

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2024.08.019

生物力学与材料

基于光栅立体成像观察高尔夫专项训练对儿童脊柱三维结构影响的纵向分析

彭皓¹, 宋艳萍², 姚娜², 申震², 蒋阳¹, 宋粤渝¹, 陈奇刚²

1. 云南师范大学体育学院, 云南 昆明 650500; 2. 云南中医药大学第三附属医院康复科, 云南 昆明 650011

【摘要】目的:针对少年儿童高尔夫长期专项训练对脊柱三维结构可能造成的影响进行系统研究,揭示儿童脊柱生物力学适应机制,为预防高尔夫训练可能引发的潜在运动损伤提供理论基础。**方法:**采用纵向观察设计,选取高尔夫训练中心的15名男性儿童作为研究对象。在基线(入组时)、3个月和6个月3个时间点,使用光栅成像技术采集参与者的脊柱三维图像数据,并进行动态监测和分析。**结果:**高尔夫训练对儿童脊柱三维结构产生一系列适应性变化,主要体现在骨盆倾斜距离、椎体平均偏移、椎体旋转角度、骨盆旋转角度和骨盆扭转角度等指标的显著变化。这些变化具有时间效应特点,表明儿童脊柱生物力学系统具有较强的适应性。**结论:**高尔夫训练会引起儿童脊柱三维结构的适应性变化,需要重视脊柱及骨盆生物力学平衡的维护,采取对称性训练等干预措施,以预防运动损伤、提高训练质量、延长运动生涯。

【关键词】高尔夫训练; 儿童脊柱; 三维结构; 光栅立体成像; 生物力学; 损伤预防

【中图分类号】R318.01; R873

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)08-1041-05

Longitudinal analysis of the effects of golf training on the three-dimensional structure of children's spine using grating-based stereoscopic imaging

PENG Hao¹, SONG Yanping², YAO Na², SHEN Zhen², JIANG Yang¹, SONG Yueyu¹, CHEN Qigang²

1. Sports College, Yunnan Normal University, Kunming 650500, China; 2. Department of Rehabilitation, the Third Affiliated Hospital of Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming 650011, China

Abstract: Objective To conduct a systematic study on the potential impact of long-term specialized golf training on the three-dimensional structure of the spine in adolescent children, and to reveal the biomechanical adaptation mechanism of children's spine, providing a theoretical basis for preventing potential sports injuries caused by golf training. **Methods** A longitudinal observational design was adopted, with 15 male adolescent children from a golf training center selected as research subjects. Three-dimensional spinal image data were collected using digital radiography at baseline, 3 months and 6 months, and dynamic monitoring and analysis were performed. **Results** Golf training led to a series of adaptive changes in the three-dimensional structure of children's spine, mainly reflected in significant changes in pelvic tilt distance, vertebral body offset, vertebral rotation angle, pelvic rotation angle, and pelvic torsion angle. These changes exhibited a time-effect characteristic, indicating the strong adaptability of biomechanical system of children's spine. **Conclusion** Golf training can cause adaptive changes in the three-dimensional structure of children's spine, highlighting the need to maintain biomechanical balances of the spine and pelvis, and to take intervention measures such as symmetrical training to prevent sports injuries, improve training quality, and prolong athletic careers.

Keywords: golf training; children's spine; three-dimensional structure; grating-based stereoscopic imaging; biomechanics; injury prevention

【收稿日期】2024-01-23

【基金项目】云南省科技计划项目(202201AU070120)

【作者简介】彭皓, 硕士研究生, 研究方向: 运动康复、运动生物力学, E-mail: m13822547409_1@163.com

【通信作者】陈奇刚, 主任医师, 研究方向: 运动系统疾病的中西医结合康复, E-mail: 179981715@qq.com

前言

随着全民健身运动的推广和人们健康意识的提高,越来越多的人开始重视少年儿童的体育锻炼,儿童参与专项运动训练日益普遍。现有研究显示长期专项训练会使肌肉产生适应性变化,进而引起一定的专项体态,在单侧运动项目尤为显著^[1-4]。儿童时

