 회전 변형 또한 교정하기 위해 우측 등에 부착하여 흉추 만곡 압박부를 지나 동시에 좌측 요추부의 만곡을 교정하기 위해 좌측 요추부에 부착하였다.

4번 스트랩(Figure 8, D)에서 초록색으로 표시하였다. 요추의 만곡과 우측으로 변위 된 골반의 교정률을 높이기 위한 스트랩으로 우측 골반 후면부에 부착하여 좌측 요추 압박부를 지나 우측 골반 전면부로 돌아와 부착하였다. 3CL 타입 압점의 주된 압점인 좌측 액와, 우측 흉추, 좌측 요추, 우측 골반에 대한 압박력 증진에 중점을 두었고, 회전 변형과 만곡에 대한 포괄적인 압박 방식으로 하여 3D 패브릭 보조기 양 외측에 2T PE 플라스틱 삽입, 메인 커브에 역회전(3차원 교정원리) 교정을 위한 5T PE 플라스틱 삽입, 각 압점의 형태에 2T 플라스틱에 4T 플라스틱 추가로 삽입(Figure 9, B)하여 압박하였다.

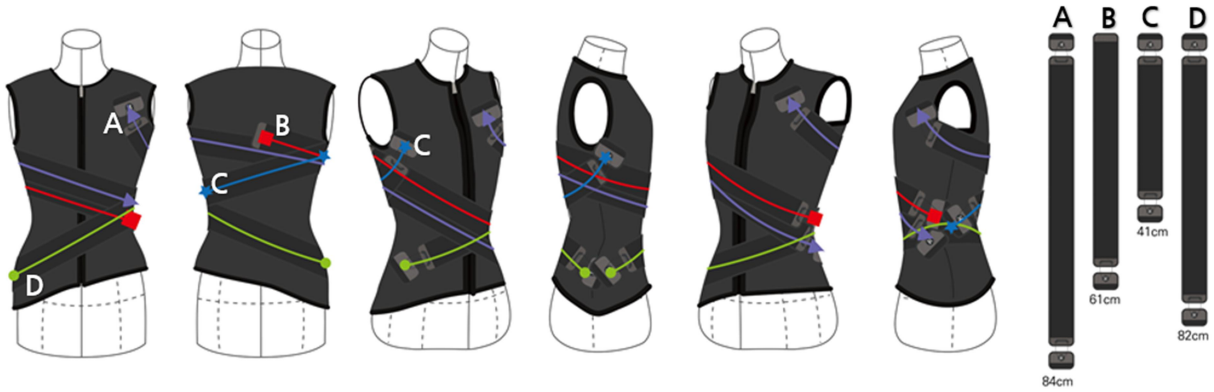


Figure 8. Participant's 3CL Fabric Brace (A) Strap 1: Purple, Left axillar, Right thoracic, Left lumbar (B) Strap 2: Red, Right thoracic, Left Lumbar (C) Strap 3: Blue, right thoracic - Left lumbar from thoracic convex (D) Strap 4: Green, Right pelvis, Left lumbar

