

青少年脊柱畸形的影像学分析与临床应用

陈庆华

义乌市中心医院放射科, 浙江 义乌

收稿日期: 2025年4月6日; 录用日期: 2025年4月28日; 发布日期: 2025年5月7日

摘要

青少年脊柱畸形是影响青少年生长发育的重要疾病, 其早期诊断与干预对于提高生活质量至关重要。近年来, 随着影像学技术的不断进步, 计算机断层扫描(CT)和磁共振成像(MRI)在脊柱畸形的早期检测和评估中扮演了越来越重要的角色。现有研究显示, CT和MRI不仅能够清晰展示脊柱的解剖结构变化, 还能有效评估畸形的严重程度及其对周围组织的影响。然而, 尽管影像学技术在青少年脊柱畸形的诊断中取得了一定的进展, 仍然存在许多挑战, 如影像学评估标准的缺乏、不同影像学技术的应用适应性以及临床转化的不足等。因此, 本综述旨在系统分析青少年脊柱畸形的影像学特征及其诊断方法, 探讨相关影像学技术在临床实践中的应用现状与前景, 以为临床医生提供有价值的参考。

关键词

青少年, 脊柱畸形, 影像学, CT, MRI

Imaging Analysis and Clinical Application of Spinal Deformities in Adolescents

Qinghua Chen

Department of Radiology, Yiwu Central Hospital, Yiwu Zhejiang

Received: Apr. 6th, 2025; accepted: Apr. 28th, 2025; published: May 7th, 2025

Abstract

Adolescent spinal deformity is an important disease that affects the growth and development of adolescents. Its early diagnosis and intervention are crucial to improve the quality of life. In recent years, with the continuous advancement of imaging technology, computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) have played an increasingly important role in the early detection and evaluation of spinal deformities. Existing studies show that CT and MRI can not only clearly show the anatomical changes of the spine, but also effectively evaluate the severity of the deformity

and its impact on surrounding tissues. However, although imaging technology has made some progress in the diagnosis of spinal deformities in adolescents, many challenges still exist, such as the lack of imaging evaluation standards, the adaptability of application of different imaging technologies, and the inadequate clinical transformation. Therefore, this review aims to systematically analyze the imaging characteristics and diagnostic methods of spinal deformities in adolescents, and explore the current status and prospects of relevant imaging technologies in clinical practice, in order to provide clinicians with valuable reference.

Keywords

Adolescents, Spinal Deformities, Imaging, CT, MRI

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

脊柱畸形是青少年中常见的脊柱问题,主要包括脊柱侧弯(如青少年特发性脊柱侧弯, AIS)和后凸(如 Scheuermann, 后凸)。这些畸形不仅影响青少年的身体健康,还可能对其心理和社交生活造成负面影响。因此,了解脊柱畸形的成因、表现和治疗方法至关重要。根据文献,脊柱畸形的发生与多种因素相关,包括遗传、环境、姿势等[1] [2]。

随着社会的进步和医学影像技术的发展,影像学在脊柱畸形的诊断和监测中扮演着越来越重要的角色。影像学检查能够提供脊柱的详细结构信息,帮助医生评估畸形的严重程度和发展趋势。传统的 X 射线检查仍然是评估脊柱畸形的金标准,但新兴的影像学技术如 3D 成像、MRI 和计算机辅助分析等,正在逐步应用于临床,提供更为准确的诊断工具[3] [4]。

及时而准确的诊断对于脊柱畸形的治疗和防止病情恶化至关重要。研究表明,早期干预可以有效减缓或停止畸形的进展,特别是在青少年生长发育的关键时期。对于特定人群,如有家族史的青少年,定期筛查和监测显得尤为重要[1]。然而,针对健康青少年的筛查仍存在争议,尽管有证据表明,针对高风险人群的筛查应当被重视[2]。