期是生长发育的关键期,由于神经系统和肌肉骨骼系统的未完全发育,以及骨骼承受力和肌肉牵张力的局限性,长期单侧训练容易导致儿童脊柱三维产生适应性变化^[5-7]。在推崇健康运动、科学训练的大背景下,及时发现并干预因体态适应变化而造成的潜在损伤因素,对于预防运动损伤、提高训练质量、延长职业运动生涯至关重要^[8-11]。

既往研究发现,长期进行排球、射箭、羽毛球、曲棍球、手球等运动的运动员,其脊柱生理曲度、骨盆倾斜等指标与正常受试者存在差异^[3,12-14]。然而,针对高尔夫运动的脊柱三维结构影响尚缺乏系统研究。本研究拟通过6个月的高尔夫训练跟踪,采用光栅成像技术^[15-16]对参与者的脊柱三维结构进行动态监测,分析高尔夫训练对脊柱三维参数的时间效应,为指导儿童高尔夫训练提供科学依据。同时,探讨脊柱三维参数之间的相关关系,以期揭示儿童脊柱生物力学适应机制,为预防高尔夫训练可能引发潜在的运动损伤提供理论基础。

1 对象与方法

1.1 研究设计

采用纵向观察设计,对上海师范大学附属官渡实验学校高尔夫训练中心参加高尔夫训练的15名男性儿童进行为期6个月的跟踪观察。在基线(入组时)、3个月和6个月3个时间点,分别采集参与者的脊柱三维图像数据,并对数据分析讨论。

1.2 研究对象

本研究招募了7~10岁参加高尔夫训练的儿童作为研究对象。参与者的身高、体质量、BMI等人口统计学特征见表1,均处于正常范围。纳入标准:(1)年龄7~10岁;(2)每周参加高尔夫训练≥4次,每周训练总时长时间≥8 h;(3)无其他专项运动训练;(4)无脊柱畸形或其他严重疾病史。排除标准:(1)有其他专项运动训练史;(2)有神经系统或肌骨骼系统疾病史。通过对33名儿童进行初次筛查,经过排查共有18名儿童符合入选标准,最终完成试验全程15名。所有试验对象及试验对象家长均签署知情同意书。该研究方案已经由云南中医药大学第三附属医院医学伦理委员会审批通过,伦理号:2024-003-01。

表1 基线信息表
Table 1 Baseline information

项目	均数±标准差	方差	标准误	均值95%CI	IQR	峰度	偏度	变异系数
年龄/岁	7.867±0.990	0.981	0.256	7.365, 8.368	2.000	-0.388	0.808	12.590%
身高/cm	131.467±5.263	27.695	1.359	128.803, 134.130	8.000	0.206	0.724	4.003%
体质量/kg	35.733±3.731	13.924	0.963	33.845, 37.622	4.000	0.541	0.879	10.443%
BMI/kg·m ⁻²	20.713±1.986	3.946	0.513	19.708, 21.719	2.200	3.669	-1.310	9.590%

1.3 数据收集

采用光栅投射技术对参与者的脊柱进行三维成像。试验设备为三维脊柱测量评估仪(单目65线光栅)。具体操作步骤:(1)采集前检查。室内光线应较暗,关闭或遮盖自然光进入的窗口,保证测试环境没有直接的光照射;地面平整并设有站位参考线,患者所站位置与设备平行,距离约2 m。设置拍摄背景布,背景布或墙面应距离受试者1 m及以上距离。(2)打开设备和软件。确认设备连接线接口稳固,电源正常开启。点击软件应用程序,打开软件,逐步进入4D模式检测的数据采集界面(图1)。(3)患者穿着要求。上身及手臂裸露,短裤应拉到腰下一掌宽处,露出臀部;短裤不应过紧,否则使肌肉紧勒,髂后上棘位置会发生改变;身上无反光和金属饰物;头发应露出后颈发际线;光脚测试。(4)利用配套专业软件重建受试者的三维脊柱模型。

