

Original Article

## 척추측만증 평가 척도에 관한 문헌 고찰: 비방사선 방법을 중심으로

김동주<sup>1</sup>, 최성경<sup>2</sup>, 조효림<sup>2</sup>, 하유빈<sup>3</sup>, 최성환<sup>4</sup>, 박서현<sup>4</sup>, 이승덕<sup>5</sup>, 금동호<sup>4</sup>, 성원석<sup>2\*</sup>, 김은정<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>동국대학교 한의과대학, <sup>2</sup>동국대학교 분당한방병원 침구학과, <sup>3</sup>동국대학교 분당한방병원 한방내과  
<sup>4</sup>동국대학교 분당한방병원 한방재활의학과, <sup>5</sup>동국대학교 한의과대학 침구학과

### Review Study on the Measurement Tools of Scoliosis: Mainly on Non-radiological Methods

Kim Dong-Joo<sup>1</sup>, Seong-Kyeong Choi<sup>2</sup>, Hyo-Rim Jo<sup>2</sup>, Yu-bin Ha<sup>3</sup>, Sung-Hwan Choi<sup>4</sup>, Seo-Hyun Park<sup>4</sup>,  
Seung Deok Lee<sup>5</sup>, Dong-Ho Keum<sup>4</sup>, Won-Suk Sung<sup>2</sup>, Eun-Jung Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>College of Korean Medicine, Dongguk University

<sup>2</sup>Department of Acupuncture & Moxibustion, Dongguk University Bundang Oriental Hospital

<sup>3</sup>Department of Internal Korean Medicine, Dongguk University Bundang Oriental Hospital

<sup>4</sup>Department of Rehabilitation Medicine of Korean Medicine, Dongguk University Bundang Oriental Hospital

<sup>5</sup>Department of Acupuncture & Moxibustion Medicine, College of Korean Medicine, Dongguk University

**Objectives:** The purpose of this study is to investigate the characteristics, validity, and reliability of non-radiological assessment tools of scoliosis that have been studied so far.

**Methods:** Electronic databases including Pubmed, Cochrane Library, CNKI, Science On, RISS, OASIS were searched by keywords including 'scoliosis assessment', 'scoliosis screening', 'physical examination', 'functional measurement', 'photography', and 'smartphone'.

**Results:** 32 articles using radiation-free assessments were identified from 1,011 records. The mostly used non-radiological methods were Surface topography, Scoliometer, Ultrasound, Digital Infrared Thermal Imaging, and Photography. The other methods were Gait analysis, 3D depth sensor imaging, and Low intensity electromagnetic scan.

**Conclusions:** It was found that non-radiological assessment tools might reduce the number of radiographs taken in scoliosis patients. To increase the reliability and validity, further research on the measurement tools of scoliosis will be needed.

**Key Words** : Scoliosis, Scoliosis measurement tools, Scoliosis assessment, Non-radiological assessment, Clinical practice, Diagnosis

· Received : 2 February 2021      · Revised : 15 February 2021      · Accepted : 18 February 2021

· Correspondence to : Won-Suk Sung

Department of Acupuncture & Moxibustion Medicine, Dongguk University Bundang Oriental Hospital  
268, Buljeong-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13601, Republic of Korea  
Tel : +82-31-710-3725, E-mail : 1984sws@hanmail.net

· Correspondence to : Eun-Jung Kim

Department of Acupuncture & Moxibustion Medicine, Dongguk University Bundang Oriental Hospital  
268, Buljeong-ro, Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13601, Republic of Korea  
Tel : +82-31-710-3751, E-mail : haniijung@naver.com

## 서론

척추측만증은 정중앙의 축을 기준으로 하여 척추가 좌우 측면 방향으로 만곡 또는 편위되어 있는 질환이다. 관상면상 뿐만 아니라 시상면상에서도 추체의 회전이 동반되는 경우가 많아 변형이 3차원적인 형태를 나타내는 것이 특징이다.<sup>1,2)</sup> 척추측만증은 흔한 척추 질환으로, 건강보험심사평가원의 2019년 자료에 따르면 환자수는 9만 4천여명이었으며, 그 중 약 43%가 10대 청소년 환자로 가장 높은 비중을 차지하였다.

척추측만증의 진단과 예후 평가에 있어 가장 보편적으로 사용되는 척도는 Cobb이 1948년에 제시한 Cobb's angle이다. X-ray PA view에서 측정하고자 하는 만곡의 가장 상부에 위치한 척추체의 상연의 연장선 A과 가장 하부에 위치한 척추체 하연의 연장선 B를 그린 후 각각 A, B에 수직선 A', B'를 그려 A'와 B'가 이루는 교차각을 Cobb's angle이라 명명하며 일반적으로 10° 이상인 경우 척추측만증으로 진단한다.<sup>3)</sup>

방사선 촬영을 통한 Cobb's angle이 현재 표준적으로 사용되고 있지만, 반복된 방사선 촬영이 잠재적으로 암 발생의 위험을 증가시키고 인체에 해로운 영향을 미친다는 연구들이 보고되었다.<sup>4,7)</sup> 방사선 노출에 대한 환자들의 두려움 외에도 Cobb's angle은 3차원상의 변형을 반영하지 못하며 측정자 내, 측정자 간 편차가 커 장기 모니터링에 있어 신뢰성과 효율성을 저하시킬 수 있다.<sup>8-10)</sup> 뿐만 아니라, 한의사는 현재 X-ray나 MRI 등의 의료영상장비를 직접적으로 활용할 수 없어 척추측만증의 진단과 피드백이 쉽지 않은 상황이다.<sup>11)</sup> 따라서 한의사들이 쉽게 접근할 수 있으며, 환자들이 반복적으로 방사선에 노출되는 것을 보호하기 위해 다른 척추측만증 평가도구를 살펴볼 필요가 있다.

이에 본 연구는 척추측만증의 비방사선적 평가도구의 경향을 파악하기 위해 관련 연구를 체계적으로

검토하여 평가 도구별 특성과 타당도, 신뢰도 등을 함께 살펴보고자 한다.

## 연구대상과 방법

본 연구는 척추측만증의 비방사선적 평가 척도에 대한 문헌 고찰 연구로서, 해당 연구에서 사용한 비방사선 평가 척도와 연구 방법 및 타당도와 신뢰도를 포함한 결과를 추출하고, 이후에 평가자의 합의를 통해 평가 척도에 대한 종합적 판단을 yes 또는 no로 결정하였다.

문헌검색은 2021년 1월 5일까지 국내의 학술 데이터베이스에 등록 또는 출판된 논문을 대상으로 시행하였다. 국외 학술 데이터베이스로는 Pubmed, Cochrane Library, CNKI, 국내 학술 데이터베이스로는 학술연구정보서비스 (RISS), 전통의학정보포털 (OASIS), 과학기술 지식 인프라 (Science ON)를 활용하였다. 검색어는 scoliosis assessment, scoliosis screening, physical examination, functional measurement, photography, smartphone을 사용해 각 데이터베이스의 특성에 맞추어 조합하였다.

상기된 데이터베이스에서 최초로 검색된 논문은 총 1,011건이었으며, 제목과 초록을 검토하여 척추측만증과 직접적인 관련이 없는 경우, 척추측만증의 진단과 관계되지 않는 경우, 문헌고찰 연구 및 학위논문, 2000년 이전의 논문을 제외하여 89건의 논문이 1차 선정되었다. 이후 2단계에서는 문헌의 전문을 보면서 적합성을 검토하여 방사선을 이용한 평가 척도만 포함된 경우, 평가 도구가 포함되지 않은 경우, 전문을 찾을 수 없을 경우 등을 제외하였다. (Figure 1)

## 결과

앞서 정한 기준에 따라 총 1,011편의 논문을 분석한 결과 32편의 논문을 최종 선정하였다. 출판년도 별로는 2003~2011년에 보고된 연구가 7편 (21.9%)

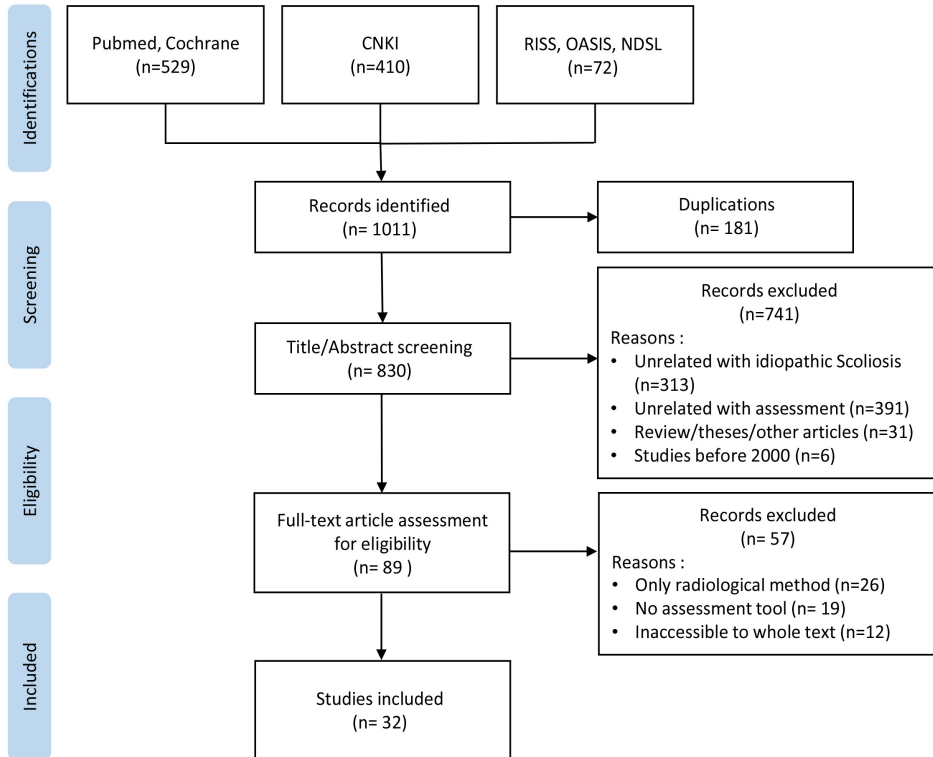


Fig. 1. Study selection PRISMA flow chart

이었으며, 2012~2020년에 보고된 연구는 25편 (78.1%)이었다. 연구가 진행된 국가는 아시아 17편 (53.1%), 유럽 7편 (21.9%), 북미 3편 (9.4%), 남미 3편 (9.4%), 기타 2편 (6.3%) 순이었다. 연구 설계는 단면조사 (cross-section) 연구가 21편 (65.6%)으로 가장 많았으며 전향적 연구가 6편 (18.8%), 후향적 연구가 3편 (9.4%), 관찰 연구가 1편 (3.1%), 실험연구가 1편 (3.1%)이었다. (Table 1)