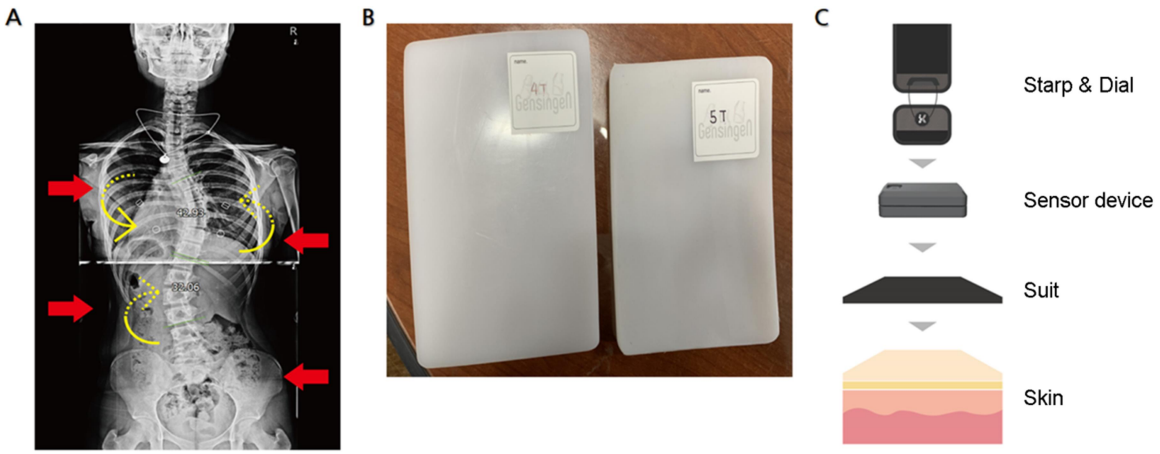


Figure 9. 3CL's Pressure points, (B) Polyethylene (PE) (C) Sensor device

(6) 3D 패브릭 보조기의 3CL 타입의 압점 부위와 센서

연구참여자는 3CL의 형태지만 4부위의 압점을 가지고 있어서 <Figure 9, A>에서처럼 좌, 우 Axilla와 요추부와 골반 부위에 폴리에틸렌(Figure 9, B)이라는 0.96 고밀도, 결정화도 95%, 연화온도 127℃, 신장강도 25%, 인장강도 335 kg/cm^2, 충격강도 13kg·cm/cm) 플라스틱을 슈트 안에 삽입하였다. 이 플라스틱은 기존의 하드 형태의 보조기를 제작할 때 사용하던 재료로 필요한 압박 부위에 만 넣는 것으로 제작하여 착용감을 편안하게 하면서 교정의 효과를 높이는 것을 목적으로 제작한 것이다.

대신 정확한 압박지점을 위해서 디바이스 센서(Figure 9, C)를 옷에 설치하여 압박 시간과 압박의 위치를 담당관리자로 하여금 실시간으로 관리할 수 있도록 추가 설계하였다.

RESULTS

1. 3D 패브릭 보조기 착용 후 Cobb's Angle의 변화

X-ray 검사 후 병원에서 Cobb's Angle을 측정한 결과 Thoracic에서 42°에서 33°로 24% 감소되었고, Lumbar에서 33°에서 23°로 30% 감소되었다(Table 6).

Table 6. Result of Cobb's angle after wearing 3D Fabric Brace (unit: °)

Variable		Pre	Post	Rate of change (%)
Cobb's angle	Thoracic	42.0	32.0	24%
	Lumbar	33.0	23.0	30%

2. 3D 패브릭 보조기 착용 후 ATR의 변화

Scoliotester를 이용하여 연구참여자의 ATR을 측정한 결과 Thoracic에서 9°에서 8°로 11% 감소하였고, Lumbar에서 11°에서 6°로 45% 감소되었다(Table 7).

Table 7. Result of angle of trunk rotation after wearing 3D Fabric Brace (unit: °)

Variable		Pre	Post	Rate of change (%)
ATR	Thoracic	9	8	11%
	Lumbar	11	6	45%

3. 3D 패브릭 보조기 착용 후 신장의 변화

연구참여자의 신장을 측정한 결과 161.6 cm에서 163.5 cm로 3개월 동안 1.9 cm 키가 커져서 1.23% 증가하였다(Table 8).

Table 8. Result of height after wearing 3D Fabric Brace (unit: cm)

