

文章编号:1004-7220(2016)02-0171-06

· 资料研究 ·

基于科学计量学方法的前交叉韧带 损伤预防生物力学研究

谢恩礼¹, 詹建国², 常云¹

(1. 安徽建筑大学 体育教学部, 合肥 230022; 2. 北京体育大学 田径教研室, 北京 100084)

摘要: **目的** 分析前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤预防的生物力学研究现状、主题及特征,对促进ACL损伤预防及控制具有实际指导意义。**方法** 利用Web of Science、中国知网等数据库,运用科学计量学方法对ACL损伤预防的生物力学研究进行统计分析。**结果** ACL损伤预防生物力学研究的逐年累积发文量在总体上较好服从指数增长规律,主要集中在体育科学、矫形学、外科、康复学等学科方向。参与研究的国家中美国位列第一,参与研究的作者中Timothy E. Hewett发文量最大。ACL损伤的生物力学研究主题共分成危险因素及发生率、女性ACL损伤、神经肌肉训练与控制、ACL损伤评估4个类团。**结论** 科研人员需拓宽自己的研究领域,利用国家、地方政府在康复医疗事业引领作用,不断加大生物力学在ACL损伤预防研究的力度。

关键词: 前交叉韧带; 损伤预防; 生物力学; 科学计量学; 主题

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

DOI: 10.3871/j.1004-7220.2016.02.171

Biomechanical research on prevention of anterior cruciate ligaments based on scientometrics

XIE En-li¹, ZHAN Jian-guo², CHANG Yun¹ (1. Department of Physical Education, Anhui Jianzhu University, Hefei 230022, China; 2. Department of Athletics, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: **Objective** To analyze the present status, subject and characteristics of biomechanical studies on injury prevention of anterior cruciate ligament (ACL), which has a practical guiding significance in promoting prevention and control of ACL injuries. **Methods** Biomechanical studies on ACL injury prevention were conducted by scientometrics based on the Web of Science, CNKI database for statistic analysis. **Results** Cumulative numbers of issued papers on biomechanical studies of ACL injury prevention well complied with the exponential growth rule year by year in general, which mainly focused on sports science, orthopedic science, surgery, rehabilitation and other disciplines. From the countries participating in the studies, the United States of America ranked the first. Timothy E. Hewett contributed the largest number of issued papers among all the authors participated in the studies. Subjects of biomechanical studies on ACL injuries could be identified into four groups: risk factors and incidence, ACL injury of the female, neuromuscular training and control, ACL injury assessment. **Conclusions** Researchers should broaden their research fields, take advantage of the national and local governments to lead the role in the rehabilitation medical treatment, and pay more efforts in biomechanical studies of ACL injury prevention.

Key words: Anterior cruciate ligament (ACL); Injury prevention; Biomechanics; Scientometrics; Subject

收稿日期:2015-11-13; 修回日期:2015-12-04

基金项目:安徽省体育局重点委托项目(ASS2013110)。

通信作者:詹建国,教授,博士研究生导师,E-mail:jgzhan@163.com。

前交叉韧带(anterior cruciate ligament, ACL)损伤是膝关节常见的运动损伤之一,无论从健康还是从经济角度而言,ACL损伤成本非常高^[1-2]。ACL损伤的高发病率及其对膝关节长期的毁灭性后果,导致大量研究专注于损伤预防和伤病管理,尤其是在更好地理解ACL损伤的内在机制和引起ACL损伤的危险因素等方面。研究表明,ACL损伤的危险因素主要包括基因和伤病史等内部因素、疲劳和认知能力等外部因素以及神经肌肉和骨骼等生物力学因素^[3-5]。同时,一些实质性的研究则关注在努力改善ACL损伤的诊断治疗策略上。长期的ACL损伤不仅会引起骨关节炎,还有可能需要借助手术治疗,会给患者带来沉重的经济负担^[6-7]。因此,最有效的避免ACL损伤的策略就是预防。