비방사선적 평가 척도에 따른 분포를 살펴보면 본 연구에 포함된 32편의 논문 중 10편 (31.3%)이 Surface topography에 대한 연구로 가장 많았고, 6편 (18.8%)이 Scoliometer, 6편 (18.8%)이 Ultrasound, 3편 (9.4%)이 적외선 체열 촬영, 3편 (9.4%)이 Digital Photography를 다루었고 그 외의 기타척도를

Table 1. Characteristics of Included studies (n=32)

Variables	Category	n(%)
Publication year	2003~2011	7(21.9)
	2012~2020	25(78.1)
Country	Asia	17(53.1)
	Europe	7(21.9)
	North America	3(9.4)
	South America	3(9.4)
	Other*	2(6.3)
Study design	Cross-section study	21(65.6)
	Prospective study	6(18.8)
	Retrospective study	3(9.4)
	Observational study	1(3.1)
	Experiment study	1(3.1)

\* Israel, Australia

사용한 연구가 4편 (12.5%)이었다.

Author's consensus 상 yes는 총 24건이었으며 각 평가 척도 별로 Scoliometer는 6건, 적외선 체열 촬영은 1건, Surface topography는 7건, Ultrasound는 6건, Photography는 1건이 yes였으며, 기타 척도를 사용한 4편의 연구 중 Smartstep™ 연구를 제외한 3건이 yes였다.

각 연구의 특성과 타당도, 신뢰도, 결론 등은 Table 2, Table 3, Table 4에서 정리하였으며, 각각의 평가 척도를 중심으로 살펴본 결과 다음과 같다. (Table 2~4)

## 1. Scoliometer

척추측만계 (scoliometer)는 몸통의 비대칭이나 측방향으로의 회전을 측정하기 위해 개발된 경사계로<sup>12)</sup>, Adam's test와 같이 몸을 앞으로 구부린 자세에서 측정을 실시한다. 저렴하고 측정이 빠르며 측정을 위해 전문적인 교육이 거의 필요하지 않다는 등의 장점<sup>13)</sup>을 가지고 있어 측만의 진행상황을 간단하게 수치화할 수 있는 실용적 도구로<sup>14,16)</sup> 학교 등에서 척추측만증 선별을 위한 기본 검사로 흔히 사용된다.<sup>17, 18)</sup>

Sapkas 등과 Coelho 등의 연구에서 scoliometer를 현재 golden standard로 여겨지는 Cobb's angle과 비교분석한 결과 모두 양호한 신뢰수준과 타당도를 보였으며, 가장 높은 민감도 값은 체간의 회전이 5°인 경우에서 87%로 보고되었다. Prowse 등의 연구에서 사용된 Baseline® Body Level/Scoliosis meter는 scoliometer와 양호한 상관관계가 있었으며 ( $\rho=0.78$ ), 방사선 촬영을 통해 얻은 Cobb's angle과는 중간 정도의 상관관계를 보였다 ( $\rho=0.627$ ). 흉추, 요추, 경추에 대한 신뢰도는 높았으나 그에 비해 골반 및 어깨 기틀기에 대한 신뢰성은 비교적 낮은 것으로 나타났다.

이 외 scoliometer를 스마트폰 등의 모바일 기기와 접목시킨 연구들이 다수 보고되었는데 Driscoll 등의

연구에서는 39명의 척추측만증 환자를 대상으로 3가지 비방사선적 방법 (Scolioscreen-smartphone, smartphone 단독, scoliometer 단독)을 비교한 결과, 스마트폰을 단독으로 측만증 측정에 사용한 경우 관측자 간, 관측자 내 일관성이 떨어졌으며, 스마트폰을 끼워 측정이 용이하도록 하는 고무 의료 장치인 scolioscreen-smartphone의 조합과 scoliometer의 단독 사용은 모두 유사하게 우수한 신뢰성과 일관성을 제공하였다. Franko 등은 스마트폰에 내장된 경사계를 활용해 scoliometer의 기능을 모방한 iPhone 앱 (Scoliguage)의 유효성을 검증하였다. Scoliguage 앱과 표준 scoliometer의 판독치를 비교분석한 결과, 앱의 사용이 scoliometer에 비해 측정에 소요되는 시간이 증가하지 않았으며, 피어슨 상관계수는 0.9994 - 0.9996으로 양호한 타당도를 보여주었다. Jimbo 등은 iPod touch와 같은 모바일 장치와 결합해 사용하기 위해 개발된 i-Scolioroller를 Cobb's angle 20° 이상 환자들의 석고 몸통 몰드에 적용하여, 79.2%의 민감도와 70.0%의 특이도를 보고하였다.

## 2. 적외선 체열 촬영 (D.I.T.I)

컴퓨터 적외선 체열 촬영 (Digital Infrared Thermographic Imaging; D.I.T.I)은 인체의 피부 표면에서 정상적으로 방출되는 극미량의 적외선을 센서를 통해 미세하게 감지하고 컴퓨터를 통해 영상으로 변환하여 신체의 이상유무를 진단하는 검사방법이다.<sup>19)</sup>

체표의 온도는 자율신경계에 의해 신체의 양쪽에 균일하게 조절되어 혈액의 흐름이 피부를 통해 대칭적인 온도 패턴을 생성하므로<sup>20)</sup> 체온의 비대칭은 질병의 진단에 중요한 기준이 된다. 일반적으로 D.I.T.I 상 좌우 온도차 ( $\Delta T$ )가 0.5°C 이상일 경우, 비정상적으로 판단한다.<sup>21)</sup> 흉요추부에서 적외선 체열 촬영의 정상 소견은 극돌기를 따라 고온 현상이 대칭적으로 나타나는 것이며, 비정상 소견으로는 특징적인 체열 분포가 관찰되는데 관절 질환의 경우 급성기에는 고

**Table 2.** Summary of the included studies. Table summarizes non-radiographic methods, Reference methods, Study design, Patients demographics and Method

Study	Non-radiographic Methods	Reference methods	Study Design	Demographics <sup>a</sup>	Methodology Description
Driscoll 2014 <sup>35)</sup>	Scolioscreen-smartphone	Smartphone, Scoliometer	Cross-sectional	IS patients n= 39 (8.31) age= 16 (SD: 1.4)	3 raters on Scolioscreen-smartphone, smartphone alone and scoliometer
Franko 2012 <sup>34)</sup>	Scoliometer Smartphone App	Scoliometer	Cross-sectional	—	Examined 60 times with both Scoliometer and Scoliogage app
Jimbo 2020 <sup>35)</sup>	Hand-held roller(i-Scoliroller) combined with iPod touch	Radiography	Cross-sectional	Experiment I Plater torsos of IS patients n= 10 (1:9) age: 10 - 14 Experiment II IS patients n= 112 (15:97) age: 6 - 17	Experiment I 3 raters repeated 4 times for inter-observer reliability 8 raters measured once for intra-observer reliability  Experiment II A single screening examination with i-Scoliroller by one of 3 raters
Prowse 2017 <sup>36)</sup>	Body Level/Scoliosis meter	Scoliometer, Radiographs	Observational	IS patients (mean Cobb's angle= 25) n= 31 (4:27) age= 13.6 (SD: 0.6)	2 raters in 1 day
Sapkas 2003 <sup>37)</sup>	Scoliometer	Radiography(Cobb's angle, Risser stage)	Prospective	IS patients n= 291(47:244) age= 14.1 (SD: 2.67)	1 rater on thoracic, thoracolumbar, lumbar regions
Coelho 2013 <sup>38)</sup>	Scoliometer	Radiography	Cross-sectional	IS patients n=32 age= 18.2 (SD: 3.9) Healthy subjects(control) n= 32 age= 21.1 (SD: 2.2)	2 raters on 3 occasions
Bae 2004 <sup>23)</sup>	D.I.T.I	X-ray	Cross-sectional Case study	Patients with SP or LBP n= 5 (5:0) age= 38.8	Compared D.I.T.I and Cobb's angle
Yang 2016 <sup>21)</sup>	D.I.T.I	X-ray	Cross-sectional	AIS Patients n= 56 (27:29) age= 13 (SD: 2.13)	Checked the thermal difference of 6 acupoints (GB21, BL13, BL15, BL20, BL23, BL26)
Kwok 2017 <sup>39)</sup>	Infrared Thermography	—	Cross-sectional	Non-scoliotic students n= 14(0:14) age= 10 - 13 Scoliotic students n= 17 (0:17) age= 10 - 13	An examiner pin-pointed the body landmarks on subjects and performed Infrared imaging

**Table 2.** Summary of the included studies. Table summarizes non-radiographic methods, Reference methods, Study design, Patients demographics and Method (Continued)

