

膝腰综合征的测量研究方法及测量设备

杨强¹, 黄健²<https://doi.org/10.12307/2023.626>

投稿日期: 2022-06-08

采用日期: 2022-08-18

修回日期: 2022-09-02

在线日期: 2022-11-01

中图分类号:

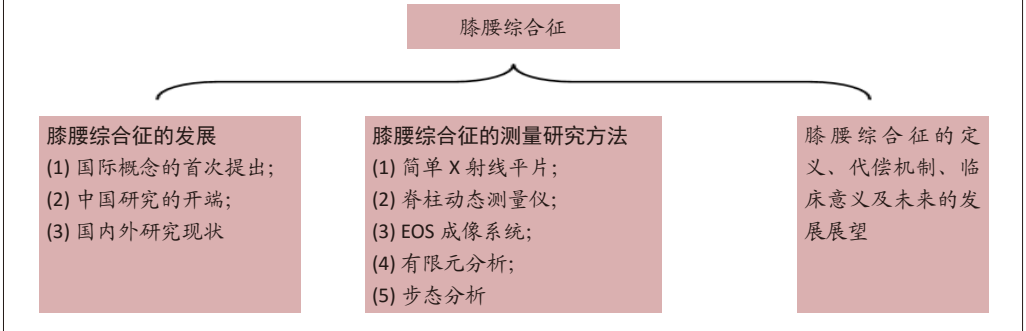
R452; R318; R608

文章编号:

2095-4344(2023)29-04751-06

文献标识码: A

文章快速阅读: 腰椎综合征的测量方法



文题释义:

膝腰综合征: 腰椎前凸角减小和骶骨倾斜增大会导致站立时大腿肌肉紧张和膝关节屈曲增加, 会增加下腰痛和膝前痛的发生, 这种腰椎前凸丧失和膝关节屈曲之间的显著相关性的综合征被称为膝腰综合征。

膝关节骨性关节炎: 是一种膝关节退行性老年病变。骨关节炎的病理特征为骨赘形成、软骨下骨和关节边缘反应性增生、软骨下骨硬化、关节软骨破坏。典型临床特征是膝关节疼痛畸形和功能受损。

摘要

背景: 临床上下腰痛和膝前痛极为常见, 并且两者常伴随出现。膝腰综合征可理解为腰椎前凸丧失和膝关节屈曲之间的显著相关性的综合征, 但目前针对膝关节及腰椎之间的相互代偿研究较少, 尤其是关于两者之间的研究方法及所使用的设备更是罕见报道。

目的: 通过对涉及膝腰综合征的相关文献进行归纳总结, 将各个研究中的测量方法及测量设备进行分析, 为进一步研究发展膝腰综合征给出提示。

方法: 应用计算机检索PubMed、中国知网、万方和维普数据库的相关文章, 英文检索词: “knee-spine syndrome, low back pain, biomechanics, balance parameters, knee, spine”, 中文检索词: “膝腰综合征、下腰痛、生物力学、平衡参数、膝关节、腰椎”, 最终纳入46篇文献进行综述分析。

结果与结论: ①腰椎矢状位平衡同膝关节屈曲角度之间存在相关性, 当膝关节发生屈曲挛缩畸形时, 躯体重心前移, 人体将重新建立新的平衡体系, 即腰椎曲度丧失、腰椎前凸角减小。②科学技术的革新, 是膝腰综合征深入发展的重要动力, 对膝腰综合征测量研究的技术手段包括X射线平片、EOS系统、SpinalMouse、有限元分析及步态分析方法等, 构建了从力线、应力、运动学和计算机模拟分析等多维度的测量探究体系, 将逐步揭秘膝关节与脊柱之间的相互代偿联系。③膝腰综合征的深入研究, 对发掘人体运动学及形态学的内在变化及相互代偿关系具有重要意义, 人体作为一个连续的整体运动单元, 通过对膝腰补偿机制的发掘, 将为临床工作中膝关节及腰椎疾病的诊疗工作提供指导及理论依据。

关键词: 膝腰综合征; 测量方法; 力线; 应力; 有限元分析; EOS系统; 步态分析; 代偿机制

Measurement research method and measurement equipment for knee-spine syndrome

Yang Qiang¹, Huang Jian²

¹Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China; ²The Second Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010000, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Yang Qiang, Master candidate, Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010110, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Corresponding author: Huang Jian, Professor, The Second Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot 010000, Inner Mongolia Autonomous Region, China

Abstract

BACKGROUND: Low back pain and anterior knee pain are very common in clinical work, and they often occur together. Although the concept of knee-spine syndrome has been clearly put forward, which is a significant correlation between lumbar lordosis loss and knee flexion, there are few studies on the mutual compensation between knee and lumbar spine. In particular, there is no report on the research methods and equipment used between the two.