ACL损伤预防的生物力学研究主要包括ACL危险因素的评估以及根据危险因素制定的神经肌肉控制的训练计划,研究方法差异较大,大部分都不是随机样本,成功的生物力学训练计划有拉伸、力量训练、本体感觉和超等长练习等。尽管针对ACL损伤预防已开展了大量的研究,但是ACL损伤的发病率却居高不下,特别是女子运动员。为了全面回顾ACL损伤的生物力学研究进展,本文利用文献计量学中有关国家、作者及关键词的引文分析,力求全面、客观、科学地展示ACL损伤生物力学研究的现状和趋势,追踪其发展热点,以期对ACL损伤预防生物力学研究的主题及未来趋势有一个更为全面整体的把握,对更好促进ACL损伤预防及控制具有较好的实际指导意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

英文文献以主题 T1 = (“prevention of anterior cruciate ligament” or “prevention of ACL” or “anterior cruciate ligament” or “prevention” and “biomechanics”)为检索方式进行主题检索,检索文献类型包括论著(Article)、会议论文(Proceeding paper)和综述(Review)。检索时间为2015年10月20日,从Web of Science数据库核心合集(包括SCI、SSCI和A&HCI)中共检索到文献577篇。中文文献来源于中国知网,以“ACL损伤、预防、生物力学”为主题词进行检索,共检索到相关文献157篇,检索时间为2015年10月21日。

1.2 研究方法

1.2.1 科学计量学方法 共现分析和共引分析都是科学计量学的范畴。科技论文中的共现是指相同或不同类型特征信息在文献中共同出现的现象,如机构共现、作者共现、关键词共现、作者关键词共现等,它是对各种共现信息进行量化分析的一套研究范式,对揭示各研究领域的信息内容和特征具有重要的意义。通过Sati软件提取30位高产作者($n \geq 6$),并构建 30×30 的作者共现矩阵。

1.2.2 多元统计方法 聚类分析是多元统计方法的一种,也是研究属性归类的一种方法。一般使用Ward的聚类方法,将密切联系的高频关键词等内容归为一类,形成一个二维坐标图,从整体上把握一个学科、领域或专业的具体研究内容。

多维尺度法也是多元统计方法的一种,它将多维空间的研究对象简化到低维空间进行定位、分析和归类,同时又保留对象间原始关系的数据分析方法。聚类分析将分析的结果进行有效地拆分和高度整合,但是却不能发现每个类团在平面上的距离。因此,在研究过程聚类分析时需要进行多维尺度分析,在平面距离上进行甄别。

2 结果与分析

2.1 年代特征及学科分布

科技文献的增长规律,通常采用累积发文量来体现。运用SPSS软件对2001~2015年ACL损伤预防生物力学研究的累积发文量进行曲线拟合图分析(见图1)。有关ACL损伤预防生物力学研究的逐年累积发文量在总体上较好服从指数增长规律 $[Y = (1.209E - 238)e^{0.275X}]$,曲线拟合精度 $R^2 = 0.948$ 。 R^2 又称判定系数,是用来验证曲线拟合图的常用系数,若 $R^2 \geq 0.870$,则表明其曲线拟合的效果较为理想; R^2 接近1,表明其拟合效果就越好。

从学科分布来看,有关ACL损伤生物力学研究主要集中在体育科学、矫形学两大学科,体育科学、矫形学在ACL损伤生物力学研究中地位突出;除此之外,还涉及工程学、外科、康复学、生理学、内科、风湿病学、医学和生物物理学等学科方向(见表1)。由此可见,ACL损伤的生物力学预防研究已经从一开始的单一的学科视角研究逐步发展到涉及多学科多视角的研究。