Study	Non-radiographic Methods	Reference methods	Study Design	Demographics <sup>a</sup>	Methodology Description
Sato 2020 <sup>(40)</sup>	Digital Moiré	X-ray	Cross-sectional	AIS patients n= 125 (18:107) age= 13.2 (SD: 2.2)	Categorized the results of DM into 4 classes and compared with Cobb's angle
Yamamoto 2015 <sup>(41)</sup>	Moiré Topography	—	Retrospective cross-sectional	public school children n= 195,149 (100,103:95,046) age= 11-14	Reviewed the Nara City School scoliosis screening results from 1990 to 2012
Kuroki 2018 <sup>(2)</sup>	Moiré Topography	—	Retrospective	n= 689,293 (351,680:337,613) age= 11, 14	Reviewed the SSS in Miyazaki, Japan from 1981 to 2013
Choi 2005 <sup>(3)</sup>	Surface topography	X-ray	Cross-sectional	IS patients n= 16 (5:11) age= 21.7 (SD: 5.6)	Scan was performed after marking C7, S3, lower angle of scapula, acromion, iliac crest
Chowanska 2012 <sup>(26)</sup>	Surface topography	Scoliometer	Cross-sectional	Girls between age of 9 - 13 n= 996 age= 11.0 (SD: 1.0)	1 rater on the same day with both measurements
Komeili 2014 <sup>(4)</sup>	Surface topography	X-ray	Prospective	AIS patients n= 46 age: 10 - 18 Healthy subjects n= 5	8 observers classified patients based on surface topography asymmetry maps
Pino-Almero 2017 <sup>(5)</sup>	Surface topography	X-ray	Optical Cross-sectional	AIS patients n= 88 (12:76) age= 13.15 (SD: 1.96)	Axial plane(DHOPI), coronal plane(POSTI), profile plane(PC) were evaluated by ST
Pino-Almero 2016 <sup>(27)</sup>	Surface topography	Radiography	Prospective	IS patients n= 31 (4:27) age= 13 (range: 7 - 17)	Assessed twice at intervals of 6 months to 1 year with both measurements. DHOPI,POSTI,PC were evaluated by ST
L.Schulte 2008 <sup>(6)</sup>	Raster stereography	Radiography	Retrospective Long-term follow-up study	IS patients n= 16 (7:9) age= 13 (range: 7- 21)	Patients were examined using both measurements within 1 hour
Drzal-Grabiec 2014 <sup>(7)</sup>	Photogrammetric method + Mora projection	—	Cross-sectional	Randomly selected primary school children n= 120 (50:70) age: 7 - 11	Each subject tested twice by 2 raters with 20 min interval

IS Idiopathic Scoliosis

<sup>a</sup> n = sample size of study (Male:Female), Mean age is reported with the standard deviation in the parentheses.

SP Shoulder Pain, LBP Lower Back Pain, D.I.T./ Digital Infrared Thermographic Imaging, AIS Adolescent Idiopathic Scoliosis, DM Digital Moiré, SSS school scoliosis screening DHOPI horizontal plane deformity index, POSTI posterior trunk symmetry index, PC columnar profile

**Table 2.** Summary of the included studies. Table summarizes non-radiographic methods, Reference methods, Study design, Patients demographics and Method (Continued)

Study	Non-radiographic Methods	Reference methods	Study Design	Demographics <sup>a</sup>	Methodology Description
Zhang 2017 <sup>(30)</sup>	Ultrasound imaging	Cobb's angle	Experimental study	—	3 raters on 2 occasions with thoracic spine phantom set in 24 different poses
Wang 2015 <sup>(8)</sup>	Ultrasound imaging	MRI	Cross-sectional	Female subjects with AIS n= 16 age= 15.4 (SD: 2.6)	2 raters and each with 3 scans, took less than 1 minute per scan
Chung 2015 <sup>(9)</sup>	Ultrasound imaging	X-ray	Cross-sectional	Subjects with scoliosis n= 36 (12:24) age= 30.1 (SD: 14.5)	2 observers measured twice using both VPI-SP, VPI-TP methods
Jiang 2019 <sup>(50)</sup>	Fast 3d ultrasound projection imaging (FUPI)	Volume projection imaging (VPI) method	Cross-sectional	Subjects with scoliosis n= 70 age= 15.6 (SD: 2.8)	2 raters each with 2 scans, intervals of 5 minute per scan
Zheng 2016 <sup>(51)</sup>	3D Ultrasound imaging	Radiography	Prospective	Subjects with scoliosis n= 49 (15:34) age= 15.8 (SD: 2.7)	2 operators scanned twice by each, and scanned image was viewed by 3 raters. Each image was measured twice by each rater
Kang 2012 <sup>(29)</sup>	Ultrasound imaging	Formetric 4D	Cross-sectional	AIS patients n= 22 (8:14) age= 15	2 raters on 2 occasions
Matamalas 2014 <sup>(52)</sup>	Digital Photography	X-ray	Cross-sectional	IS patients n= 80 (12:68) age= 20.3 (SD: 8.6)	3 evaluators on 2 separate occasions, one week apart
Aroca 2011 <sup>(53)</sup>	Computerized photogrammetry	Radiography	Cross-sectional	IS patients n= 16 (2:14) age= 21.4 (SD: 6.1)	2 raters with both measurements
Saad 2009 <sup>(54)</sup>	Photogrammetry	Radiography	Cross-sectional Prospective	Scoliosis patients n= 40 (8:32) age= 23.4 (SD:11.2)	Subjects were photographed by 2 examiners and 15 days later, photographed again by the first examiner
Kim 2014 <sup>(55)</sup>	Gait parameter	X-ray	Cross-sectional	Normal group n= 20 age= 11.9 (SD: 0.2) AIS group n= 20 age= 11.3 (SD: 0.6)	Assessed weight-bearing distribution, stance/swing phase and gait velocity

**Table 2.** Summary of the included studies. Table summarizes non-radiographic methods, Reference methods, Study design, Patients demographics and Method (Continued)

Study	Non-radiographic Methods	Reference methods	Study Design	Demographics <sup>a</sup>	Methodology Description
Cho 2018 <sup>50)</sup>	Machine learning based gait analysis test	X-ray	Cross-sectional	Teenage scoliosis patients n= 24 age= 15.2 (SD: 2.5) Normal subjects(control) n= 18 age= 15.7 (SD: 2.6)	All subjects completed a 10m gait course for 10 times
Ovadia 2007 <sup>57)</sup>	Low intensity electromagnetic scan sensing the spatial position of spinous process	X-ray	Prospective	AIS patients n= 124 (35:89) age= 13 (SD: 3.17)	4 independent sites, 6 independent examiners, repeated twice for each patient
Kokabu 2019 <sup>58)</sup>	3-D depth sensor imaging system	Radiography	Prospective cohort study	Subjects with suspected AIS n= 170 (21:149) age= 14.3 (range: 8 - 18)	Subjects back was scanned by a 3D depth sensor

*l/Pl-SP* volume projection imaging-spinous process, *l/Pl-TP* volume projection imaging-transverse process.



Table 3. Validity and reliability of the included studies

Large category of assessment tools	Study	Validity	Inter-rater reliability	Intra-rater reliability
Scoliometer	Driscoll 2014 <sup>33)</sup>		Scolio-smartphone ICC= 0.89	Scolio-smartphone ICC= 0.94
	Franko 2012 <sup>34)</sup>	Pearson's Correlation Coefficient= 0.9995 (p<0.001)	ATI ICC= 0.733 Sum ATI ICC= 0.745	ATI ICC of orthopedic doctor/office worker/assistant technical expert= 0.851, 0.786, 0.772
	Jimbo 2020 <sup>35)</sup>			Sum ATI ICC of orthopedic doctor/office worker/assistant technical expert= 0.856, 0.900, 0.796
D.I.T.I	Prowse 2017 <sup>36)</sup>	Good correlation with the Scoliometer (rho= 0.78) Moderate correlation for ATR (rho= 0.627)	Thoracic kyphosis ICC= 0.94 ATR ICC= 0.92 Lumbar lordosis ICC= 0.79 Cervical lordosis= 0.51	measured by the Baseline® Body Level/ Scoliosis meter (Examiner A ICC3,3= 1.00, Examiner B= 0.98) measured by the Scoliometer (Examiner A ICC3,3= 0.99, Examiner B= 0.98)
	Sapkas 2003 <sup>37)</sup>	Thoracic r= 0.685 (p<0.01) Thoracolumbar r= 0.572 (p<0.01) Lumbar r= 0.677 (p<0.01)		
	Coelho 2013 <sup>38)</sup> Kwok 2017 <sup>39)</sup>	r= 0.7 (p<0.05)	0.89 ICC values > 0.9	0.92

ICC Intra-class correlation coefficient, ATI Angle of trunk inclination, ATR Axial thoracic rotation

Table 3. Validity and reliability of the included studies (Continued)

Large category of assessment tools	Study	Validity	Inter-rater reliability	Intra-rater reliability
Surface topography	Sato 2020 <sup>(40)</sup>	Correlation between CA and DHCT(difference of height cervicothoracic) $r = 0.591$ , $p < 0.05$	$\kappa$ coefficient 0.70, $p < 0.001$	$\kappa$ coefficient 0.73, $p < 0.001$
	Choi 2005 <sup>(5)</sup>	Correlation between CA and DHT(difference of height thoracic) $r = 0.768$ , $p < 0.01$ Correlation between CA and DHTL(difference of height thoracolumbar) $r = 0.704$ , $p < 0.01$ Correlation between CA and DHL(difference of height lumbar) $r = 0.509$ , $p < 0.05$		
	Chowanska 2012 <sup>(26)</sup>		Inter-observer error: 0.8°	Intra-observer error for STR parameter: 1.9°
	Komeili 2014 <sup>(4)</sup>		Multi-observer $\kappa$ value: 0.62	Mean $\kappa$ coefficient: 0.85
	Pino-Almero 2017 <sup>(45)</sup>	CA with DHOPI/POSTI : $r = 0.810$ , 0.629 PC variables with thoracic kyphosis angle/lordosis lumbar angle : $r = 0.453$ , 0.275		
	Pino-Almero 2016 <sup>(27)</sup>	CA with DHOPI : $r = 0.720$ , $p < 0.01$ CA with POTSI : $r = 0.753$ , $p < 0.01$	DHOPI: 0.987 POSTI: 0.978 PC: 0.969 ( $p < 0.05$ )	DHOPI: 0.983 POSTI: 0.959 PC: 0.984
	L.Schulte 2008 <sup>(46)</sup>	Cobb/Rsg Lateral deviation (Max/RMS) $R^2 = 0.8$ , 0.7 Rotation (Max/RMS) $R = 0.6$ , 0.5 Cobb/Rad Lateral deviation (Max/RMS) $R^2 = 0.9$ , 0.8 Rotation (Max/RMS) $R = 0.6$ , 0.6 Rsg/Rad Lateral deviation (Max/RMS) $R^2 = 0.8$ , 0.7 Rotation (Max/RMS) $R = 0.6$ , 0.5		