OBJECTIVE: To summarize the relevant literature related to knee-spine syndrome, analyze the measurement methods and equipment in each study, and give tips for the further development of knee-spine syndrome.

¹内蒙古医科大学, 内蒙古自治区呼和浩特市 010110; ²内蒙古医科大学第二附属医院, 内蒙古自治区呼和浩特市 010000

第一作者: 杨强, 男, 1996年生, 汉族, 内蒙古医科大学在读硕士, 主要从事关节疾病方面的研究。

通讯作者: 黄健, 教授, 内蒙古医科大学第二附属医院, 内蒙古自治区呼和浩特市 010000

<https://orcid.org/0000-0002-9018-1831> (杨强)

基金资助: 内蒙古自治区科技计划项目(2021GG0194), 项目负责人: 黄健

引用本文: 杨强, 黄健. 膝腰综合征的测量研究方法及测量设备[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(29):4751-4756.



METHODS: The relevant articles in PubMed database and CNKI database were searched by computer. The Chinese and English search terms were “knee-spine syndrome, low back pain, biomechanics, balance parameters, knee, spine”. Finally, 46 articles were included for review and analysis.

RESULTS AND CONCLUSION: (1) There is a correlation between the sagittal balance of the lumbar spine and the flexion angle of the knee joint. When the knee joint has a flexion contracture deformity, the center of gravity of the body moves forward, and the human body will re-establish a new balance system, that is, the loss of lumbar curvature and lumbar lordosis. (2) The innovation of science and technology is an important driving force for the in-depth development of knee-spine syndrome. The technical means for the measurement and research of knee-spine syndrome include X-ray plain film, EOS system, SpinalMouse, finite element analysis, and gait analysis to build a multi-dimensional measurement and exploration system from lines of force, stress, kinematics, computer simulation analysis, etc., which will gradually reveal the mutual compensatory connection between the knee joint and the spine. (3) In-depth research on knee-spine syndrome is of great significance to explore the internal changes and mutual compensation relationship of human kinematics and morphology. The human body is a continuous integral movement unit, can provide guidance and theoretical basis for diagnosis and treatment of knee joint and lumbar spine diseases in clinical work by exploring the compensatory mechanism of the knee and waist.

Key words: knee-spine syndrome; measurement method; force line; stress; finite element analysis; EOS system; gait analysis; compensatory mechanism

Funding: Science and Technology Project of Inner Mongolia Autonomous Region, No. 2021GG0194 (to HJ)

How to cite this article: YANG Q, HUANG J. Measurement research method and measurement equipment for knee-spine syndrome. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu.* 2023;27(29):4751-4756.

0 引言 Introduction

膝腰综合征最早是被描述为一种新的病理概念：腰椎前凸角和骶骨倾斜角减小，导致老年人站立时大腿肌肉紧张度增加、膝关节屈曲角度增大，造成下腰痛和膝前痛的发生^[1]。临床上下腰痛和膝前痛的发生可能同时出现^[2]，但对于疼痛来源的分析尚显不足，针对两者的治疗将耗费极大的公共卫生资源；下腰痛及膝前痛常合并出现于膝关节骨性关节炎患者中，据报道膝关节骨性关节炎的危险因素包括：高龄、女性、肥胖、肌肉力量、高骨密度、膝关节损伤、遗传因素、氧化应激和吸烟等，但是对于膝关节及腰椎之间的相互影响关系的研究较少^[3-9]。膝腰作为一个连续的人体铰链式结构，两者之间相互影响、相互代偿且互为因果，膝腰综合征的研究致力于揭秘膝腰两者之间的相互代偿关系，影响着临床医师的治疗决策，可谓至关重要。目前对于膝腰综合征的综述性文章未见报道，且近些年随着先进技术及新兴科学理念的诞生，膝腰综合征的研究迈入了新的历史篇章。