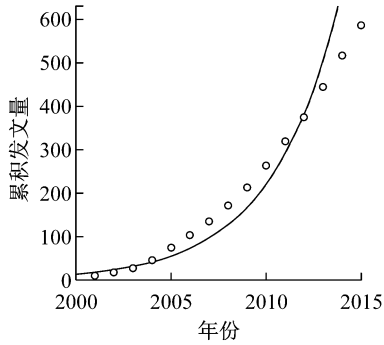


图1 2001~2015年逐年累积发文章量增长曲线拟合图
Fig.1 Growth curve of cumulative volume from year 2001 to 2015

表1 2001~2015年学科分布表

Tab.1 Distributions of discipline from year 2001 to 2015

排序	频次	中心性	出现时间	学科
1	454	0.43	2001	Sport Sciences/体育科学
2	243	0.34	2001	Orthopedics/矫形学
3	60	0.37	2001	Engineering/工程学
4	60	0.07	2001	Surgery/外科
5	50	0.03	2001	Rehabilitation /康复学
6	30	0.08	2003	Physiology/生理学
7	21	0.07	2001	Internal Medicine/内科
8	20	0	2002	Rheumatology/风湿病学
9	14	0.27	2001	Medicine/医学
10	12	0	2005	Biophysics/生物物理学

2.2 研究主体

利用 Sati 软件的分析功能对 ACL 损伤预防生物力学研究的高产国家、高产作者进行统计分析(见表2)。总体而言,ACL 损伤预防研究的视角是多元的,包括损伤的风险因素评估以及损伤的预防程序和神经肌肉训练等。从参与研究的国家来看,美国位列第一。从参与研究的作者来看, Timothy E. Hewett 的发文章量最大,其中心性达到 0.17,其研究主要集中在 ACL 损伤的预防及康复等方面,而其他作者的影响力很小。

利用 Sati 软件进行作者频次分析,发现该研究的高产作者($n \geq 6$)。同时,利用 Sati 生成共现矩阵并对发表文章 2 篇以上的作者运用 Netdraw 软件进行可视化分析。结果表明,发表文章 2 篇及以上研究者的论文成果均通过合著完成;根据合著状况,高产作者可以划分为 4 个不同的学术圈。

表2 2001-2015年高产国家、高产作者汇总表

Tab.2 Summary of high-yield countries and authors from year 2001 to 2015

排序	频次	中心性	国家	排序	频次	中心性	作者
1	323	0.17	美国	1	51	0.17	Hewett TE
2	24	0.14	加拿大	2	31	0	Ford KR
3	22	0.06	德国	3	25	0	Padua DA
4	21	0	日本	4	14	0	Ford KR
5	17	0.15	挪威	5	14	0	Myer GD
6	16	0.35	英格兰	6	13	0	Hewett TE
7	15	0	瑞典	7	12	0	Marshall SW
8	14	0.06	荷兰	8	11	0	McLean SC
9	11	0.19	西班牙	9	5	0	Bates MA

2.3 研究热点及主题

对 2001~2015 年关于 ACL 损伤预防生物力学研究的文献利用 Sati 软件对其中高频关键词进行统计分析,结果发现,研究的热点包括膝关节损伤机制、ACL 损伤的危险因素、女子 ACL 损伤发生率、落地动作分析以及神经肌肉训练等方面;然后根据高频关键词,构建关键词共现矩阵(由于篇幅的限制,具体操作过程在此不再赘述);最后分别运用聚类分析和多维尺度分析方法对 ACL 损伤预防的生物力学研究主题进行识别,共分为 4 个类团,分别为危险因素及发生率研究、女性 ACL 损伤机制研究、神经肌肉训练与控制研究和 ACL 损伤的评估研究。下面分别对每个类团的内容和未来发展进行详述。