CA Cobb's angle, DHOPI horizontal plane deformity index, POSTI posterior trunk symmetry index, PC columnar profile, RSG raster stereography, Max maximum, RMS root mean square, Rad radiography

Table 3. Validity and reliability of the included studies (Continued)

Large category of assessment tools	Study	Validity	Inter-rater reliability	Intra-rater reliability
Ultrasound imaging	Zhang 2017 <sup>(30)</sup>	2D deformity I <sup>2</sup> = 0.92 3D deformity I <sup>2</sup> =0.78		
	Wang 2015 <sup>(48)</sup>	Cobb's angle degrees (10.2-68.2°/10.0-20.0°/20.0-45.0°) I <sup>2</sup> = 0.997, 0.934, 0.989 Variation in selected UEV (variation 0/1/2) I <sup>2</sup> = 0.998, 0.998, 0.997 Variation in selected LEV (variation 0/1/2) I <sup>2</sup> = 0.997, 0.998, 0.989 Level of apical vertebra (T1-T4/T5-T8/T9-T12/L1-L5) I <sup>2</sup> = 0.987, 0.997, 0.999, 0.997	Ultrasound ICC= 0.995 Ultrasound SEM= 1.0° MRI ICC= 0.997 - 0.995 MRI SEM= 1.0°	Ultrasound ICC= 0.933 - 0.997 Ultrasound SEM= 0.6 - 0.8° MRI ICC= 0.997 - 0.998 MRI SEM= 0.5 - 0.7°
	Cheung 2015 <sup>(49)</sup>	VPI-SP R <sub>2</sub> <sup>2</sup> = 0.79 (p<0.001) VPI-TP R = 0.78 (p<0.001)	VPI-SP ICC: 0.92 (p<0.001) VPI-TP ICC: 0.96 (p<0.001)	VPI-SP ICC: 0.99 (p<0.001) VPI-TP ICC: 0.98 (p<0.001)
	Jiang 2019 <sup>(50)</sup>	I <sup>2</sup> = 0.954 Bland-Altman plot (D=0.1)	ICC= 0.90	ICC= 0.96
	Zheng 2016 <sup>(51)</sup>	Thoracic region R <sub>2</sub> <sup>2</sup> = 0.78 Lumbar region R = 0.72	ICC= 0.88 - 0.93 (0.90 ± 0.02) Inter-operator reliability for scanning using Scolioscan ICC= 0.87 - 0.94 (0.92 ± 0.03)	ICC= 0.94 - 0.99 (0.97 ± 0.02) Intra-operator reliability for scanning using Scolioscan ICC= 0.88 - 0.97 (0.94 ± 0.03)
	Kang 2012 <sup>(5)</sup>		Trapezius Rt: ICC= 0.866, Lt: ICC= 0.820 Rhomboid Rt: ICC= 0.859, Lt: ICC = 0.920 Posterior serratus muscles Rt: ICC= 0.578, Lt: ICC= 0.789 Total thicknesses Rt: ICC= 0.933, Lt: ICC= 0.967	ICC= 0.872 - 0.958

SEM standard error of measurement, UEV upper-end vertebra, LEV lower-end vertebra, VPI-SP Volume projection imaging spinous process method, VPI-TP Volume projection imaging transverse process method

**Table 3.** Validity and reliability of the included studies (Continued)

Large category of assessment tools	Study	Validity	Inter-rater reliability	Intra-rater reliability
Photography	Matamalas 2014 <sup>52)</sup>	0.37 < r < 0.51	Back (LRTA/SHA/AHA) ICC= 0.80, 0.80, 0.88 Front (LRTA/SHA/AHA) ICC= 0.65, 0.89, 0.85	Back (LRTA/SHA/AHA) ICC= 0.79, 0.88, 0.93 Front (LRTA/SHA/AHA) ICC= 0.78, 0.91, 0.91
	Aroetra 2011 <sup>53)</sup>	Thoracic region Kappa index= 0.92 Lumbar region Kappa index= 0.82		
	Saad 2009 <sup>54)</sup>	Thoracic curves R= 0.619 Lumbar curves R= 0.551	Thoracic: 0.942 (p<0.001) Lumbar: 0.564 (p= 0.010) Thoracolumbar: 0.879 (p<0.001)	Thoracic: 0.963 (p<0.001) Lumbar: 0.975 (p<0.001) Thoracolumbar: 0.945 (p<0.001)
Gait analysis	Cho 2018 <sup>56)</sup>	Cross-validation test result Accuracy of SVM to recognize scoliosis group and control group : 90.5% (if optimally selected, 95.2%) Accuracy of SVM to recognize scoliosis severity gait patterns : 81.0% (if optimally selected, 85.7%)		
Low intensity electromagnetic scan	Ovadia 2007 <sup>57)</sup>	Thoracic r= 0.87 Lumbar r= 0.84 All curves r= 0.86 (p < 0.0001)	mean absolute difference between the paired coronal measurements : 6.3° (SD = 4.9°), Pearson's correlation coefficient: 0.86 (P= 0.08)	mean absolute difference between the paired coronal measurements : 2.74° (SD = 2.4°), Pearson's correlation coefficient: 0.86 (P= 0.11)
	3-D depth sensor imaging system	Kokabu 2019 <sup>58)</sup>	r= 0.85 (p<0.01)	mean absolute difference between the paired sagittal measurements : 4.83° (SD = 4.28°), Pearson's correlation coefficient: 0.87 (P= 0.67)

LRTA left/right trapezium angle ratio, SHA shoulder height angle, AHA axilla height angle, SVM support vector machine

Table 4. Methodological characteristics of included studies, summarizing equipments, study aims and conclusion

Study	Equipments required	Aims/rationale	Conclusions	Authors' consensus (Yes / No)
Driscoll 2014 <sup>(33)</sup>	Smartphone(iPhone4), Scolignage app, ScoliScreen and Scoliometer	To compare the reliability and accuracy of a ScoliScreen-smartphone combination, a smartphone alone, and a Scoliometer	The ScoliScreen-smartphone provides a reliability and consistency similar to the gold standard (use of Scoliometer by spine surgeon).	Yes
Franko 2012 <sup>(34)</sup>	Scolignage app, iPhone 4s device with iOS 5 installed	To demonstrate equivalence between the scolignage iPhone application and a standard Scoliometer read by various providers.	The Scolignage app is a novel tool that replicates the function of a standard scoliometer but with a lower cost and greater convenience.	Yes
Jimbo 2020 <sup>(35)</sup>	i-Scolioroller, iPod touch(Apple Inc., Cupertino, CA)	To evaluate the intra-and inter-observer reliability of the i-Scolioroller and to determine the optimal cutoff values of i-Scolioroller measurements	I-Scolioroller has a sufficiently high sensitivity for detecting adolescent scoliosis with a Cobb's angle $\geq 20^\circ$ . (Sensitivity: 88.9%, Specificity: 62.5%)	Yes
Prowse 2017 <sup>(36)</sup>	Baseline® Body Level/Scoliosis meter (Orthopaedics Systems Incorporation®)	To investigate the reliability and validity of the Baseline® Body Level/Scoliosis meter for AIS	The Baseline® Body Level/Scoliosis meter provides reliable transverse and sagittal cervical, thoracic and lumbar measurements and valid transverse plan measurements of mild-moderate scoliosis deformity.	Yes
Sapkas 2003 <sup>(37)</sup>	Scoliometer (Orthopaedic Systems Inc, Hayward, CA)	To create mathematic formulas that could predict the Cobb's angle using the scoliometer measurements	Scoliometer values combined with three mathematical formulas permit assessment of adolescent idiopathic scoliosis and follow-up for progression of the deformity	Yes
Coelho 2013 <sup>(38)</sup>	Scoliometer (Orthopaedic Systems Inc, Hayward, CA)	To measure intra- and interrater reliability, sensitivity and specificity of the scoliometer	Scoliometer and radiographic measurements showed good correlation. (The highest sensitivity value= 0.87 at 5° trunk rotation)	Yes
Bae 2004 <sup>(23)</sup>	Digital Infrared Thermographic Imaging (IRISS000, MEDICORE, SEOUL, KOREA)	To report that D.I.T.I can be used for diagnosis of scoliosis	Results suggest that D.I.T.I can explain physiologic and functional abnormalities than X-ray, in diagnosis of scoliosis	No
Yang 2016 <sup>(21)</sup>	Digital Infrared Thermographic Imaging (T-1000 HD, MESHMEDICAL, Korea)	To investigate the correlation between Cobb's angle and D.I.T.I on AIS	Using D.I.T.I, acupoint Simsu(BL15) is expected to be a valid indicator for the diagnosis and treatment of AIS	No

**Table 4.** Methodological characteristics of included studies, summarizing equipments, study aims and conclusion (Continued)