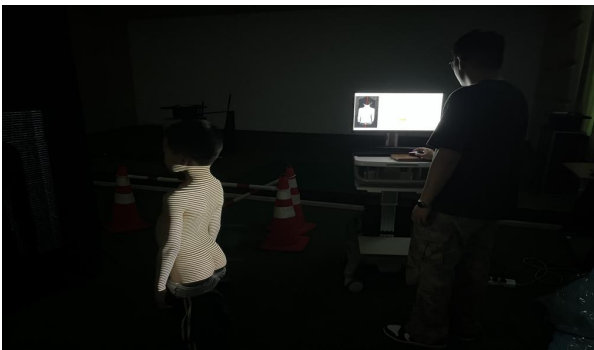


图1 数据采集
Figure 1 Data collection

根据重建的三维脊柱模型,提取如下参数(绝对值)。额状面:(1)躯干额状面倾斜距离;(2)骨盆额状面倾斜角度;(3)所有椎体平均偏移。矢状面:(1)胸曲后凸角;(2)腰曲前凸角;(3)躯干矢状面倾斜角

度。水平面:(1)所有椎体旋转角度(算术平方根);(2)骨盆旋转角度。三维指标:骨盆扭转角度。以上参数能全面反映脊柱三维结构的变化情况,为评估高尔夫训练对儿童脊柱三维影响提供客观依据。

1.4 统计分析

采用 SPSS Statistics27 软件对数据进行统计分析。对检测指标进行 Shapiro-Wilk 检验和 Levene 检验,对纳入指标进行重复测量方差分析,比较不同时间点(基线、3个月、6个月)时各脊柱参数的变化情况。如发现有统计学差异,进一步采用 Bonferroni 事后检验分析具体差异所在^[17-18]。脊柱参数变化与高尔夫训练时间采用皮尔逊相关分析^[19]。统计显著性水平设定为 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 高尔夫训练对脊柱三维参数的时间效应

采用重复测量方差分析检验高尔夫训练对儿童脊柱三维参数的时间效应。结果(表2)显示,骨盆倾

斜距离、椎体平均偏移、椎体旋转角度、骨盆旋转角度、骨盆扭转角度在3个时间点(基线、3个月、6个月)均存在显著性差异。Bonferroni 事后检验(表3)进一步揭示这些参数的变化特点:(1)骨盆倾斜距离在基线与6个月($P<0.001$)、3个月与6个月($P<0.05$)时间点间存在显著差异,而基线与3个月间差异不显著($P>0.05$)。(2)椎体平均偏移在基线与3个月时间点间存在显著性差异($P<0.05$),而3个月后无差异。(3)椎体旋转角度在基线与3个月、3个月与6个月、基线与6个月3个时间点间均存在显著差异,呈现持续性增加趋势。(4)骨盆旋转角度在基线与3个月时间点间并不存在显著性差异,而3个月与6个月时间点间存在显著差异。(5)尽管骨盆扭转角度在重复测量方差分析中呈现显著性($P=0.026$),但 Bonferroni 事后检验并未发现3个时间点间的显著差异。考虑到 Bonferroni 检验较为保守,3个月与6个月时间点间的 P 值接近显著性水平($P=0.068$),可以推测该参数在训练后期可能发生一定变化。