2.3.1 危险因素及发生率研究 据统计,70% 的 ACL 损伤是非接触性的,一般发生在落地、切入、变向等动作中^[8]。有研究认为,运动性损伤占 ACL 损伤的 78.1%,ACL 损伤的发生与先伤膝关节不稳、病人年龄、运动程度有关。89.1% 的膝关节在 ACL 损伤后出现不稳。ACL 损伤的危险因素具体包括 3 个方面:① 内部因素。荷尔蒙激素、基因、伤病史^[9-11];② 外部因素。疲劳因素、认知功能等^[12-13];③ 生物力学因素。神经肌肉与骨骼^[14-16]。本文重点探讨 ACL 损伤的生物力学因素。女性相比男性,与地面接触时弯曲角度相对较小、膝盖外翻动作更大、膝关节伸展时间更长^[17]。研究表明,通过不断增长力量、肌肉活动、肌肉长度和收缩速度能够增加腘绳肌力量,从而减小其损伤的生物力学因素。因

此,可重点关注躯干运动、载荷以及肌肉力量、肌肉活动和落地或切入等生物力学动作之间的关系^[18]。增加躯干弯曲和增强腘绳肌力量与减少 ACL 损伤密切相关;同时,理性决策会影响落地生物力学和评估落地/切入生物力学动作^[19]。教练员应当重点加强运动员腘绳肌肌肉力量的训练,并鼓励运动员将躯干伸展练习融入到落地/切入动作的训练活动中去,从而会减少 ACL 损伤的发生。

2.3.2 女性 ACL 损伤机制研究 一些流行病学研究表明,女性在参加体育活动时,ACL 损伤的几率远高于男性^[4]。在比赛中女性 ACL 损伤的几率高于男性,而在训练中男女基本相同。这些差异可以通过以下原因进行解释,例如:不同数据来源和收集模式、学科特点、病变评估方法、损伤发生模式和统计方法等^[2,20];同样,解剖学、神经肌肉和生物力学等因素也可以解释女性 ACL 损伤和肌腱受伤的高发病率^[20]。有趣的是,一些性别相关的伤病在青春期后发病率就更加显著,这强调了荷尔蒙激素的作用,表现出一些由基因决定的生理特征^[21]。有关女性 ACL 损伤高发病率的解释众说纷纭,有研究通过增加新的视角来分析研究对象,并提出预防的具体措施^[21-22]。

Soderman 等^[23]研究发现,在干预组,大部分膝关节损伤实际上呈现显著性增加($P = 0.02$),80% 的 ACL 损伤都发生在非接触性群体;解剖和神经肌肉因素有助于解释在 ACL 损伤方面的性别差异,女性膝关节韧带松弛的不断增加是发生损伤的一个重要危险因素^[24]。在进行速度练习时,更多的依从韧带会受到损伤的影响。膝关节韧带松弛和生物力学的变化一般发生在女性月经周期,但是在数量和时间上却存在着较大的个体差异^[6,25]。个体雌激素水平随着血清相和振幅的变化而变化,目前尚不清楚膝关节韧带的松弛是否由女性雌性激素的增长引起。研究表明,松弛素水平比雌激素水平能更好解释女性膝关节松弛和 ACL 损伤的危险因素^[26]。

2.3.3 神经肌肉训练与控制研究 为了减少 ACL 损伤的风险,科研人员设计了大量的预防程序,到底哪一种程序更为有效,它的设计要求如何呢?神经肌肉训练与控制研究主要包括以下几个方面:① 尚未建立标准化的干预项目来防止膝关节损伤^[27];② 多元预防程序比单一预防程序能更好地减少风

险和降低非接触性 ACL 损伤的发生率^[27-29];③ 下肢等动练习、动态平衡、力量训练、伸展练习、理性决策和针对性躯干控制组成的多元预防程序似乎是最有效、最成功的训练程序,它可以减少 ACL 损伤的风险因素(如减轻落地的冲击力、减少内翻或外翻的时间和增加肌肉的有效激活等)^[27,30];④ 准备期伤病预防与比赛期伤病预防要紧密结合,才能更有效预防伤病的发生^[31];⑤ 未来研究要重点探寻最有效的干预手段来减少非接触性 ACL 损伤的风险和预防高危人群 ACL 损伤^[27,32]。Myer 等^[33]通过设计动态稳定性和平衡训练两种训练方法,探讨腘绳肌和股四头肌力量大小与膝关节 ACL 损伤发生率的相关性;受试者利用单腿进行跳跃,对地面的冲击力减小,通过两种训练方法,腘绳肌与股四头肌的比值明显增强,可以看出这种通过训练而获得的肌肉力量变化是对 ACL 损伤预防的一个好的佐证。