在治疗方面,脊柱畸形的管理通常包括保守治疗和手术治疗。对于轻度畸形的患者,物理治疗和支具治疗是常见的非手术干预方法,可以有效改善患者的生活质量和功能状态[5] [6]。而对于严重的脊柱畸形,手术治疗可能是必要的选择,尤其是在保守治疗效果不佳的情况下。手术的目标是恢复脊柱的正常生理曲度,改善功能,并减轻疼痛[7] [8]。

总之,青少年脊柱畸形的影像学分析与临床应用是一个多学科交叉的领域,涉及到影像学、遗传学、物理治疗及外科治疗等多个方面。未来的研究应当继续探索新的影像学技术和治疗方法,以期为青少年脊柱畸形的管理提供更为有效的解决方案。

2. 主体

2.1 青少年脊柱畸形的基本类型

2.1.1 脊柱侧弯

青少年脊柱畸形中,脊柱侧弯(Adolescent Idiopathic Scoliosis, AIS)是最常见的一种类型,通常在青春

期开始显现,尤其是在快速生长的阶段。根据研究,AIS的病因尚不明确,但有多种因素被认为可能影响其发展,包括遗传、环境因素及生物力学因素等[9]。AIS的特征是脊柱在侧面呈现出“S”形曲线,通常伴随有脊椎的旋转变形,导致胸部和腰部的不对称[10]。

脊柱侧弯的诊断通常依赖于临床检查和影像学评估,Cobb角度是评估脊柱侧弯严重程度的标准指标。Cobb角度超过10度即可被诊断为脊柱侧弯,通常在20度以上的病例需要进一步的治疗干预。治疗方法包括观察、物理治疗、支具治疗及手术治疗等,具体选择依据脊柱侧弯的角度、患者的生长潜力及临床症状等因素决定[5][11]。

近年来,针对AIS的非手术治疗方法逐渐得到重视,包括Schroth疗法、SEAS (Scientific Exercise Approach to Scoliosis)等,这些方法通过特定的运动来改善脊柱的对称性和功能,已显示出良好的短期效果[3]。然而,仍需更多的随机对照试验来验证这些治疗方法的长期效果和安全性。

2.1.2. 先天性脊柱畸形

先天性脊柱畸形是指在胚胎发育期间,由于遗传或环境因素导致的脊柱结构异常。这类畸形通常在出生时就可被发现,或在儿童生长发育过程中逐渐显现。根据发育的不同阶段,先天性脊柱畸形可以分为多种类型,包括半椎体、椎体缺失、脊柱融合等[12][13]。

先天性脊柱畸形的临床表现多样,可能包括脊柱侧弯、后凸或前凸等,且常常伴随其他系统的异常,如肾脏、心血管等[14]。影像学检查是诊断先天性脊柱畸形的重要手段,通常使用X线、CT或MRI来评估脊柱的结构异常及其对周围组织的影响。

治疗方案通常依据畸形的类型和严重程度而定。对于轻度畸形,可能仅需定期随访;而对于严重的脊柱畸形,尤其是伴随神经功能受损的病例,可能需要手术干预以纠正畸形并减轻症状[15]。近年来,随着手术技术的进步,先天性脊柱畸形的治疗效果也有了显著提高,尤其是在早期干预的情况下,能够有效改善患者的生活质量[16]。

2.1.3. 病理性脊柱畸形

病理性脊柱畸形通常是由于其他疾病或病理状态引起的脊柱变形,包括肿瘤、感染、代谢性疾病等。这类畸形的发生往往与脊柱的结构和功能密切相关,且可能导致严重的临床后果,如疼痛、功能障碍及生活质量下降[17]。

例如,脊柱肿瘤的存在可以直接导致脊柱的变形,或通过压迫周围神经结构引起疼痛和功能障碍。治疗病理性脊柱畸形的关键在于首先控制原发病灶,通常需要进行手术切除肿瘤或感染灶,并结合脊柱的稳定性修复[18]。在某些情况下,可能需要进行脊柱融合手术,以恢复脊柱的稳定性并防止进一步的畸形发展。