文章就膝腰综合征测量研究的技术手段进行归纳及介绍，同时就膝腰综合征的研究现状进行综述，为进一步研究膝腰综合征给出新的启示。

1 资料和方法 Data and methods

1.1 资料来源

1.1.1 检索人及检索时间 由第一作者在 2022-03-31 进行文献检索。

1.1.2 检索文献时限 文献发表时间为 2000-01-01/2022-03-31。

1.1.3 检索数据库 包括 PubMed、中国知网、万方和维普数据库。

1.1.4 检索词 英文检索词为 “The knee-spine syndrome, low back pain, biomechanics, balance parameters, knee, spine”；中文检索词为 “膝腰综合征、下腰痛、生物力学、平衡参数、膝关节、腰椎”。

1.1.5 检索文献类型 研究原著及综述。

1.1.6 检索策略 以 PubMed 和中国知网数据库检索策略为例，见图 1。

1.1.7 检索文献量 初检文献 368 篇。

1.2 入组标准

1.2.1 纳入标准 ①具有原创性、论点论据可靠的文章，相关度高的文献；②有关膝关节及腰椎之间代偿机制研究的期刊论文、学位论文及综述性文章。

1.2.2 排除标准 ①个案报道、综述类文献；②重复性研究及部分相关性较低的基础类文章；③内容重复或陈旧性观点的文献；④与综述研究目的不符的文献；⑤无法获取全文的文献。

PubMed 数据库	中国知网数据库
#1 The knee-spine syndrome [Title/Abstract]	#1 膝腰综合征
#2 Knee[Title/Abstract]	#2 下腰痛
#3 Low back pain [Title/Abstract]	#3 膝前痛
#4 Spine [Title/Abstract]	#4 #2 AND #3
#5 #2 AND #3 AND #4	#5 平衡参数
#6 Balance parameters[Title/Abstract]	#6 生物力学
#7 Biomechanics [Title/Abstract]	#7 #1 AND #5 AND #6
#8 #1 AND #6 [Title/Abstract]	#8 #4 AND #7
#9 #6 OR #7[Title/Abstract]	
#10 #5 AND #9	

图 1 | PubMed 和中国知网数据库检索策略图

1.3 文献质量评估和数据的提取 通过上述检索词及检索工具共检索到相关文献 368 篇，通过阅读文题及摘要，初步筛选后纳入相关文献 56 篇，其中英文 39 篇，中文 17 篇；经阅读全文后，排除内容重复、综述类、质量较差以及相关性低的文献后筛选纳入 46 篇文献进行评价。文献检索流程，见图 2。

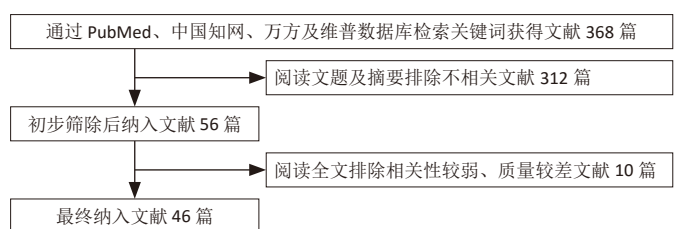


图 2 | 文献检索流程图

2 结果 Results

2.1 膝腰综合征的起源 在 2002 年，日本名古屋大学医学部学者 TSUJI 首次描述了膝腰综合征。在一项社区普查的研究中，随机选取纳入 156 名 [(66.6±6.3) 岁，男性 68.2 岁，女性 66.3 岁] 无明显膝关节骨性关节炎的受试对象，发现下腰痛和膝前痛之间存在显著的相关性。此前 OFFIERSKI 和 MACNAB^[10] 就探究过脊柱矢状位对位与髌关节疼痛之间的相关性，并将其定义为髌-腰综合征，受此启发 TSUJI 等^[1] 将这种腰椎前凸角、骶骨倾斜角的减小与膝关节屈曲角度增大之间的显著相关性称为膝腰综合征。此后，拉开了膝关节与腰椎矢状位对位之间关系的研究的崭新篇章。随后，2003 年日本千叶大学学者 MURATA 等^[11] 筛查了 365 例膝关节痛和 (或) 下腰痛患者，分别测量了骶骨倾斜角、膝关节屈曲度及腰椎前凸角，表明膝关节的退行性屈曲改变可能是腰椎脊柱前凸角丧失变化的一个因素，并将这种相关性也定义为膝腰综合征。