2.3.4 ACL 损伤的评估研究 运动训练过程中,运动任务超出运动员承受的极限,势必会导致运动员的 ACL 损伤,故如何确定预期的或者“正常的”运动学特征的运动任务来评估 ACL 损伤,已经成为国外研究人员关注的一个主要内容。他们通过检查下落着地、落地后垂直起跳、侧向跨步切入等下肢运动学特征,来确定臀部的正常范围和膝关节的运动学变量^[34-35]。研究表明,多度的横向平面运动,并结合有损害的额状面和矢状面的动作练习,可能是对 ACL 载荷最糟糕的练习手段^[36-37]。因此,在执行运动任务时出现不正常或者不规则的运动学特征,可能是增加 ACL 损伤风险一个最恰当的指标。普遍认为,某些多角度或者不正常运动势必会增加 ACL 损伤的几率。因此,多角度或者反常额状面髋部运动、髋关节内部旋转、膝关节外翻、膝关节内旋或者外旋或者限制髋关节和膝关节弯曲,都可能会增加 ACL 损伤的风险^[38]。研究显示,对异常或者不规则的神经肌肉募集策略,会提高对 ACL 损伤的神经肌肉参与的认识。未来研究重点是如何运用图像或者计算机仿真技术来确定在运动过程中 ACL 损伤的发生时间^[39]。

3 ACL 研究的特点及启示

本文主要通过科学计量学的方法并结合多元统计方法,对 ACL 损伤预防生物力学研究的现状、主

题及趋势进行分析。从分析结果看,目前 ACL 损伤预防的生物力学研究具有以下特点:① ACL 损伤的危险因素(致病原因)是多元的,一般可从内部、外部和生物力学 3 个方面综合考虑;② 研究领域不断扩大,学科交叉特征显著。研究可重点关注躯干运动、载荷以及肌肉力量、肌肉活动和落地或切入等生物力学动作之间的关系。学科涉及体育科学、外科、康复学、生理学、内科、风湿病学、医学和生物物理学等方向;③ ACL 损伤预防的生物力学研究可以为国家的经济社会服务,它在运动系统和神经肌肉系统疾病的病因分析、诊断、残废评定和人工韧带设计等方面都具有重要意义。

ACL 损伤预防研究的现状、主题及特征分析对国内 ACL 损伤预防生物力学研究的启示如下:

① 加大生物力学在运动损伤的预防与康复方面的研究。我国生物力学研究学者在运动损伤方面已经开展一些研究,但是在研究的量和影响力上却不大。研究人员需要拓宽自己的研究领域,帮助人们解决日常生活和体育锻炼过程中出现的问题,为全面实现全民健身计划贡献力量;② 加强国家、地方政府康复医疗事业在 ACL 损伤预防的引领作用。我国竞技体育实行的是举国体制,生物力学在 ACL 损伤预防的研究为运动员在国际大赛中取得优异成绩提供积极的辅助作用。同时,ACL 损伤预防研究应逐步向工业、医学、人体工程学倾向,为我国国民经济和体育产业的快速发展服务。

参考文献:

[1] Stein V, Li L, Lo G, et al. Pattern of joint damage in persons with knee osteoarthritis and concomitant ACL tears [J]. *Rheumatol Int*, 2012, 32(5): 1197-1208.

[2] Pródromos CC, Han Y, Rogowski J, et al. A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen [J]. *Arthroscopy*, 2014, 23(12): 1320-1325.

[3] Hughes G. A review of recent perspectives on biomechanical risk factors associated with anterior cruciate ligament injury [J]. *Res Sports Med*, 2014, 22(2): 193-212.