Variable	Pre	Post	Rate of change (%)
Height	161.6	163.5	1.23%

DISCUSSION

청소년 특발성 척추측만증의 만곡의 진행은 주로 첫 2차 성징과 골 성숙기 사이의 사춘기 때의 성장 가속기에 급속도로 진행된다. 20~29° 만곡을 11세 이전에 진단받은 경우 만곡이 진행될 위험은 100%이고, 15세 이후에 진단받은 경우에는 16%에서만 만곡이 진행되었다. 또한 이 연구에서 골 성숙도와 생활습관, 만곡 유형에 따라 척추측만증의 예후가 달라진다고 한다(Lonstein & Carlson, 1984; Peters & Nachemson, 1995). 유럽에서는 이미 척추측만증의 보존적 방법으로 보조기를 사용해 사용해왔다. 그 역사는 BC 460~375 히포크라테스시대부터 여러 가지 모양으로 개발 발전되어져 왔다. 보조기에 대한 많은 연구에서 특정 보조기를 사용한 결과 Cobb's Angle이 통계적으로도 유효한 차이가 나게 좋아지는 결과를 보여주는 연구들이 보고되었다, 그 예로 2003년 독일의 Dr. Weiss가 2003년 본인의 환자들을 대상으로 Chêneau Brace의 사용이 척추측만증 환자를 대상으로 수술 발생률에 대한 후향적 분석(Retrospective analysis)을 한 결과와 아일랜드의 한 연구기간에서 보고한 수술 발생률과 비교한 결과 그 이유는 교정효과가 Chêneau Brace를 사용하고 재활치료를 병행했을 때 수술 발생률이 감소한 것으로 연구 결과에서도 보여주고 있다(Rigo, Reiter & Weiss, 2003). 본 연구의 3D 패브릭 보조기와 하드 형태의 Gensingen Brace의 기초 형태인 Chêneau Brace이다. Chêneau Brace는 1979년부터 본격적으로 연구, 개발되어 Gensingen Brace가 그 뒤를 이어 더 많은 교정효과를 내고 있다고 연구 보고되고 있다. 이 두 개의 보조기를 기초로 하여 본 연구에서 패브릭을 소재로 하여 압박이 필요한 부위만 하드타입 보조기의 플라스틱을 이용하여 압박하여 착용의 불편감을 낮추고 교정의 효과는 높이는 것에 집중하여 개발 적용한 결과 효과가 있는 것으로 나타났다. 이 실험 참여한 연구참여자는 3CL이라는 만곡 유형을 하고 있지만 4C 형태를 가지고 있어서 4군데에 압박을 주는 3D 패브릭 보조기를 착용하게 하였다. 경추부와 견갑대의 반시계방향 회전

변형, 흉추부의 시계방향 회전 변형, 요추/골반부의 반시계로 회전하는 것을 막아주는 형식으로 3D 패브릭 보조기에서도 스트랩을 활용한 4군데를 압박한 것이 특징으로 이 압박한 지점들이 3CL 환자에게 적합한 보조기 라는 것을 증명하게 되었다. 그 결과 ATR을 측정한 수치 중 Lumbar에서 11°에서 6°로 45% 감소되고 신장의 변화가 161.6 cm에서 163.5로 변화되어 이는 만곡이 감소되는 것과 키가 커지게 되는 긍정적인 효과를 볼 수 있었다. 척추측만증은 몸통 분절의 회전이 엉덩이 관절의 굴곡 범위가 줄어들게 하는데 이는 측만이 시상면에서 봤을 때 척추가 전만 또는 후만이 과하게 이루어져 있기 때문이다. 따라서 3D 패브릭 보조기가 청소년 특발성 척추측만증의 만곡을 감소시키는데 효과가 있다고 볼 수 있다. 보조기는 1년간 기간을 두고 보정을 하는데 1차 보정까지의 기간이 3개월이었다. 추후 연구참여자의 4차까지의 측정을 기록하여 3D 패브릭 보조기의 추후 과제로 추적 연구가 필요할 것으로 보인다. 그리고 본 연구에서 비록 단일 사례이긴 하나 Angle of Trunk Rotation을 측정 시 사용한 Scoliotester 수치는 x-ray 상의 척추 회전과 직접적으로 비례하며, 약간의 제한점은 있지만 예상되는 Cobb's angle와도 비례하다는 연구 결과(Weiss & El Obeidi, 1994)와 같은 결과가 나타났다. 이러한 결과는 전문가에 의해 측정된 Scoliotester를 이용한 ATR 측정 값은 3개월 마다 청소년들이 x-ray에 노출될 필요없이 안전하게 측정이 가능하다는 것을 보여주는 측정방법을 제시한 것이기도 하다. 따라서 가벼운 패브릭 소재의 슈트는 청소년 특발성 척추측만증을 치료하는데 도움이 되는 보조기라고 할 수 있다. 비 특발성 척추측만증 환자에게도 부분적으로 보조기가 필요한 환자는 도움이 될 것으로 기대된다. 이번 연구서는 착용감에서 훨씬 편하다는 의견은 있었다. 다만 단일 사례 연구라는 제한점이 있지만 보조기 개발의 임상연구에 기초자료로 제공하는데 기여할 것으로 사료된다.