表2 各指标组内效应分析
Table 2 Intra-group effect analysis of each parameter

参数	球形度	球形度	满足球形检验				Greenhouse-Geisser(GG)					Huynh-Feldt(HF)				
	W 值	检验度 P 值	F 值	df(效应)	df(误差)	P 值	F 值	GG 值	df(效应)	df(误差)	校正 P 值	F 值	HF 值	df(效应)	df(误差)	校正 P 值
躯干倾斜距离	0.413	0.003	0.265	2	28	0.769	0.265	0.630	1.260	17.642	0.667	0.265	0.663	1.327	18.575	0.679
骨盆倾斜距离	0.974	0.845	18.083	2	28	0.000	18.083	0.975	1.950	27.300	0.000	18.083	1.131	2.261	31.659	0.000
椎体平均偏移	0.419	0.004	14.477	2	28	0.000	14.477	0.633	1.265	17.714	0.001	14.477	0.667	1.333	18.666	0.001
胸曲后凸角	0.978	0.865	0.269	2	28	0.766	0.269	0.978	1.957	27.397	0.762	0.269	1.136	2.271	31.799	0.766
腰曲前凸角	0.988	0.923	0.337	2	28	0.717	0.337	0.988	1.976	27.663	0.714	0.337	1.149	2.299	32.180	0.717
躯干矢状面 倾斜角度	0.192	0.000	0.780	2	28	0.468	0.780	0.553	1.106	15.490	0.403	0.780	0.566	1.132	15.849	0.406
椎体旋转角度	0.627	0.048	49.000	2	28	0.000	49.000	0.728	1.456	20.388	0.000	49.000	0.791	1.582	22.149	0.000
骨盆旋转角度	0.161	0.000	12.489	2	28	0.000	12.489	0.544	1.088	15.227	0.002	12.489	0.554	1.109	15.520	0.002
骨盆扭转角度	0.554	0.022	5.091	2	28	0.013	5.091	0.692	1.383	19.365	0.026	5.091	0.743	1.486	20.803	0.023

加蓝色数据表示进行球形检验判断后,最终应该查看结果

2.2 脊柱参数间的相关性

为进一步探讨这些指标之间的相关关系,本研究采用皮尔逊相关分析对各指标参数之间的相关性进行分析。结果(表4)显示,躯干倾斜距离与骨盆倾斜角度($r=0.635$, $P<0.01$)、胸曲后凸角($r=0.353$, $P<0.05$)、椎体旋转角度($r=0.381$, $P<0.01$)呈现显著正相关关系,表明这些参数之间存在一定的协调联系,即躯干倾斜距离的增加会带动骨盆倾斜角度、胸曲后凸角和椎体旋转角度的相应增加。与此同时,躯干

倾斜距离与骨盆旋转角度($r=-0.368$, $P<0.05$)呈现显著负相关关系,表明躯干倾斜距离的增加会导致骨盆旋转角度的减小,反映脊柱各部位之间的协调补偿机制。然而,躯干倾斜距离与椎体偏移、腰曲前凸角、躯干矢状面倾斜角度、骨盆扭转角度之间未发现显著相关性($P>0.05$)。

3 讨论

本研究通过6个月的高尔夫训练跟踪,采用光栅成

表3 Bonferroni 事后检验
Table 3 Bonferroni post-hoc tests

参数	均值差值	标准误 SE	t 值	P 值
骨盆倾斜距离(1-2)	-0.067	0.033	-2.000	0.149
骨盆倾斜距离(1-3)	-0.193	0.034	-5.611	0.000
骨盆倾斜距离(2-3)	-0.127	0.030	-4.219	0.002
椎体平均偏移(1-2)	-0.213	0.052	-4.141	0.003
椎体平均偏移(1-3)	-0.300	0.076	-3.969	0.004
椎体平均偏移(2-3)	-0.087	0.039	-2.229	0.101
椎体旋转角度(1-2)	-0.200	0.028	-7.246	0.000
椎体旋转角度(1-3)	-0.300	0.039	-7.685	0.000
椎体旋转角度(2-3)	-0.100	0.024	-4.183	0.002
骨盆旋转角度(1-2)	-0.113	0.045	-2.542	0.057
骨盆旋转角度(1-3)	-0.273	0.076	-3.602	0.008
骨盆旋转角度(2-3)	-0.160	0.036	-4.413	0.002
骨盆扭转角度(1-2)	-0.133	0.091	-1.468	0.335
骨盆扭转角度(1-3)	-0.400	0.163	-2.449	0.068
骨盆扭转角度(2-3)	-0.267	0.118	-2.256	0.096