此外,代谢性疾病如骨质疏松症也可能导致脊柱的病理性变形,尤其是在老年患者中更为常见。针对这类患者的治疗通常包括药物治疗、物理治疗及必要的手术干预,以改善骨密度和脊柱的稳定性[19]。在临床实践中,早期识别和干预病理性脊柱畸形是提高患者预后和生活质量的关键。

2.2. 影像学技术概述

2.2.1. X光成像

X光成像是诊断青少年脊柱畸形的重要工具,尤其是在初步筛查和评估脊柱结构方面。X光能够提供脊柱的二维图像,帮助医生识别脊柱的弯曲度和畸形程度。根据一项研究,使用X光进行脊柱畸形的评估时,能够有效地检测到青少年特发性脊柱侧弯(AIS)和舍曼氏脊柱后凸(SK)等常见畸形。这些畸形的早期发现对于及时干预和治疗至关重要。X光成像的优点在于其成本低、操作简单且快速,但其缺点是

无法提供脊柱的三维信息，且对软组织的显示能力有限。此外，X 光成像可能会受到辐射剂量的影响，因此在青少年患者中应谨慎使用，尤其是在需要多次成像的情况下[1]。

2.2.2. CT 扫描

计算机断层扫描(CT)是一种更为先进的影像学技术，能够提供脊柱的横截面图像，帮助医生更准确地评估脊柱的解剖结构和畸形。CT 扫描在青少年脊柱畸形的诊断中具有重要价值，尤其是在复杂病例中。CT 能够清晰显示骨骼结构及其相互关系，提供更为详细的信息，有助于制定个体化的治疗方案。研究表明，CT 扫描在评估脊柱侧弯的严重程度和确定手术指征方面具有较高的敏感性和特异性。尽管 CT 扫描的辐射剂量高于 X 光成像，但其在影像质量和诊断准确性上的优势使其在某些情况下成为首选。此外，随着技术的进步，低剂量 CT 扫描的应用逐渐增多，这有助于降低辐射风险，同时保持影像质量[2] [20]。

2.2.3. MRI 成像

磁共振成像(MRI)是评估青少年脊柱畸形的另一种重要影像学技术。MRI 具有无辐射的优势，能够提供脊柱及其周围软组织的高分辨率图像，尤其在评估脊柱的软组织结构、神经根受压和椎间盘病变等方面表现出色。MRI 能够清晰显示脊柱的三维结构，有助于医生全面了解脊柱的解剖情况。研究表明，MRI 在评估青少年特发性脊柱侧弯患者的软组织变化和脊柱稳定性方面具有重要意义。此外，MRI 还可以通过不同的成像序列(如 T1 加权、T2 加权)提供多种对比度的信息，从而帮助医生更好地制定治疗方案。尽管 MRI 的检查时间相对较长，但其优越的成像能力和无辐射特性使其在青少年脊柱畸形的诊断中越来越受到重视[7] [8]。

2.3. 青少年脊柱畸形影像学特征分析

2.3.1. 影像学诊断标准

青少年脊柱畸形的影像学诊断标准主要依赖于 X 线、MRI 和 CT 等影像学技术。X 线影像是最常用的初步筛查工具，尤其是用于评估脊柱的侧弯程度，通常使用 Cobb 角来量化脊柱的弯曲度。Cobb 角的测量是通过在 X 线影像上标记脊柱的最上和最下椎体的边缘线来完成的，标准的诊断是当 Cobb 角大于 10 度时，可以诊断为脊柱侧弯[9]。此外，MRI 和 CT 影像能够提供更详细的脊柱结构信息，帮助评估脊柱的解剖结构、椎间盘状况及周围软组织的变化。这些影像学评估标准为临床医生提供了重要的参考依据，以便于制定个体化的治疗方案。