REFERENCES

Asher, M. A. & Burton, D. C. (2006). Adolescent idiocratic scoliosis: natural history and long term treatment effects. *Scoliosis*, *1*, 1-10.

Cheung, J., Veldhuizen, A. G., Halbertsma, J. P., Maurits, N. M., Sluiter, W. J., Cool, J. C. & Van Horn, J. R. (2004). The relation between electromyography and growth velocity of the spine in the evaluation of curve progression in idiopathic scoliosis. *Spine*, *29*(9), 1011-1016.

Chung, J. Y. (2022). Effects of Pilates mat Programs in Scoliosis: Based on Systematic Review. *Journal of Sport and Leisure Studies*, *87*, 343-354.

Green, B. N., Johnson, C. & Moreau, W. (2009). Is physical activity contraindicate for individuals with scoliosis? A systemic literature review. *Journal of Chiropractic Medicine*, *8*, 25-37.

Health Insurance Review & Assessment Service, HIRA, 2023.

Hudson, A. L., Gandevia, S. C. & Butler, J. E. (2007). The effect of lung volume on the co-ordinated recruitment of scalene and sterno mastoid muscles in humans. *The Journal of Physiology*, *584*(1), 261-270.

Kim, D. S. & Chae, W. S. (2012). Biomechanical Analysis of a Smartphone Task with Different Postures. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *22*(2), 253-259.

Koh, E. K. & Jung, D. Y. (2013). Effect of Head Posture and Breathing Pattern on Muscle Activities of Sternocleidomastoid and Scalene during Inspiratory Respiration. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, *23*(3), 279-284.

Lee, J. H. & Kim, S. Y. (2014). Comparative Effectiveness of Schroth Therapeutic Exercise Versus Sling Therapeutic Exercise in Flexibility, Balance, Spine Angle and Chest Expansion in Patient with Scoliosis. *Journal of Korean Society of Physical Medicine*, *9*(1), 11-23.

Lee, S. E. & Kim, D. I. (2019). The effect of Cobb's Angle on Body Composition and Physical Fitness according to Scoliosis Levels in Middle School Girls. *Korean Journal of Sports Science*, *28*(4), 1055-1062.

Lee, S. G. & Lim, S. G. (2013). The Case Study of Exercise Therapy Using Schroth Method in a Patient with Adolescent Idiopathic Scoliosis. *The Asian Journal of Kinesiology (A. J. Kinesiol.)*, *15*(4), 155-167.

Lonstein, J. E. & Carlson, J. M. (1984). The prediction of curve progression in untreated idiopathic scoliosis during growth. *JBJS*, *66*(7), 1061-1071.

Moramarco, K. & Borysov, M. (2017). Suppl-9, M2: A Modern Historical Perspective of Schroth Scoliosis Rehabilitation and Corrective Bracing Techniques for Idiopathic Scoliosis. *The Open Orthopaedics Journal*, *11*, 1452.

Nachemson, A. L. & Peterson, L. E. (1995). Effectiveness of treatment with a brace in girls who have adolescent idiopathic scoliosis. *Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, *77*, 815-822.

Ng, S. Y. & Bettany-Saltikov, J. (2017). Suppl-9, M5: Imaging in the Diagnosis and Monitoring of Children with Idiopathic Scoliosis. *The Open Orthopaedics Journal*, *11*, 1500.

Ovadia, D., Eylon, S., Mashiah, A., Wientroub, S. & Lebel, E. D. (2012). Factors associated with the success of the Rigo System Chêneau brace in treating mild to moderate ado-

lescent idiopathic scoliosis. *Journal of Children's Orthopaedics*, *6*, 327-331.