表内 1,2,3 分别表示基线、3 个月、6 个月这 3 个时间点

像技术对参与者的脊柱三维结构进行动态监测,分析了高尔夫训练对儿童脊柱三维参数的时间效应。结果显示高尔夫训练会引起儿童脊柱三维结构的一系列适应性变化,主要体现在骨盆倾斜距离、椎体平均偏移、椎体旋转角度、骨盆旋转角度和骨盆扭转角度等指标的显著变化。这些变化具有明显的时间效应特点,即部分指标在训练的前3个月内发生较大变化,之后趋于稳定,而部分指标在训练前期并不呈现显著性,在训练6个月后呈显著性。这表明儿童脊柱生物力学系统具有较强的适应性,能够通过内在调节机制对单侧训练引起的不对称负荷进行补偿。

骨盆倾斜距离的变化表明高尔夫训练会引起儿童骨盆位置的协调性适应。骨盆倾斜距离在训练前3个月内未发生明显变化,但在3个月后呈现出显著增加的趋势。这可能是由于高尔夫运动的单侧特点,导致儿童脊柱在长期训练负荷下出现一定的适应性变化,表现为骨盆倾斜距离的增加。然而,这种变化需要一定的时间积累,在训练初期并不明显,这与既往研究发现的其他单侧运动项目如手球、羽毛球

表4 Pearson 相关性分析
Table 4 Pearson correlation analysis

	躯干倾斜距离	骨盆倾斜角度	椎体偏移	胸曲后凸角	腰曲前凸角	躯干矢状面 倾斜角度	椎体旋转角度	骨盆旋转角度	骨盆扭转角度
躯干倾斜距离	1								
骨盆倾斜角度	0.635**	1							
椎体偏移	-0.114	0.179	1						
胸曲后凸角	0.353*	0.288	-0.114	1					
腰曲前凸角	0.023	-0.130	0.156	0.056	1				
躯干矢状面 倾斜角度	-0.158	-0.308*	0.122	-0.244	0.231	1			
椎体旋转角度	0.381**	0.384**	0.201	0.278	0.137	0.151	1		
骨盆旋转角度	-0.368*	-0.163	0.168	0.096	-0.000	-0.054	0.164	1	
骨盆扭转角度	0.244	0.090	-0.224	0.333*	0.302*	0.015	0.463**	-0.123	1

* $P<0.05$,** $P<0.01$

球、乒乓球等引起的骨盆倾斜变化存在一致性^[11,20]。这种骨盆倾斜可能会影响下肢力量的传递,进而影响运动技术的发挥。因此,在高尔夫训练中应关注骨盆位置的协调性,适当进行对侧肢体训练,以维持脊柱及骨盆的生物力学平衡。

与骨盆倾斜距离不同,椎体平均偏移在训练初期3个月内出现了显著增加,但之后趋于稳定。这可能反映了儿童脊柱在高尔夫训练初期适应性变化的一个重要特点,即椎体偏移的变化主要集中在训练

的前期阶段^[21]。这可能是由于儿童神经系统和肌肉骨骼系统的未完全发育,在承受单侧训练负荷时,椎体偏移作为一种快速的适应性反应,在训练初期较为明显,但随着训练的持续,脊柱结构逐渐适应,该指标趋于稳定。与此同时,椎体旋转角度在整个训练过程中均呈现持续增加的趋势,这可能反映了儿童脊柱在长期单侧训练负荷下的适应性变化,即脊柱呈现出一定程度的旋转异常。这种变化可能会对儿童的运动表现和身体健康产生不利影响,需要引

起高度重视,进行干预训练^[22-23]。

骨盆旋转角度的变化反映了高尔夫训练对儿童骨盆横断面结构的影响。骨盆旋转角度在训练前3个月内未发生明显变化,但在3~6个月期间出现了显著增加。这表明该指标的变化存在一定的时滞效应,需要较长时间的训练才能引发明显的适应性变化。这可能是由于骨盆旋转角度受到多种因素的影响,如肌肉力量、关节活动度等,需要一定时间的训练积累才能表现出明显的变化。尽管骨盆扭转角度在统计分析中呈现出显著性差异,但事后检验未发现各时间点间存在显著差异。这可能是由于该指标的变化相对较小,需要更长时间的训练才能引发明显的适应性变化。未来研究可进一步延长观察时间,探讨高尔夫训练对该指标的长期影响。