2.3.2. 影像学表现的差异

青少年脊柱畸形的影像学表现可能因个体差异而异，尤其是在不同类型的脊柱畸形中，例如特发性脊柱侧弯(AIS)和 Scheuermann 病。AIS 患者通常在影像学上表现出脊柱的三维变形，伴随有椎体的旋转和侧弯，而 Scheuermann 病则表现为椎体的楔形变形和前凸畸形[10]。影像学研究表明，AIS 患者的脊柱在侧面 X 线影像中可能会显示出正常的生理曲度被打破，形成不对称的脊柱曲线，而 Scheuermann 病则可能在 MRI 中显示出椎间盘的退变和椎体的边缘骨赘形成[13]。这些影像学表现的差异不仅有助于诊断，也对治疗方案的选择具有重要影响。

2.3.3. 评估与监测指标

在青少年脊柱畸形的评估与监测中，影像学指标的选择至关重要。除了 Cobb 角外，椎体的旋转角度、脊柱的矢状面和冠状面平衡、椎间盘的高度变化等都是重要的监测指标[5]。此外，影像学监测还应考虑到患者的临床症状和功能状态，例如疼痛评分、活动能力等，这些都可以通过综合评估工具进行量化。研究表明，定期进行影像学检查可以有效监测脊柱畸形的进展情况，并为临床决策提供依据[11]。通过建立全面的评估与监测体系，可以更好地为青少年脊柱畸形患者提供个体化的管理方案，优化治疗效果。

2.4. 影像学在临床中的应用

2.4.1. 早期诊断的意义

影像学在青少年脊柱畸形的早期诊断中起着至关重要的作用。青少年特发性脊柱侧弯(AIS)是最常见的脊柱畸形,通常在青春期开始时出现,且其病因尚不明确。早期诊断能够显著提高治疗的有效性,减少潜在的并发症,从而改善患者的生活质量。根据一项研究,早期介入治疗能够有效减缓脊柱畸形的进展,并降低手术干预的必要性[9]。影像学检查,如X线、MRI和CT扫描,能够帮助医生准确评估脊柱的弯曲程度和畸形类型,为临床决策提供依据。此外,影像学还可以帮助识别与脊柱畸形相关的其他病理变化,如椎间盘退变和脊髓压迫等[12]。因此,影像学在青少年脊柱畸形的早期诊断中不仅可以提供重要的病理信息,还能指导后续的治疗方案。

2.4.2. 治疗方案的制定

影像学在青少年脊柱畸形的治疗方案制定中同样至关重要。通过对影像学数据的分析,医生可以更好地理解脊柱的三维结构和畸形程度,从而制定个性化的治疗方案。例如,影像学评估可以帮助医生选择合适的手术方法和手术范围,确保在纠正脊柱畸形的同时,尽量减少对周围组织的损伤[16]。此外,影像学还可以用于评估非手术治疗的效果,如物理治疗和支具治疗。根据影像学结果,医生可以调整治疗计划,以适应患者的具体情况,从而提高治疗的有效性[11]。

2.4.3. 随访管理与效果评估

在青少年脊柱畸形的管理中,随访和效果评估同样依赖于影像学技术。定期的影像学检查能够帮助医生监测脊柱的变化,评估治疗的效果,并及时发现可能的并发症。研究表明,定期影像学随访能够有效识别脊柱畸形的进展,帮助医生及时调整治疗方案,以确保最佳的治疗效果[13]。例如,影像学可以用于评估手术后的脊柱稳定性和功能恢复情况,帮助医生判断是否需要进一步的干预。此外,影像学还可以用于评估患者的生活质量,了解治疗对患者日常生活的影响,从而为未来的治疗提供参考依据[14]。因此,影像学在青少年脊柱畸形的随访管理和效果评估中发挥着不可或缺的作用。