中国学者在早期也同样关注这一新兴概念并给予研究，黄

健教授等^[12]对行全膝人工关节置换术的患者进行了长期的随访研究,发现成功的膝关节置换后可能出现腰椎症状或原有症状加重的情况,并用膝腰综合征的理论进行探讨及剖析,指出在矫正下肢屈曲挛缩畸形后腰椎的生理曲度逐渐恢复如前,腰椎前凸角增大,使得具有姿势依赖性的腰椎管容积相对减小^[13-14],进而可能出现腰椎症状或原有症状加重的现象,为临床医师进行医疗决策,提供了指导及理论依据。

膝腰综合征这一概念逐渐进入世界众多研究者的视野之中,也一度成为关节科、脊柱科、矫形科临床工作医师的研究热点,其内在机制对解读整个人体的力线构成、相互代偿变化及各种临床现象的发生具有重要意义^[15-45]。膝腰综合征的研究历程,见表1。

表1 | 膝腰综合征的研究发展历程

第一作者	发表年份	研究方法	主要观察指标	主要结果及意义
TSUJI ^[1]	2002年	简单X射线片(膝关节正侧位及腰椎正侧位)	腰椎前凸角及膝关节屈曲度	发现腰椎前凸角与膝关节屈曲角度之间具有显著相关性并首次提出膝腰综合征概念
MURATA ^[11]	2003年	简单X射线片(膝关节正侧位及腰椎正侧位)	腰椎前凸角及膝关节屈曲度	对社区来源的365名志愿者进行观察,发现类似相关性,进一步肯定膝腰综合征并丰富其定义,初步探讨腰椎退行性改变是膝腰综合征内在机制之一
黄健 ^[12]	2007年	简单X射线片(膝关节正侧位及腰椎正侧位)	腰椎前凸角及膝关节屈曲度	全膝关节置换前后腰椎前凸角改变具有显著意义,是国内对膝腰综合征研究较为有意义的一篇文章,将膝腰综合征的理念应用于全膝关节置换,并提出全膝置换前首先正确判断疼痛的主要来源再确定膝、腰的治疗顺序
YANAGISAWA ^[24]	2015年	脊柱动态测量仪	骶骨倾斜角、躯干倾斜角、脊柱活动度及膝关节屈曲度	膝关节屈曲挛缩组的骶骨倾斜角、躯干倾斜角、脊柱活动度显著降低($P < 0.05$),首次将全脊柱因素纳入膝腰综合征的研究范围,评价全脊柱因素在膝腰综合征中的作用
LAZENNEC ^[32]	2016年	EOS系统	骨盆倾斜角、腰椎前凸角及膝关节屈曲度	在低骨盆倾斜角(PT)(<48°)的患者中,骨盆会率先进行后伸的代偿改变,然后再开始下肢的适应性代偿改变;将骨盆因素(即所谓的骶腰综合征)纳入研究,探究膝腰三者之间的代偿顺序
IJIMA ^[40]	2020年	步态分析系统	步长、步速、内翻应力、下腰痛得分	内翻应力患者出现中度至重度下腰痛的风险高出3.6倍(95%CI: 1.62-8.10)。应用步态分析,发现膝关节内翻应力和下腰痛之间的新关系,这支持了生物力学联系的观点,他的研究强调了内翻推力和下腰痛之间的新关系,这支持了生物力学联系的想法,为阐明膝腰综合征提供了新的见解
YASUDA ^[45]	2020年	简单X射线片(膝关节正侧位及腰椎正侧位)	腰椎前凸角、骨盆倾斜角及膝关节骨性关节炎分级	K-L评分4分的腰椎前凸角、骨盆倾斜角T明显高于其他K-L评分分级,膝骨关节炎和骨盆排列之间的相关性很强,但因缺乏纵向研究因果关系仍不清楚

2.2 膝腰综合征的测量研究方法

2.2.1 简单X射线平片测量法 自膝腰综合征研究开始,各节段腰椎矢状位角度一直以来都是其经典的观测指标。通过腰椎X射线平片获取各腰椎矢状位参数的方法较为传统,这些研究参数通常包括腰椎前凸角、骶骨倾斜角、胸椎后凸角(thoracic kyphosis angle, TK)、脊柱倾斜角(spinal inclination angle, SIA)

等^[15-16],这些角度具有姿势依赖性,反映各阶段腰椎的对位情况,当下肢力线改变发生时,为平衡整个人体的直立状态,髋关节、骶髂关节、全脊椎关节均将发生相应的代偿性改变^[17-18],见表2。