[4] Abate M, Vanni D, Pantalone A. Mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in female athletes: A narrative review [J]. *Am J Orthop*, 2013, 5(1): 27-34.

[5] 郑荣强, 商静怡. 非接触性前交叉韧带损伤的生物力学风险评估及预防[J]. *中国组织工程研究*, 2014, 18(24): 3919-3924.

[6] Renström PA. Eight clinical conundrums relating to anterior cruciate ligament (ACL) injury in sport: Recent evidence and a personal reflection [J]. *Br J Sports Med*, 2013, 47(6): 367-372.

[7] Frobell RB, Roos EM, Roos HP, et al. A randomized trial of treatment for acute anterior cruciate ligament tears [J]. *N Engl J Med*, 2010, 363(4): 331-342.

[8] Griffin LY, Angel J, Albohm MJ, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: Risk factors and prevention strategy [J]. *J Am Acad Orthop Sur*, 2000, 8(3): 141-150.

[9] Helen C, Smith MS, Vacek P, et al. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: A review of the literature—part 2: hormonal, genetic, cognitive function, previous injury, and extrinsic risk factors [J]. *J Sport Health*, 2012, 4(2): 155-161.

[10] Adachi N, Nawata K, Maeta M, et al. Relationship of the menstrual cycle phase to anterior cruciate ligament injuries in teenaged female athletes [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2007, 128(5): 473-478.

[11] Shultz SJ, Schmitz RJ, Nguyen AD, et al. ACL research retreat V: An update on ACL injury risk and prevention [J]. *Athl Train*, 2010, 45(10): 499-508.

[12] 李江, 庄逢源, 宋国立. 膝关节韧带的生物力学研究进展 [J]. *医用生物力学*, 2005, 20(1): 59-64.

Li J, Zhuang PY, Song GL. Advance in biomechanics of ligament of knee joint [J]. *J Med Biomech*, 2005, 20(1): 59-64.

[13] Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Rationale and clinical techniques for anterior cruciate ligament injury prevention among female athletes [J]. *J Athl Train*, 2004, 39(4): 352-364.

[14] Helen C, Smith MS, Vacek P, et al. Risk factors for anterior cruciate ligament injury: A review of the literature—part 1: neuromuscular and anatomic risk [J]. *Sports Health*, 2012, 4(1): 69-78.

[15] Anderson AF, Dome DC, Gautam S, et al. Correlation of anthropometric measurements, strength, anterior cruciate ligament size, and intercondylar notch characteristics to sex differences in anterior cruciate ligament tear rates [J]. *Am J Sports Med*, 2001, 29(4): 58-66.

[16] Bisson LJ, Gurske-DePerio J. Axial and saggital knee geometry as a risk factor for noncontact anterior cruciate ligament tear: A case-control study [J]. *Arthroscopy*, 2010, 26(11): 901-906.