2.5. 最新研究进展

2.5.1. 新兴影像技术的应用

近年来,影像学技术在青少年脊柱畸形(如青少年特发性脊柱侧弯,AIS)的诊断和治疗中取得了显著进展。新兴的影像技术,如低剂量立体摄影(EOS系统)和三维成像技术,能够提供更为精确的脊柱结构评估,帮助医生更好地理解脊柱的三维变形特征[16]。例如,EOS系统以其低辐射量和高分辨率的优势,能够在不增加患者辐射风险的情况下,提供全面的脊柱影像数据,这对于早期诊断和干预具有重要意义。此外,基于人工智能的影像分析技术也在逐步应用于脊柱畸形的评估中,能够通过自动化的方式提高影像解读的效率和准确性[21]。

此外,结合机器学习的影像处理方法正在成为研究的热点。这些方法能够从大量影像数据中提取有价值的信息,帮助临床医生进行个性化的治疗决策。通过对影像数据的深度学习分析,研究人员能够识别出与脊柱畸形发展相关的生物标志物,从而为未来的治疗提供新的思路和方法[21]。

2.5.2. 多学科联合诊疗模式

多学科联合诊疗模式在青少年脊柱畸形的管理中发挥着越来越重要的作用。该模式强调不同专业之间的合作,整合了骨科医生、物理治疗师、心理医生和营养师等多方面的专业知识,以提供全面的患者护理[11]。例如,在青少年特发性脊柱侧弯的治疗中,除了外科手术和物理治疗外,心理支持和营养干预

同样重要，因为这些因素对患者的整体健康和治疗效果有着直接影响[11]。

通过建立多学科团队，医疗机构能够更有效地制定个体化的治疗方案，确保患者在各个方面都能得到适当的支持和照顾。研究表明，这种联合诊疗模式不仅提高了患者的满意度，还改善了治疗结果，降低了并发症的发生率[12]。例如，在对青少年脊柱畸形患者的长期随访中，实施多学科管理的患者在生活质量和功能状态方面均有显著改善[5]。

2.5.3. 未来研究方向

未来的研究方向应集中在几个关键领域，以进一步推动青少年脊柱畸形的理解和管理。首先，基于新兴影像技术的研究将继续深入，尤其是在如何利用人工智能和机器学习来提高影像分析的准确性和效率方面[21]。其次，针对脊柱畸形的生物标志物研究也应加强，这将有助于早期识别高风险患者并制定个性化的干预措施[13]。

此外，心理健康和社会支持在青少年脊柱畸形管理中的重要性也应引起重视。未来的研究可以探索如何通过心理干预和社会支持来改善患者的治疗依从性和生活质量[11]。最后，随着多学科联合诊疗模式的推广，研究者应关注如何优化不同专业之间的协作，以实现更高效的患者管理和更好的临床结果[14]。

综上所述，青少年脊柱畸形的研究和管理正朝着更为综合和个性化的方向发展，未来的研究将为改善这一领域的临床实践提供重要的理论基础和实践指导。

3. 结论

随着影像学技术的飞速发展，青少年脊柱畸形的诊断与治疗进入了一个新的时代。这些技术不仅提高了疾病的早期发现率，也为临床医生提供了更为详细和准确的病理信息，使得个性化治疗方案的制定成为可能。近年来的研究表明，影像学在青少年脊柱畸形的管理中起到了不可或缺的作用，尤其是在对不同类型畸形的评估和监测方面。

不同研究的观点与发现往往会在影像学技术的应用上有所差异。例如，一些研究强调核磁共振成像(MRI)在软组织评估中的优势，而另一些则指出计算机断层扫描(CT)在骨结构分析中的重要性。这种多样性反映了影像学技术的复杂性及其在临床应用中的局限性。因此，在整合这些研究成果时，我们需要更加注重根据具体病例选择最适合的影像学方法，以达到最佳的诊断效果。