Study	Equipments required	Aims/rationale	Conclusions	Authors' consensus (Yes / No)
Kwok 2017 <sup>(3)</sup>	FLIR E33 camera (FOL-18 lens; 10,800 pixels), Thermacam Researcher Professional 2.9 Software(FLIR)	To explore the possibility of using IR thermography to evaluate Infra red emissions from subjects to detect abnormalities in temperature distribution in their paraspinal muscles.	The findings of this study suggest the feasibility of incorporating IR thermography as part of SSS.	Yes
Sato 2020 <sup>(4)</sup>	Hump measurement system with a built-in 3D camera, personal computer (Kinect for Windows: Microsoft Corporation, Redmond, Washington)	To assess the usefulness of Digital Moiré(DM) for scoliosis screening.	DM is useful as a new method for the screening of scoliosis with sufficient accuracy and reliability to replace Moiré topography. (Sensitivity= 0.98, Specificity= 0.53)	Yes
Yamamoto 2015 <sup>(4)</sup>	—	Evaluate the accuracy of Moiré topography tool as a screening tool.	Moiré topography had a high false-positive rate (66.7%), which did not improve with examiner experience.	No
Kuroki 2018 <sup>(2)</sup>	—	To make clear the both results and problems of SSS by Moiré topography(MT)	SSS by MT seemed to be effective in detecting scoliosis although both positive predictive value and the reference rate to the second screening were low.	Yes
Choi 2005 <sup>(3)</sup>	3D-surface topography (Koastron, IBS-2000, Korea)	To measure correlation between 3D-surface topography and Cobb's angle in scoliosis	3D surface topography and Cobb's angle was highly correlated.	Yes
Chowanska 2012 <sup>(6)</sup>	CQ Electric System (Poland) device	To assess the usefulness of Surface topography(ST) for scoliosis screening	Did not reveal the advantage of ST as a scoliosis screening method in comparison with the use of scoliometer.	No

*D.I.T.I* digital infrared thermographic image, *IR* infrared, *SSS* school scoliosis screening, *AIS* adolescent idiopathic scoliosis

Table 4. Methodological characteristics of included studies, summarizing equipments, study aims and conclusion (Continued)

Study	Equipments required	Aims/rationale	Conclusions	Authors' consensus (Yes / No)
Komeili 2014 <sup>(4)</sup>	Four VIVID 910 3D laser scanners (Konica Minolta Sensing Inc., Ramsey, NJ, USA), Polygon Editing Tool (PET version 2.21, Konica Minolta), Geomagic software (Geomagic Studio 12, Morrisville, NC, USA)	Introduces a 3D markerless analysis technique for assessing torso asymmetry in AIS and a system for classifying patients based on this technique.	Distinctive patterns of asymmetry were identified with very good to excellent reliability.	Yes
Pino-Almero 2017 <sup>(5)</sup>	Mobile white screen, projector, digital camera, computer with image recognition software designed in Matlab 7.9.0 (Matlab & Simulink Release 2009b. The Mathworks, Inc., Natick, MA, USA)	To study the correlation between asymmetry of back (measured by ST) and deformity of the spine (quantified by Cobb's angle)	ST cannot substitute for radiographs in the diagnosis of scoliosis but it can offer data that complement radiologic study.	No
Pino-Almero 2016 <sup>(7)</sup>	Mobile white screen, projector EPSON(3LCD projector model: EMP-835), digital camera CANON, computer(MacBook Pro) with the program developed in MATLAB 7.9.0	To study if ST would be useful in the follow-up of AIS patients	ST showed 90.32% agreement with radiographic method in follow-up of AIS patients.	Yes
L.Schulte 2008 <sup>(6)</sup>	Formetric system (Diers International, Wiesbaden, Germany)	To investigate the reliability and accuracy of raster stereography in comparison with radiography as the gold standard.	Rasterstereography accurately reflects the radiographically measured progression of scoliosis during the long-term follow-up, but these parameters are not directly comparable with the Cobb's angle.	Yes
Drzal-Grabiec 2014 <sup>(7)</sup>	Mora projection (MORA System 4th Generation)	To evaluate the compatibility of external measurements of parameters characterizing scoliosis using the photogrammetric method.	The photogrammetric method gives significant results in terms of parameters characterizing the position of the shoulder blades and shoulders, as well as pelvis rotation.	Yes

ST surface topography, AIS adolescent idiopathic scoliosis

**Table 4.** Methodological characteristics of included studies, summarizing equipments, study aims and conclusion (Continued)

Study	Equipments required	Aims/rationale	Conclusions	Authors' consensus (Yes / No)
Zhang 2017 <sup>(30)</sup>	Ultrasound scanner DP-50 (Mindray Ltd, China) with a MHz probe, electromagnetic spatial sensing device PATRIOT (Polhemus Ltd, USA), personal computer (Intel Xeon CPU E5-1620-v3, 3.5GHz with 8G RAM)	To analyze the correlation between the Cobb's SPA angle and spinous process angle (SPA) measured by ultrasound data	Cobb's SPA and Cobb's angle has high correlation especially for the curves with 2D deformity.	Yes
Wang 2015 <sup>(48)</sup>	3-D SonixTABLET, SonixGPS, C5-2/60 Convex transducer (Ultrasonix, Canada)	To evaluate validity and reliability of Ultrasound imaging compare to MRI	The ultrasound imaging is a reliable and valid measurement of spinal curvature in the coronal plane using Center of Laminae (COL) method.	Yes
Cheung 2015 <sup>(49)</sup>	Ultrasound scanner EUB-8500 (Hitachi Ltd., Tokyo, Japan), a computer with an Intel Core 2 Q6600 2.4-GHz processor and a video capture card NIIMAQPCI/PXI-1411 (National Instruments Corporation, Austin, TX, USA), a compact electromagnetic spatial sensing device MiniBird Model 130 (Ascension Technology Corporation, Burlington, VT, USA).	To assess the performance of newly developed freehand 3D ultrasound system.	Results suggested that the ultrasound volume projection imaging method can be a promising approach for the assessment of scoliosis.	Yes
Jiang 2019 <sup>(50)</sup>	A custom-designed liner 2-D ultrasound probe (width: 10 cm; frequency: 4-10 MHz), An electromagnetic spatial sensing device (driveBAY, Ascension Technology Corporation, Burlington, USA)	To develop a fast 3-D ultrasound projection imaging (FUPI) method for assessment of scoliosis.	The results indicate that the developed projection imaging method could greatly decrease the processing time while preserving the comparative image quality.	Yes
Zheng 2016 <sup>(51)</sup>	The Scolioscan system (Model SCN801, Telefield Medical Imaging Ltd, Hong Kong)	To test the reliability of spine deformity measurement of Scolioscan and its validity compared to the Cobb's angle from radiography in AIS patients.	Scolioscan is reliable for measuring coronal deformity for patients with AIS and appears promising in screening large numbers of patients, for progress monitoring, and evaluation of treatment outcomes.	Yes
Kang 2012 <sup>(29)</sup>	Sonoace 8000 (Medison Inc, South Korea)	To demonstrate the reliability of using diagnostic ultrasound imaging (USI) in the assessment of the thickness of the soft tissues of the interscapular region in AIS	USI could be a reliable method in evaluating the thickness of the soft tissues of the interscapular region which in turn could be a useful guide to the assessment of the effects of AIS.	Yes



Table 4. Methodological characteristics of included studies, summarizing equipments, study aims and conclusion (Continued)

Study	Equipments required	Aims/rationale	Conclusions	Authors' consensus (Yes / No)
Matmalas 2014 <sup>(52)</sup>	Digital Nikon D5100 (Nikon Corporation, Tokyo, Japan) camera	To determine the validity of digital photography as an evaluation method for shoulder balance (ShB) in patients with idiopathic scoliosis.	Digital clinical photography appears to be a reliable method for objective clinical measurement of ShB. The correlation between clinical and radiological balance is statistically significant although moderate/weak.	No
Aroeira 2011 <sup>(53)</sup>	A digital camera, Sony 7.1 megapixel (Sony, Manaus, Amazonas, Brazil), a Greika WT3750 (Greika, São Paulo, SP, Brazil) tripod, A Carci Smetograph (Carci, Americanópolis, SP, Brazil), CorelDraw13 software (CorelCorporation, Ottawa, Canada)	To develop a protocol for computerized photogrammetry for the quantification of scoliosis, and to mathematically relate this proposed method with the Cobb radiographic method.	The preliminary results presented demonstrate equivalence between the two methods. More studies are needed.	Yes
Saad 2009 <sup>(54)</sup>	Photographic camera positioning (Sony P200 7.2.mp; Sony, Tokyo, Japan)	The purpose of this study was to investigate the reliability and validity of photogrammetry in measuring the lateral spinal inclination angles.	Although the current study did not show the validity of photogrammetry as a measure of the lateral spinal curvature in scoliosis, high reliability coefficients were observed.	No
Kim 2014 <sup>(55)</sup>	The Smartstep™ pneumatic insole, The Smartstep™ software	To demonstrate that relationship between scoliosis and gait factor and foot weight bearing in ambulation.	In this study Influence of scoliosis was not found on the rate of stance phase and rate of swing phase and gait velocity. Fore foot weight bearing (P = 0.019) was significantly higher in the AIS group.	No
Cho 2018 <sup>(56)</sup>	IMU-based system (Human Track, Rbiotech Co., Ltd., Seoul, Korea) consisting of a gyroscope, accelerometer and magnetic sensor	This study discussed application of a machine learning approach for the automatic cognition of gait changes due to scoliosis using gait measures.	Study's results demonstrate considerable potential in applying SVMs in gait classification for medical applications. (Accuracy of SVM to recognize scoliosis group and control group : 90.5% ) (Accuracy of SVM to recognize scoliosis severity gait patterns : 81.0% )	Yes
Ovadia 2007 <sup>(57)</sup>	Ortelius800™ system (OrthoScan Technologies, Rosh Pina, Israel)	To investigate the clinical value of Ortelius800™	Found the novel clinical tool to be reliable for following mild and moderate idiopathic curves in both coronal and sagittal planes.	Yes
Kokabu 2019 <sup>(58)</sup>	Consumer-grade 3D depth sensor (Xtion Pro Live, ASUSTek Computer Inc. Taipei, Republic of China), a laptop computer (Core-i5, 7200U-4 GB HP pavilion-15-au105tu, HP Inc, California, USA)	To report the potential accuracy of newly developed, asymmetry-recognition system for the surface of the human back using a 3D depth sensor	This study demonstrates the outstanding ability of this new system for deciding whether additional radiography is needed to define scoliosis. This system can be an alternative to the forward bend test and scoliometer measurement in clinics. (Sensitivity: 0.97, Specificity: 0.93)	Yes