进一步的相关性分析结果表明,这些参数之间存在显著的相关性,表明儿童脊柱生物力学系统是一个高度耦合的整体^[24]。躯干倾斜距离与骨盆倾斜角度、胸曲后凸角和椎体旋转角度呈现显著的正相关关系,而与骨盆旋转角度呈现负相关关系。这反映了脊柱各部位之间存在一定的协调联系和补偿机制。当躯干倾斜距离增加时,骨盆倾斜角度、胸曲后凸角和椎体旋转角度也会相应增加,而骨盆旋转角度则会减小,这可能是脊柱结构在应对单侧训练负荷时的一种适应性反应。但躯干倾斜距离与椎体偏移、腰曲前凸角、躯干矢状面倾斜角度和骨盆扭转角度之间未发现显著相关性,这可能是由于这些参数受到多种因素的影响,单一的躯干倾斜距离无法完全解释其变化规律。这种整体性适应特点,不仅体现在单一运动项目中,也可能存在于不同运动项目之间。因此,未来研究应进一步拓展至其他单侧运动,探讨不同运动项目间脊柱三维结构的相互影响,为制定全面的运动损伤预防策略提供理论依据。

综上所述,本研究发现高尔夫训练会导致儿童脊柱三维结构发生一系列适应性变化,这些变化可能会影响运动技术的发挥,甚至导致潜在的运动损伤。因此,在儿童高尔夫训练中应重视脊柱及骨盆生物力学平衡的维护,采取对称性训练等干预措施,以预防运动损伤,提高训练质量,延长运动生涯。同时,这些研究结果也为其他单侧运动项目的科学训练提供了参考依据。未来研究可进一步探讨这些脊柱三维参数变化与运动损伤的关联性,为预防运动损伤提供更加全面的理论基础。

本研究存在样本量小、缺乏对照组、观察时间短、缺乏临床结局指标等局限性,未来研究应进一步完善研究设计,以更好地评估高尔夫训练对儿童脊柱三维结构的影响及其与运动损伤的关系。