同时，随着影像学数据的积累和处理技术的发展，机器学习和人工智能等新兴技术也开始被引入到青少年脊柱畸形的影像学分析中。这些技术能够处理大量数据，识别潜在的模式，助力临床医生在复杂病例中做出更为精准的判断。这一趋势不仅提升了影像学的应用价值，也为未来的研究指明了方向。然而，这也带来了新的挑战，尤其是在数据解读的标准化和临床应用的伦理问题上。

在此背景下，临床医生需要具备跨学科的合作能力，能够有效利用影像学的优势，结合临床经验，为青少年脊柱畸形患者提供个性化的治疗方案。此外，定期的多中心研究和大型临床试验将为影像学在青少年脊柱畸形管理中的应用提供更为坚实的证据基础。

总之，青少年脊柱畸形的影像学分析在临床实践中展现了巨大的潜力和价值。合理平衡不同研究的观点与发现，结合先进的技术手段，将有助于不断优化青少年脊柱畸形的诊断和治疗策略。未来，我们期待通过多学科的协作和持续的研究探索，为这一群体提供更加精准、有效的医疗服务，从而显著改善患者的生活质量。

基金项目

义乌市科技项目 23-3-137。

参考文献

- [1] Zloof, Y., Ankory, R., Braun, A.E., Braun, M., Abuhasira, S., Schwartz, N., *et al.* (2022) The Hereditary Nature of Adolescent Spinal Deformities: A Study of Over 600,000 Adolescents. *Spine*, **47**, 841-846. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000004355>
- [2] Wang, H., Xiu, P., Wang, L. and Song, Y. (2019) Progress in Perioperative Pain Management of Pediatric and Adolescent Spinal Deformity Corrective Surgery. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery*, **33**, 644-649.
- [3] Zhan, Q.Y., Xie, L.X. and Wang, C. (2023) Promoting Critical Care System and Capacity Building in Pulmonary and Critical Care Medicine Subspecialties. *Chinese Journal of Medical History*, **103**, 3149-3151.
- [4] Ocakoglu, G., Taskapilioglu, M.O., Kaya, I.S., Akesen, B. and Dogan, S. (2022) Statistical Shape Analyses of Pediatric Patients with Scoliosis after Surgical Correction. *Turkish Neurosurgery*, **33**, 252-257. <https://doi.org/10.5137/1019-5149.jtn.38065-22.2>
- [5] Babae, T., Esfandiari, E., Rouhani, N., Nakhaee, M., Saeedi, M., Hedayati, Z., *et al.* (2022) The Italian Spine Youth Quality of Life Questionnaire: Reliability and Validity of the Persian Version in Adolescents with Spinal Deformities. *Spine Deformity*, **10**, 775-782. <https://doi.org/10.1007/s43390-022-00475-y>
- [6] Ghorbani, F., Kamali, M., Ranjbar, H., Kamyab, M., Razavi, H. and Babae, T. (2024) Brace Compliance Process in Adolescents with Spinal Deformities: A Qualitative Study. *PLOS ONE*, **19**, e0305754. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305754>
- [7] Bautista, A.G., Reyes, J.L., Lee, N.J., Fields, M.W., Sardar, Z.M., Lenke, L.G., *et al.* (2024) Patient-Specific Rods in Adolescent and Adult Spinal Deformity Surgery: A Narrative Review. *International Journal of Spine Surgery*, **18**, S57-S63. <https://doi.org/10.14444/8642>
- [8] Shaw, K.A., O'Sullivan, M., Wang, X. and Aubin, C. (2025) Biomechanical Principles of Spinal Deformity Correction in the Thoracolumbar Spine. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-24-01156>
- [9] Wang, Z., Zhu, W., Li, G. and Guo, X. (2024) Comparative Efficacy of Six Types of Scoliosis-Specific Exercises on Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Systematic Review and Network Meta-Analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **25**, Article No. 1070. <https://doi.org/10.1186/s12891-024-08223-1>
- [10] Pasha, S. (2019) 3D Deformation Patterns of S Shaped Elastic Rods as a Pathogenesis Model for Spinal Deformity in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Scientific Reports*, **9**, Article No. 16485. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53068-7>