SVM support vector machine

은 현상이, 만성기에는 저온 현상이 나타나며, 근육의 경축이나 근막 통증 증후군의 경우는 병변 부위에 지엽적인 고온 현상을 보인다.<sup>22)</sup>

Bae 등의 연구에서 5례의 척추측만증 환자의 D.I.T.I 결과, 극돌기에 보이는 고온 현상이 측만을 형성하였다. 또한 측만의 볼록한 쪽 온도보다 오목한 쪽의 온도가 낮았으며, 좌우 온도차 ( $\Delta T$ )가 심한 곳은 최소 0.6°C 이상 낮게 나타났으나, 통계적 유의성 여부는 본 연구에서 검증되지 않았다. Yang 등의 연구에서는 척추측만증 환자의 D.I.T.I 상 6개의 혈자리 (肩井 (GB21), 肺俞 (BL13), 心俞 (BL15), 脾俞 (BL20), 腎俞 (BL23), 關元俞 (BL26))에서 좌우 온도차( $\Delta T$ )를 비교한 ANOVA 분석 결과, 心俞 (BL15)에서만 유의성이 확인되었다. 그러나 心俞 (BL15)에 대한 사후 검정 결과 Duncan test에서는 유의한 차이가 있었으나 Scheffe test에서는 유의성이 확인되지 않았다. Kwok 등의 연구에서도 척추측만증 환자의 좌우 체열 분포가 승모근, 광배근, 요방형근 부위에서 유의한 차이를 보였다.

적외선 체열 촬영은 검사 시에 통증이나 방사선 노출의 위험이 없는 검사법으로 안전하며 반복적으로 사용이 가능해 척추측만증의 경과 및 임상 양상을 손쉽게 평가할 수 있다. 또한, 환자에게 증상의 개선 정도와 현상태 등을 직접 컬러화된 영상으로 제시하여 환자 본인의 이해도를 높일 수 있다는 점에서 의미가 있다.<sup>23)</sup> 그러나 외부요인과 검사자의 숙련도가 쉽게 결과에 영향을 미치며 비정상과 정상을 판정하는 기준이 모호하다는 등의 단점이 있어 검사에 앞서 실행 조건을 명확히 할 필요성이 있다.<sup>24)</sup>

### 3. Surface Topography

체표면 영상분석 (Surface topography; ST)는 Moiré, ISIS (integrated shape investigation system)<sup>25)</sup>, Orthoscan<sup>26)</sup>, Rasterstereography 등의 다양한 테크닉을 사용하여 수행할 수 있는 외부의 신체 윤곽 평가에 기초한 체간의 3차원적 형태 측정 방법이다.

<sup>27)</sup> 피사체의 등에 여러 줄의 빛을 투영한 후 특정 소프트웨어 프로그램을 적용하여 3차원의 지형도를 얻어 형태학적 비대칭성을 평가할 수 있다.<sup>28)</sup>

Moiré를 활용한 3편의 연구 중 Sato 등의 연구는 특발성 척추측만증 환자 126명을 대상으로 Cobb's angle과의 비교를 통해 민감도 98%, 특이도 53%, 거짓양성율 47%, 평가자 간 신뢰도 73%, 평가자 내 신뢰도 70%로 높은 정확도와 신뢰도를 보고하였다. Yamamoto 등이 23년간 학교 척추측만증 선별검사로서 사용된 Moiré topography를 전향적으로 조사한 결과, 56.7-93.3%의 높은 거짓양성율을 보였으며 이는 측정자의 경험에 의해 개선되지 않았다. 이와 유사하게 33년간 Moiré topography의 척추측만증 선별검사로서의 유효성을 평가한 전향적 연구에서는 척추측만증의 선별에는 유용한 것으로 나타났으나 양성예측율과 2차 선별 검사의 참고율은 낮았다. 16명의 환자를 대상으로 한 장기간 추적연구에서 Rasterstereography는 방사선 촬영과 높은 상관관계 ( $R^2 \geq 0.5$ )를 보였으며 이는 측만증 환자의 follow-up에 있어 Rasterstereography가 측만의 진행상황을 안정적으로 반영함을 나타낸다. Choi 등의 연구에서 laser scan 방식의 3D surface topography 측정값이 Cobb's angle과 수평축 선상의 흉추비에서는 상관관계를 보이지 않았으나 전후축 선상에서 흉부, 경흉부, 흉요부, 요부 높이차와는 상관성이 높은 것으로 보고되었으며, 특히 흉부에서는 상관성이 가장 높게 나타났다 ( $r=0.768$ ,  $p<0.01$ ). 46명의 환자를 대상으로 한 ST scan 기반 조사에서는 양호한 관찰자 내 신뢰도 ( $k=0.85$ ), 중등도의 관찰자 간 신뢰도 ( $k=0.62$ )와 높은 검사-재검사 신뢰도 (1년, Kappa value: 0.70 - 0.92)를 보고하였다. Pino-Almero 등은 31명의 환자를 대상으로 6개월에서 1년간 ST로 척추측만증의 진행률을 평가해 환자의 79.96% (31명 중 22명)에서 2번째 방사선 촬영을 피하는 결과를 보고하였다. 88명의 척추측만증 환자를 대상으로 한 동일한 저자의 연구에서는 ST와 X-ray의 비교를 통한 타당

도 평가에서 측 방향의 비대칭성 평가 (horizontal plane deformity index; DHOPI)와 관상면 상 비대칭성 평가 (posterior trunk symmetry index; POSTI)의 높은 상관관계를 보였다. 척추 측만증 등급에 따른 분류에서도 DHOPI와 POSTI는 유의한 차이가 있었으나 종단면상 비대칭성 평가 (columnar profile; PC)는 통계적으로 유의하지 않았다. ( $F=2.77$ ,  $p=0.068$ ) Chowanska 등은 996명의 학생을 대상으로 ST가 학교선별검사로서 Scoliometer를 대체할 수 있는지의 여부를 조사하였다. 관찰자 내 오차는  $1.9^\circ$ , 관찰자 간 오차는  $0.8^\circ$ 며, 충분하지 않은 민감도와 특이도로 선별 절사값(cut-off value)를 설정할 수 없어 scolimeter의 대체에 적합하지 않았다.

#### 4. Ultrasound Imaging

초음파 검사는 방사선에 대한 노출 없이 실시간으로 간편하게 평가할 수 있는 저비용, 비침습적 검사로 근육 및 뼈의 길이, 두께, 면적 등을 정량적으로 측정한다.<sup>29,30)</sup> 초음파 영상은 횡돌기, 추궁판, 극돌기 등과 같은 척추의 여러 부분을 2차원적 (2D)으로 포착해 시각화 할 수 있어 척추 곡률의 평가 도구로 사용할 수 있다.<sup>31)</sup>

척추측만증의 평가 도구로 초음파를 이용한 연구로는 극돌기 각도 (spinous process angle; SPA) 평가, center of laminae (COL) 방법을 통한 평가, volume projection imaging (VPL) 방법을 통한 평가, 고속 3D 초음파 투영 영상 방법을 통한 평가, 어깨뼈 사이 연부조직의 두께 평가 등이 이루어졌다.

척추 모형을 이용한 Zhang 등의 연구에서는 초음파를 통해 측정된 극돌기 각도 (SPA)로 Cobb's angle을 예측할 수 있음을 시사하였고, Wang 등, Cheung 등의 연구에서는 모두 초음파 측정과 Cobb's angle 간의 높은 상관관계와 높은 신뢰도를 보고하였다. ( $r>0.9$   $p<0.05$ ,  $R^2>0.8$   $p<0.001$ ) Kang 등의 연구에서는 척추측만증에 수반되는 어깨 연부조직의 두께 변화를 초음파로 측정된 결과, 측정자내 신뢰도

는  $ICC=0.87\sim 0.96$ 로 높은 신뢰 수준을 나타내었으나 측정자간 신뢰도는  $ICC=0.58\sim 0.97$ 로 비교적 낮은 수준을 보였다. Zheng 등의 연구에서도 이와 유사하게 측정자내 신뢰도 ( $ICC>0.94$ )보다 낮은 수준의 측정자간 신뢰도 ( $ICC>0.88$ )를 보고하였는데 이는 초음파 검사의 단점으로 꼽을 수 있는 검사자의 숙련도 차이, 결과에 대한 판독의 차이 등에 의한 것으로 사료되며 초음파 측정의 경험 및 교육이 중요함을 시사한다.

#### 5. Photography

제간 사진의 촬영을 통해 척추측만증을 평가하는 방법으로 어깨의 균형을 이용한 연구, computerized photogrammetry를 활용한 연구, 측면 척추 기울기 각도 (lateral spinal inclination angle)를 이용한 연구 등이 보고되었다.