【参考文献】

- [1] Zwierzchowska A, Gawel E, Maszczyk A, et al. The importance of extrinsic and intrinsic compensatory mechanisms to body posture of competitive athletes: a systematic review and meta-analysis[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 8808.
- [2] Rostkowska E, Bak M. The assessment of trunk and shoulder girdle symmetry of young athletes engaged asymmetric sports[J]. *J Hum Kinet*, 2001, 5: 47-64.
- [3] Jeon K, Kim S. Effect of unilateral exercise on spinal and pelvic deformities, and isokinetic trunk muscle strength[J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(3): 844-849.
- [4] Donatelli R, Dimond D, Holland M. Sport-specific biomechanics of spinal injuries in the athlete (throwing athletes, rotational sports, and contact-collision sports)[J]. *Clin Sports Med*, 2012, 31(3): 381-396.
- [5] Mousavi L, Seidi F, Minoonejad H, et al. Prevalence of idiopathic scoliosis in athletes: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ Open Sport Exerc Med*, 2022, 8(3): e001312.
- [6] Rigo M, Quera-Salvá G, Villagrana M. Sagittal configuration of the spine in girls with idiopathic scoliosis: progressing rather than initiating factor[J]. *Stud Health Technol Inform*, 2006, 123: 90-94.
- [7] 李凯洋,郭建军,荣湘江,等.青少年特发性脊柱侧弯可控的危险因素分析[J]. *中国预防医学杂志*, 2023, 24(1): 73-76.
- [8] Li KY, Guo JJ, Rong XJ, et al. Controllable risk factors of adolescent idiopathic scoliosis[J]. *China Preventive Medicine*, 2023, 24(1): 73-76.
- [9] 毛振明,张媛媛,邓照浩.科学运动与健康促进是新时代体育与健康课程的历史责任-兼论“大单元”“走班制”与“三精准”的新策略[J]. *武汉体育学院学报*, 2023, 57(10): 5-11.
- [10] Mao ZM, Zhang YY, Deng XH. Scientific sports and health promotion are the historical responsibility of sports and health curriculum in the new era[J]. *Journal of Wuhan Sports University*, 2023, 57(10): 5-11.
- [9] 贾荣.中学生体育教学中的安全意识培养-评《运动安全与健康》[J]. *安全与环境学报*, 2023, 23(11): 4207-4208.
- [11] Jia R. The cultivation of safety consciousness in middle school students' Physical Education[J]. *Journal of Safety and Environment*, 2023, 23(11): 4207-4208.
- [10] 邢晓燕,张若,王佳璇,等.科学训练态度及训练参赛因素对跑步相关损伤的影响分析[J]. *中国体育科技*, 2022, 58(4): 81-89.
- [12] Xing XY, Zhang R, Wang JW, et al. Effects of scientific training attitude, training and competition on running related injuries[J]. *China Sport Science and Technology*, 2022, 58(4): 81-89.
- [11] Moon HW, Kim JS. Golf-related sports injuries of the musculoskeletal system[J]. *J Exerc Rehabil*, 2023, 19(2): 134-138.
- [12] Modi H, Srinivasalu S, Smehta S, et al. Muscle imbalance in volleyball players initiates scoliosis in immature spines: a screening analysis[J]. *Asian Spine J*, 2008, 2(1): 38-43.
- [13] Grabara M. A comparison of the posture between young female handball players and non-training peers[J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2014, 27(1): 85-92.
- [14] Jandrić SD. Differences in postural disturbances between female adolescents handball players and nontraining peers[J]. *Vojnosanit Pregl*, 2016, 73(4): 337-342.
- [15] Mohokum M, Mendoza S, Udo W, et al. Reproducibility of rasterstereography for kyphotic and lordotic angles, trunk length, and trunk inclination: a reliability study[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2010, 35(14): 1353-1358.
- [16] Mohokum M, Schülein S, Skwara A. The validity of rasterstereography: a systematic review[J]. *Orthop Rev (Pavia)*, 2015, 7(3): 5899.
- [17] Drezner Z, Turel O, Zerom D. A modified Kolmogorov-Smirnov test for normality[J]. *Commun Stat Simul Comput*, 2010, 39(4): 693-704.
- [18] Kline R, Kline RB, Kline R. Principles and practice of structural equation modelling[J]. *J Am Stat Assoc*, 2011, 101(12).
- [19] Hauke J, Kossowski T. Comparison of values of Pearson's and spearman's correlation coefficients on the same sets of data[J]. *Quaest Geogr*, 2011, 30(2): 87-93.
- [20] 刘淑文,宋雅伟,李江.女性羽毛球、乒乓球运动员和普通大学生的脊柱形态测量分析[J]. *四川体育科学*, 2020, 39(4): 28-32.
- [21] Liu SW, Song YW, Li J. Spinal morphometric analysis of female badminton and table tennis players and college students[J]. *Sichuan Sports Science*, 2020, 39(4): 28-32.
- [21] Yang DJ. A study on the structure of three dimensional spine, pelvic deviation and foot pressure in golf players[J]. *Korean J Appl Biomech*, 2012, 22(2): 151-158.
- [22] Gluck GS, Bendo JA, Spivak JM. The lumbar spine and low back pain in golf: a literature review of swing biomechanics and injury prevention[J]. *Spine J*, 2008, 8(5): 778-788.
- [23] Mun F, Suh SW, Park HJ, et al. Kinematic relationship between rotation of lumbar spine and hip joints during golf swing in professional golfers[J]. *Biomed Eng Online*, 2015, 14: 41.
- [24] Hasley IB, Ostby TD, Fjosne CM, et al. Etiology and prevention of common injuries in golf[J]. *Curr Sports Med Rep*, 2023, 22(6): 210-216.

(编辑:黄开颜)