- [11] Chaudhary, R.K., Kaucha, D., Banskota, B., Barakoti, R.K. and Banskota, A.K. (2021) Correlation between Radiological Outcome and Health Related Quality of Life after Posterior Spinal Fusion for Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Journal of Nepal Health Research Council*, **19**, 44-47. <https://doi.org/10.33314/jnhrc.v19i1.3245>
- [12] McQuivey, K.S., Sheridan, J.R., Chung, A., Mayfield, C., Gulbrandsen, M., Brinkman, J.C., *et al.* (2021) Hospital Outcomes of Scoliosis Surgery in Children with Prader-Willi Syndrome: Comparison with Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine Deformity*, **9**, 1641-1647. <https://doi.org/10.1007/s43390-021-00359-7>
- [13] Shtaya, A., Wahab, S., Waters, R., Chakraborty, A., McGillion, S. and Dare, C. (2022) Carbon Fibre Instrumentation for Scoliosis Surgery in Children with Spinal Cord Intramedullary Tumours: A Novel Technical Note. *Acta Neurochirurgica*, **165**, 83-88. <https://doi.org/10.1007/s00701-022-05314-7>
- [14] Siwiec, A., Domagalska-Szopa, M., Kwiecień-Czerwieniec, I., Dobrowolska, A. and Szopa, A. (2024) Impact of Idiopathic Scoliosis on the Cardiopulmonary Capacity of Adolescents. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 4414. <https://doi.org/10.3390/jcm13154414>
- [15] Suh, S.W. and Kim, W.S. (2023) Lower Limb Joint Burden during Walking in Adolescent Idiopathic Scoliosis: Investigation of Mechanical Work during Walking. *The Spine Journal*, **23**, 1692-1699. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2023.06.393>
- [16] Shah, S.A., Henstenburg, J.M., Newton, P.O. and Parent, S. (2023) Updated Criteria for Fusion Level Selection in Adolescent Idiopathic Scoliosis Including Use of Three-Dimensional Analysis. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, **31**, e298-e307. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-21-01175>
- [17] Bizzoca, D., Solarino, G., Moretti, A.M., Moretti, L., Dramisino, P., Piazzolla, A., *et al.* (2023) Gender-Related Factors Influence the Subjective Perception of Deformity in Patients Undergoing Surgery for Idiopathic Scoliosis. *Journal of Personalized Medicine*, **13**, Article 1585. <https://doi.org/10.3390/jpm13111585>
- [18] Mihaescu, B., Sora, E.M., Manu, A., Pencea, V. and Gavrilu, S. (2024) Semi-Segmented Lumbar Supernumerary Hemivertebra Resection in Congenital Scoliosis: A Case Report. *Journal of Medical Case Reports*, **18**, Article No. 639. <https://doi.org/10.1186/s13256-024-04998-y>
- [19] Ito, Y., Doi, T., Ohtomo, N., Fujii, Y., Ono, K., Kojima, E., *et al.* (2023) A Novel Screening Method for Scoliosis Using a Bodysuit and 3-Dimensional Imaging. *Spine*, **48**, 1289-1294. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000004658>

- [20] Ghorbani, F., Ranjbar, H., Kamyab, M., Kamali, M. and Ganjavian, M.S. (2022) School Time Experiences of Adolescents with Spinal Deformities during Brace Treatment: A Qualitative Study. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, **36**, Article 148. <https://doi.org/10.47176/mjiri.36.148>
- [21] Renganathan, G., Manaswi, N., Ghionea, I. and Cukovic, S. (2021) Automatic Vertebrae Localization and Spine Centerline Extraction in Radiographs of Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Studies in Health Technology and Informatics*, **281**, 288-292.