Matamalas 등의 연구에서 척추측만증에 수반되는 어깨불균형을 디지털 사진을 통해 분석한 결과 측정자 간 신뢰도와 측정자 내 신뢰도는 모두  $ICC>0.8$ 로 높은 신뢰 수준을 보여주었으나, 방사선학적 평가방법과의 상관관계는  $0.37<r<0.51$ 로 약한 통계학적 유의성을 나타내었다. Aroeira 등은 척추측만증 환자 16명을 대상으로 척추 측진을 통해 C7 - L5에 마킹한 뒤 사진 촬영을 통해 측만각을 컴퓨터로 분석하였다. 방사선학적 방법을 통해 얻은 Cobb's angle과의 평균 차이는  $4.1^\circ$ 였으며 흉추부와 요추부에서 평가의 일치도 Kappa 지수는 각각 0.92, 0.82였다. Saad 등의 연구에서는 척추측만증 환자 40명의 배부 사진을 통해 측만각을 측정하고 신뢰도와 타당도를 평가하였다.  $ICC>0.8$ 로 측정자내, 측정자간 신뢰도 모두 높은 신뢰수준을 보여주었으나 사진 측정법과 방사선학적 평가 사이에 선형 관계는 관찰되지 않아 타당도가 검증되지 않았다.

#### 6. 기타

위의 평가척도들 외에도 척추측만증의 평가에 보

행 분석, 저강도 전자파 스캔, 3D 깊이 센서 등을 이용한 연구들이 보고되었다.

웨어러블한 관성 측정 장치 (inertial measurement units; IMU)와 컴퓨터 머신 러닝을 활용한 Cho 등의 연구에서는 정상 보행과 척추측만증 보행 패턴을 분류하였다. 18명의 대조군과 24명의 척추측만증 환자를 대상으로 보행 패턴을 추출해 교차 검증 테스트를 실시하였을 때 척추측만증 그룹과 정상 그룹의 구별은 90.5%의 정확도를, 척추측만증의 중증도 인식은 81.0%의 정확도를 보였다. Kim 등의 연구에서는 척추측만증 환자들과 대조군이 센서가 내장된 SMARTSTEP™을 발목 주위에 착용 후 보행하여 보행 속도, 체중 지지 분포 등 척추 기형이 보행에 미치는 영향을 분석하였다. 앞발의 체중 분포가 척추측만증 환자들에게서 유의하게 높았으나, 보행 단계 및 보행 속도에 있어서 척추측만증의 영향은 발견되지 않았다. Ovadia 등의 연구에서 활용한 저강도 전자파 스캔기기 Ortelius800™은 X-ray 촬영을 통해 얻은 Cobb's angle과 관상면에서는 ± 5° 이하, 시상면에서는 ± 6° 이하의 차이를 보여 두 방법 간의 유의한 상관성을 보여주었다. Kokabu 등은 3D 깊이 센서를 통한 비대칭 인식 시스템이 Cobb's angle 10° 이상에서 민감도 97%, 특이도 93%, 정확도 97%의 뛰어난 척추측만증 선별 능력을 보임을 보고하였다.

## 고찰

척추측만증은 흔하게 접할 수 있는 척추 질환 중 하나로 건강보험심사평가원의 통계에 따르면 2019년에 척추측만증으로 진단받은 환자는 9만 4천여명이며, 그 중 10대 환자가 약 43%로 가장 높은 비율을 차지한 것으로 나타났다. 청소년기는 일반적으로 골격이 미성숙하며 측만의 진행에 대한 위험이 높으므로 측만의 조기진단과 진행상황의 평가는 임상적으로 중요하다.<sup>32)</sup> 이러한 척추측만증의 진단과 평가에는 X-ray 촬영을 통한 Cobb's angle이 golden standard

로 가장 널리 사용되고 있으나<sup>3)</sup> 반복된 방사선 노출을 포함한 몇가지 문제가 보고되었다. 척추 측만증 환자는 일반적으로 평균 25회의 척추 방사선 촬영을 거치며, 이 기간 동안 상대적으로 높은 양의 전리방사선에 노출된다<sup>4)</sup>.(평균 10.8cGy) Doody 등<sup>4)</sup>의 연구에 따르면 다중 방사선 검사에 노출된 척추측만증 여성의 유방암 위험이 증가하였으며, 유방암으로 인한 사망 위험은 일반 인구의 2배 이상이었다. Goldberg 등<sup>5)</sup>은 척추측만증 여성의 난소 방사선 피폭은 미래의 생식 결과에 악영향을 미친다고 보고하였으며, Schmitz 등<sup>6)</sup>의 연구에서는 소아기의 방사선 진단이 백혈병과 전립선암에 크게 기여하는 것으로 나타났다.

이 외에도 Cobb's angle은 측정자 내, 측정자 간 판독 편차를 보이며, 이는 각각 최대 3-5°와 6-9°인 것으로 보고되었다.<sup>2,9,10)</sup> 임상에서 측만의 진행은 Cobb's angle에서 5° 이상의 증가가 발견될 때 진단되므로 측정자 간의 이러한 편차는 척추 측만증의 장기 모니터링에 있어 평가의 신뢰성과 효율성을 저하시킬 수 있다. 또한 Cobb's angle은 2차원 평면 상에서 도출되어지는 값으로 척추의 3차원적 변형에 대한 정보를 제공하지 못한다.<sup>8)</sup>

현재, 한의사는 직접 X-ray나 MRI 등의 의료영상 장비를 활용할 수 없고, 의원 또는 종합병원과 같은 의료기관에 의뢰하거나 의료법에 따라 한방병원에서 양방 진료과목을 추가로 개설하여 협진을 통해 의료 영상장비 등을 활용하는 상황으로,<sup>11)</sup> 한의사의 척추측만증 치료에 있어 빠른 진단과 피드백이 어려운 실정이다. 이러한 이유들로 한의사를 포함한 임상인들이 사용하는데 제한이 없고 비침습적이며 방사선 노출이 없는 척추측만증 평가 도구에 대한 필요성이 지속적으로 대두되어져왔다.

지금까지의 관련 연구를 살펴보면, 시상면상 척추의 균형을 평가하기 위한 비방사선 평가척도에 대한 체계적 문헌 고찰 연구가 발표된 바 있다.<sup>33)</sup> 그러나 이 연구는 시상 균형을 측정할 수 있는 6개의 비방

사선적 평가 방법들의 신뢰도 및 타당도 평가가 주를 이루고 있어 3차원적 기형이 특징인 척추측만증을 온전하게 평가하였다고 볼 수 없으며, 현재 척추측만증 평가척도의 특성과 타당성을 종합적으로 살펴본 연구는 부족하다고 볼 수 있다.

이에 본 연구는 척추측만증 환자에게 적용할 수 있는 비방사선적 평가 도구의 연구 근황과 특성을 분석하기 위해 문헌 고찰 연구를 수행하였다. 문헌 검색 및 선정 결과 국외 논문 총 32편을 최종 분석하였으며, 여기서 Surface topography, Scoliometer, Ultrasound, 적외선 체열 촬영, Photography, Gait parameter 등의 평가 도구가 도출되었다.

Surface topography는 3차원적으로 비대칭성을 평가할 수 있는 도구이나 고가의 장비와 전문적인 조작 및 평가 기술을 요한다는 단점이 있으며, 선별검사로서 유효성이 검증되지 않다는 연구 결과가 보고된 바 있다. 초음파는 실시간으로 간편하게 척추의 곡률을 평가할 수 있는 도구로 양호한 타당도와 측정자 내 신뢰도를 보여주었으나 몇몇 연구에서 비교적 낮은 수준의 측정자 간 신뢰도를 보여주었다. 이는 검사자의 숙련도와 판독의 차이 등에서 기인한 것으로 사료된다. 척추측만증 환자들에서 적외선 체열 촬영 결과, 좌우온도차가 관찰되었으나 포함된 3개의 연구가 각각 5명, 56명, 14명을 환자를 대상으로 하여 표본이 충분히 크지 않았으며 신뢰도와 타당도 또한 보고되지 않아 유효성을 검증할 수 없었다. Photography는 체부의 사진 촬영을 통해 척추측만증을 평가하는 방법으로 어깨 균형을 이용한 연구에서는 방사선학적 평가방법과 유의미한 상관관계가 없었으며, 측면 척추 기울기 각도를 이용한 연구에서도 방사선학적 평가방법과 선형관계는 관찰되지 않았다. Scoliometer는 저렴하고 짧은 시간 내에 간단하게 측정할 수 있으면서도 신뢰성과 타당성이 여러 차례 검증된 척도로 본 고찰에서 다룬 6편의 연구에서 모두 양호한 타당도와 신뢰도가 보고되었다. 특히 스마트폰 등의 모바일 장치에 내장된 각도기를 활용

한 앱 등도 활발히 개발되고 있어 임상에서 활용도가 높을 것으로 기대된다. 이 외에도 척추측만증에 수반되는 비정상적 보행을 분석하는 보행 척도, 저장도 전자파 스캔, 3D 깊이 센서 등의 평가 척도에 대한 연구가 이루어졌다.

위와 같은 비방사선학적 평가 도구들은 한의사를 포함한 임상인들이 제한 없이 접근할 수 있을 뿐 아니라, 측만의 진행 및 예후 평가에 활용함으로써 주기적인 방사선 촬영의 횟수를 줄이고 Cobb's angle을 보완하는 보완책으로서의 역할을 기대할 수 있다. 하지만 아직은 충분하지 않은 통계적 검증 및 검사자의 경험에 대한 높은 의존성 등이 단점으로 판단된다. 이에 임상적 활용도를 높이기 위한 지속적이고 추가적인 연구 및 시도가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 비방사선적 척추측만증 평가 척도를 체계적으로 고찰함에 있어 몇 가지의 제한점이 있다. 첫째, 본 연구는 평가 척도의 연구 동향을 파악하고 새로운 진단 도구에 대한 최신지견을 얻기 위해 2000년 이후에 발표된 논문만을 포함하였다. 둘째, 국내외의 데이터베이스를 사용하여 한국어, 영어, 중국어로 된 문헌만을 선택적으로 선정하였다. 셋째, 본 연구는 논문의 검색 및 선정 과정에 소수의 연구자가 참가하였으며 검색기간이 짧아 보편성을 획득하지 못했을 가능성이 있다. 넷째, 신뢰도나 타당도가 보고되지 않은 연구들이 있었으며 같은 평가 척도를 사용하였다 하더라도 연구마다 신뢰도와 타당도의 범위가 넓어 각 척도별로 명확히 통합된 결론을 제시하는데 한계가 있었다. 다섯째, 본 연구에 포함된 연구들의 질 평가가 이루어 지지 않았다. 따라서 향후 연구에서는 이와 같은 점들을 보완하여 비틀림 위험 평가, 연구의 질 평가와 메타분석등을 포함한 보다 체계적이고 객관적인 문헌 고찰이 필요할 것으로 사료된다.