[17] Janssen I, Sheppard JM, Dingley AA, et al. Lower

- extremity kinematics and kinetics when landing from unloaded and loaded jumps [J]. *J Appl Biomech*, 2012, 28(6): 687-693.
- [18] Houck JR, Duncan A, De Haven KE. Comparison of frontal plane trunk kinematics and hip and knee moments during anticipated and unanticipated walking and side step cutting tasks [J]. *Gait Posture*, 2006, 24(3): 314-322.
- [19] Sonika A, Carmen E, Quatman, *et al.* Prevalence and location of bone bruises associated with anterior cruciate ligament injury and implications for mechanism of injury: A systematic review [J]. *Sports Med*, 2014, 44(5): 281-293.
- [20] Boden BP, Torg JS, Kjiowles SB, *et al.* Video analysis of anterior cruciate ligament injury: Abnormalities in hip and ankle kinematics [J]. *Am J Sports Med*, 2009, 37(2): 252-259.
- [21] Kramer LC, Denegar CR, Buckley WE, *et al.* Factors associated with anterior cruciate ligament injury: History in female athletes [J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2007, 47(4): 446-454.
- [22] Myer GD, Ford KR, Palumbo JP, *et al.* Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes [J]. *J Strength Cond Res*, 2005, 19(1): 51-60.
- [23] Söderman K, Pietiläl T, Alfredson H. Anterior cruciate ligament injuries in young females playing soccer at senior levels [J]. *Scand J Med Sci Sport*, 2002, 12(2): 65-68.
- [24] 刘卉, 苏玉林, 于冰. 非接触性前交叉韧带损伤特点及机制的研究进展[J]. *医用生物力学*, 2008, 23(3): 240-250.
Liu H, Su YL, Yu B. Review on the research of the mechanisms of non-contact ACL injuries [J]. *J Med Biomech*, 2008, 23(3): 240-250.
- [25] Yu WD, Panossian V, Hatch JD, *et al.* Combined effects of estrogen and progesterone on the anterior cruciate ligament [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2001, 383(22): 268-281.
- [26] Miller BF, Hansen M, Olesen JL, *et al.* Tendon collagen synthesis at rest and after exercise in women [J]. *J Appl Physiol*, 2007, 102(2): 5441-5466.
- [27] Alentorn-Geli E, Myer GD, Silvers HJ, *et al.* Prevention of non-contact anterior cruciate ligament injuries in soccer players. Part 2: A review of prevention programs aimed to modify risk factors and to reduce injury rates [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2009, 17(32): 859-879.
- [28] Chimera NJ, Swanik KA, Swanik CB, *et al.* Effects of plyometric training on muscle-activation strategies and performance in female athletes [J]. *J Athl Train*, 2004, 39(3): 24-31
- [29] Herman DC, Weinhold PS, Guskiewicz KM, *et al.* The effects of strength training on the lower extremity biomechanics of female recreational athletes during a stop-jump task [J]. *Am J Sports Med*, 2008, 36(6): 733-740.
- [30] Pfeiffer RP, Shea KG, Roberts D, *et al.* Lack of effect of a knee ligament injury prevention program on the incidence of noncontact ACL injury [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2006, 88(2): 1769-1774.
- [31] Soderman K, Werner S, Pietila T, *et al.* Balance board training: prevention of traumatic injuries of the lower extremity in female soccer players? A prospective randomized intervention study [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2000, 8(1): 356-363.
- [32] Steffen K, Myklebust G, Olsen OE, *et al.* Preventing injuries in female youth football—A cluster-randomized controlled trial [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2008, 10(1): 143-153
- [33] Myer GD, Ford KR, Brent JL, *et al.* The effects of plyometric vs dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes [J]. *J Strength Cond Res*, 2006, 20(2): 345-353.
- [34] Quatman CE, Quatman-Yates CC, Hewett TE. A 'plane' explanation of anterior cruciate ligament injury mechanisms: A systematic review [J]. *Sports Med*, 2010, 40(9): 729-746.
- [35] Aaron S, Bonacci J, Scott G, *et al.* What is normal? Female lower limb kinematic profiles during athletic tasks used to examine anterior cruciate ligament injury risk: A systematic review [J]. *Sports Med*, 2014, 44(10): 815-832.
- [36] Olsen OE, Myklebust G, Engebretsen L, *et al.* Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: A systematic video analysis [J]. *Am J Sports Med*, 2004, 32(4): 1002-1012.
- [37] Markolf KL, Burchfield DM, Shapiro MM, *et al.* Combined knee loading states that generate high anterior cruciate ligament forces [J]. *J Orthop Res*, 1995, 13(6): 930-935.
- [38] Shin CS, Chaudhari AM, Andriacchi TP. Valgus plus internal rotation moments increase anterior cruciate ligament strain more than either alone [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43(8): 1484-1491.
- [39] Myer GD, Ford KR, Brent JL, *et al.* The effects of plyometric vs dynamic stabilization and balance training on power, balance, and landing force in female athletes [J]. *J Strength Cond Res*, 2006, 20(2): 345-353.