Perdriolle, R. & Vidal, J. (1985). Thoracic idiopathic scoliosis curve evolution and prognosis. *Spine*, *10*(9), 785-791.

Peters, L. E. & Nachemson, A. L. (1995). Prediction of progression of the curve in girls who have adolescent idiopathic scoliosis of moderate severity. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, *77*, 823-827.

Rigo, M. (2003). Radiological and cosmetic improvement 2 years after brace weaning—a case report. Pediatric *Rehabilitation*, *6*(3-4), 195-199.

Rigo, M., Reiter, C. H. & Weiss, H. R. (2003). Effect of conservative management on the prevalence of surgery in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Pediatric Rehabilitation*, *6*(3-4), 209-214.

Roaf, R. (1966). The basic anatomy of scoliosis. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume*, *48*(4), 786-792.

Statistics Korea, 2023.

Weinstein, S. L. (1988). *Adolescent idiopathic scoliosis: Prevalence, natural history, treatment indications*. University of Iowa.

Weinstein, S. L., Dolan L. A., Cheng J. C., et al. (2008). Adolescent idiopathic scoliosis. *Lancet*, *371*(9623), 1527-1537.

Weinstein, S. L., Dolan, L. A., Wright, J. G. & Dobbs, M. B. (2013). Effects of bracing in adolescents with idiopathic scoliosis. *New England Journal of Medicine*, *369*(16), 1512-1521.

Weiss, H. R. & El Obeidi, N. (1994). Die Wiederholbarkeit der Bestimmung der Winkelgrade nach Cobb. *Vortrag auf dem*, *4*.

Weiss, H. R. & Goodall, D. (2008). Rate of complications in scoliosis surgery-a systematic rewiew of the Pub Med literature. *Scolisis*, *3*, 9. doi: 10.1186/1748-7161-3-9.

Weiss, H. R. & Goodall, D. (2009). Scoliosis in patients with Prader Willi Syndrome-comparisons of conservative and surgical treatment. *Scoliosis*, *4*(1), 1-8.

Weiss, H. R. & Moramarco, M. (2013). Scoliosis-treatment indications according to current evidence. *OA Musculoskeletal Medicine*, *1*(1), 1.

Weiss, H. R. (1995). Standard der Orthesenversorgung in der Skoliosebehandlung. *Medizinisch Orthopadische Technik*, *5*, 323-330.

Weiss, H. R. (2007). Adolescent Idiopathic Scoliosis-case report of a patient with clinical deterioration after surgery. *Patient Safety in Surgery*, *1*, 7. doi: 10.1186/1754-9493-1-7.

Weiss, H. R. (2014). Standardising the treatment with Chêneau braces via CAD: Prospects and risks. *OA Musculoskeletal Medicine*, *2*, 10.

Weiss, H. R., Moramarco, M. M., Borysov, M., Ng, S. Y., Lee, S. G., Nan, X. & Moramarco, K. A. (2016). Postural rehabilitation for adolescent idiopathic scoliosis during growth. *Asian Spine Journal*, *10*(3), 570-581.

Weiß, H. R., Rigo, M. & Rovenich, U. (2006). Be fundgerechte Physio the rapie bei Skoliose 2. Aufl. München: Pflaum.

Weiss, H. R., Tournavitis, N., Nan, X., Borysov, M. & Paul, L. (2017). Workflow of CAD/CAM scoliosis brace adjustment in preparation using 3D printing. *The Open Medical Informatics Journal*, *11*(1).

Winter, R. B. classification and terminology in: Moe, J. H., Bradford, D. S., Lonstein, J. E., Winter, R. B. & Ogilvie, J. W. (1995). *Moe's textbook of scoliosis and other spinal deformities*. Saunders. p39-44.

Wong, H. K., Hui, J. H., Rajan, U. & Chia, H. P. (2005). Idiopathic scoliosis in Singapore schoolchildren: a prevalence study 15 years into the screening program. *Spine*, *30*(10), 1188-1196.