위와 같은 제한점들에도 불구하고 본 연구는 국내외에서 현재까지 연구된 비방사선학적 척추측만증 평가척도들의 현황과 특성을 파악하고, 타당도 및 신

뢰도를 통해 각 평가 도구의 질이 양호한지를 확인하였다. 이를 통해 한의사를 비롯한 의료인들이 향후 임상 및 연구에서 방사선학적 방법의 대안으로 척추측만증의 진단과 평가에 활용할 수 있는 평가 도구들을 제시하였다는 점에서 본 연구의 의의가 있다.

### 결론

현재 척추측만증의 진단에 가장 널리 사용되고 있는 Cobb's angle은 방사선 촬영을 필요로 하기 때문에 방사선 노출에 대한 환자의 거부감이 있을 수 있고, 측정자에 따른 편차 등이 보고된 바 있다. 따라서 본 연구는 비방사선 평가 척도를 사용한 연구들을 검색하여 정리, 분석하였으며 이를 통해 Surface topography, Scoliometer, 적외선 체열 촬영, Ultrasound 등의 도구들이 방사선 촬영의 횟수를 줄이고 Cobb's angle을 보완할 수 있는 가능성을 살펴 보았다. 하지만 본 연구에 포함된 연구들의 신뢰도와 타당도의 범위가 넓으며 대규모 임상 연구가 아직은 매우 적어 추후 연구를 통해 척추측만증 평가 도구들에 대한 보다 면밀하고 체계적인 후속 임상 연구가 이루어져야 할 것이다.

### Acknowledgement

본 연구는 보건복지부의 재원으로 한국보건산업진흥원의 보건의료기술 연구개발사업 지원에 의하여 이루어진 것임(HF20C0210)

### 참고문헌

1. Hresko MT, Idiopathic scoliosis in adolescents. *New England Journal of Medicine*, 2013;368(9): 834-41.
2. Bunnell WP, The natural history of idiopathic scoliosis before skeletal maturity. *Spine*,

- 1986;11(8):773-6.
3. Cobb J, Outline for the study of scoliosis. *Instr Course Lect AAOS*, 1948;5:261-75.
4. Doody MM, Lonstein JE, Stovall M, Hacker DG, Luckyanov N, Land CE, Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. Scoliosis Cohort Study. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2000;25(16):2052-63.
5. Goldberg MS, Mayo NE, Levy AR, Scott SC, Poitras B, Adverse reproductive outcomes among women exposed to low levels of ionizing radiation from diagnostic radiography for adolescent idiopathic scoliosis. *Epidemiology*, 1998:271-8.
6. Schmitz-Feuerhake I, Pflugbeil S, 'Lifestyle' and cancer rates in former East and West Germany: the possible contribution of diagnostic radiation exposures. *Radiation protection dosimetry*, 2011;147(1-2):310-3.
7. Legaye J, Follow-up of the sagittal spine by optical technique. *Annals of physical and rehabilitation medicine*, 2012;55(2):76-92.
8. Mínguez MF, Buendía M, Cibrián RM, Salvador R, Laguía M, Martín A, et al., Quantifier variables of the back surface deformity obtained with a noninvasive structured light method: evaluation of their usefulness in idiopathic scoliosis diagnosis. *European Spine Journal*, 2007;16(1):73-82.
9. Pruijs J, Hageman M, Keessen W, Van Der Meer R, Van Wieringen J, Variation in Cobb angle measurements in scoliosis. *Skeletal radiology*, 1994;23(7):517-20.
10. Carman D, Browne R, Birch J, Measurement of scoliosis and kyphosis radiographs. Intraobserver and interobserver variation. *The*

- Journal of bone and joint surgery. American volume, 1990;72(3):328-33.
11. Jae-Ho Choi G-BK, Sang-Hyun Kim, Gyoo-Hyung Kim, Mi-Hwa Lee, Jung-Seong Ahn, Seong-wan Hong, Jae-Seok Lee, Ick-Su Kwon, The Study on the Perceptions of Radiological Technologist in Medical Imaging Equipment Used by the Oriental Doctor. 2017;40(1):109-20.
  12. Bunnell WP, An objective criterion for scoliosis screening. J Bone Joint Surg Am, 1984;66(9): 1381-7.
  13. Dangerfield P, Denton J, Barnes S, Drake N. The assessment of rib-cage and spinal deformity in scoliosis. in Proceedings of the 4th International Symposium on Moiré Fringe Topography and Spinal Deformity, Oxford. Gustav Fischer Verlag. 1987.
  14. Amendt LE, Ause-Ellias KL, Eybers JL, Wadsworth CT, Nielsen DH, Weinstein SL, Validity and reliability testing of the Scoliometer. Phys Ther, 1990;70(2):108-17.
  15. Upadhyay SS, Burwell RG, Webb JK, Hump changes on forward flexion of the lumbar spine in patients with idiopathic scoliosis. A study using ISIS and the Scoliometer in two standard positions. Spine (Phila Pa 1976), 1988;13(2):146-51.
  16. Murrell GA, Coonrad RW, Moorman CT, 3rd, Fitch RD, An assessment of the reliability of the Scoliometer. Spine (Phila Pa 1976), 1993; 18(6):709-12.
  17. Grivas TB, Vasiliadis ES, Mihas C, Triantafyllopoulos G, Kaspiris A, Trunk asymmetry in juveniles. Scoliosis, 2008;3:13.
  18. Kotwicki T, Chowańska J, Kinel E, Lorkowska M, Stryła W, Szulc A, Sitting forward bending position versus standing position for studying the back shape in scoliotic children. Scoliosis, 2007;2(1):S34.
  19. YC Choi CL, KR Kwon, Standardization Study of Thermal Imaging using the Acupoints in Human Body Journal of pharmacopuncture, 2008;11(3):113-22.
  20. Haddad DS, Brioschi ML, Arita ES, Thermographic and clinical correlation of myofascial trigger points in the masticatory muscles. Dentomaxillofac Radiol, 2012;41(8): 621-9.
  21. Yang TJ, Jeong SJ, Kwak MK, Jang YJ, Hyun MK, Yoon TK, et al., A Clinical Study on Adolescent Idiopathic Scoliosis using DITI. The Acupuncture, 2016;33(4):7-14.
  22. Kwon GR KH, The standardization study for the oriental clinical application of infrared body-heat measurement image I. The Acupuncture, 1996;13(2):1-22.
  23. Bae Eun-jung SJ-c, Lim Sung-chul, Han Sang-won, A Clinical Study on Diahnosis of the patients with Scoliosis by D.I.T.I. The Journal of Korean Acupuncture & Moxibustion Society, 2004;21(1):51-8.
  24. Kim JM, Clinical Application of Infrared Thermography. The Society of Korean Medicine Diagnosis, 2000;4(1):32-42.
  25. Weisz I, Jefferson RJ, Turner-Smith AR, Houghton GR, Harris JD, ISIS scanning: a useful assessment technique in the management of scoliosis. Spine (Phila Pa 1976), 1988;13(4): 405-8.
  26. Knott P, Mardjetko S, Nance D, Dunn M, Electromagnetic topographical technique of

- curve evaluation for adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2006;31(24): E911-5; discussion E6.
27. Chowanska J, Kotwicki T, Rosadzinski K, Sliwinski Z, School screening for scoliosis: can surface topography replace examination with scoliometer? *Scoliosis*, 2012;7(1):9.
28. Pino-Almero L, Mínguez-Rey MF, Sentamans-Segarra S, Salvador-Palmer MR, de Anda RMC-O, Quantification of topographic changes in the surface of back of young patients monitored for idiopathic scoliosis: correlation with radiographic variables. *Journal of biomedical optics*, 2016;21(11):116001.
29. Factor D, Perlas A, Ultrasound-assisted lumbar plexus block in a patient with scoliosis. *Reg Anesth Pain Med*, 2010;35(6):568-9.
30. Hyo-Jeong K, Wan-Hee KS-YL, Reliability of Ultrasound Imaging of the Thickness of the Soft Tissues of the Interscapular Region in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Special Education & Rehabilitation Science Research Center*, 2012;51(4):177-88.
31. Zhang J, Li H, Yu B. Correlation between Cobb Angle and Spinous Process Angle Measured from Ultrasound Data. in *Proceedings of the 2017 4th International Conference on Biomedical and Bioinformatics Engineering*. 2017.
32. Thomsen M, Abel R, Imaging in scoliosis from the orthopaedic surgeon's point of view. *Eur J Radiol*, 2006;58(1):41-7.
33. Cohen L, Kobayashi S, Simic M, Dennis S, Refshauge K, Pappas E, Non-radiographic methods of measuring global sagittal balance: a systematic review. *Scoliosis Spinal Disord*, 2017;12:30.

#### ORCID

- 김동주 <https://orcid.org/0000-0001-8346-6495>  
최성경 <https://orcid.org/0000-0001-7611-4360>  
조효림 <https://orcid.org/0000-0002-8378-3957>  
하유빈 <https://orcid.org/0000-0003-0010-4726>  
최성환 <https://orcid.org/0000-0001-6188-3159>  
박서현 <https://orcid.org/0000-0002-2324-3553>  
이승덕 <https://orcid.org/0000-0003-3348-9626>  
성원석 <https://orcid.org/0000-0003-0585-9693>  
김은정 <https://orcid.org/0000-0002-4547-9305>