表2 | 膝腰综合征矢状位参数汇总表

矢状位参数	英文名称	英文缩略语	测量方法	生理意义
腰椎前凸角	Lumbar lordosis	LL	腰椎L ₁ 上终板和L ₅ 下终板向前延长线的夹角	脊柱矢状位姿势平衡的重要参数之一,最佳弧度尚不清楚,可能和体重,活动,肌肉力量,脊柱伸展性和下肢平衡等相关
骶骨倾斜角	Sacral slope	SS	骶骨终板平面与水平线之间的夹角	SS和PT是骨盆的位置参数,且随着形态、位置和姿势的改变而变化。成年人中的正常值变化很大SS: 30°-50°, PT: 10°-25°
骨盆倾斜角	Pelvic tilt	PT	S ₁ 上终板的中点与股骨头中心连线和竖直垂线之间的夹角	在成年期,PI是恒定的,且PI=SS+PT,所以SS与PT负相关
骨盆投射角	Pelvic incidence	PI	S ₁ 上终板的中点与股骨头中心连线和S ₁ 上终板垂线之间的夹角(若双侧股骨头不重叠,则取两股骨头中心连线的中点)	SS与腰椎前凸有明显的关系,SS越垂直,腰椎前凸角越大,反之亦然
胸椎后凸角	Thoracic kyphosis angle	TK	T ₁ 上终板切线与T ₁₂ 下终板切线之间的夹角	因老年性骨质疏松、老年性磨损和椎间盘退变导致椎体变形、不平衡高度丢失,而随年龄的增长而增大,后凸度数为20°-45°
脊柱倾斜角	Spinal inclination angle	SIA	从第一胸椎到第一腰椎的铅垂线和直线之间的角度	衡量全脊柱矢状位平衡的重要参数
膝关节角度	Knee angle	KA	用大转子和膝关节外侧髁之间以及膝关节外侧髁和踝关节外侧髁之间的两条线测量膝关节角度	其正常值为0°-135°是衡量膝关节疾病的重要指标当发生膝关节疾病时可能造成膝关节屈曲挛缩、内翻等畸形
骨盆股骨角	Pelvic femoral angle	PFA	股骨轴线与股骨头中心和骶骨终板中点连线的夹角	是构成骨盆倾斜角的重要参数,受下肢力线影响,在评估下肢力线发生改变,骨盆代偿改变时有重要意义
骶骨股骨角	Sacrum femoral angle	SFA	骶骨终板后缘切线与股骨轴线的夹角	

表注: PT(骨盆倾斜度) = FPA(股骨骨盆角) + FTA(股骨倾斜角)

目前的很多研究认为膝关节屈曲度与腰椎前凸角呈负相关,即膝关节屈曲度愈大,腰椎前凸角愈小。刘飞等^[19]收集正常人64例和骨关节炎患者62例的站立位全脊柱侧位X射线平片并测量各腰椎及骨盆参数,发现膝关节屈曲明显的骨关节炎患者,其脊柱和骨盆参数均发生有显著性差异的改变;值得注意的是;在该研究中骨盆投射角(pelvic incidence, PI)较对照组增大,骶骨股骨角(sacrum femoral angle, SFA)和骨盆股骨角(pelvic femoral angle, PFA)较对照组减小,这表明膝关节的屈曲挛缩畸形不仅可以导致腰椎矢状位排列异常,还影响着骨盆与股骨的矢状位排列,但对于髋、脊柱的先后变化未进一步进行说明。LEE等^[20]不同于以往研究,设计全新的研究方法探究膝关节屈曲度与腰椎矢状位对位之间的关系,以期明确在正常人群中脊柱和骨盆对膝关节屈曲的代偿性反应方式及反应的先后顺序。该研究选取30名平均年龄为30.4岁(26-37岁)的年轻男性志愿者,双侧膝盖上戴上运动控制的膝关节支架,这种支架可以模拟两种不同的膝关节屈曲角度15°和30°,然后分析各膝关节屈曲角度下的腰椎X射线片,结果发现膝关节屈曲对骨盆各参数没有明显的影响,但可以导致腰椎前凸角的减小和上身

矢状面平衡的前移, 这表明当膝关节屈曲发生时腰椎会首先出现代偿反应从而保持平衡, 并解释原因可能是相比之下, 腰椎的活动度大故而反应较为迅速且灵敏, 骨盆的活动度较腰椎要小得多, 故而改变较小且迟缓。该研究证明了膝腰之间的相互联系性, 存在相互代偿改变; 然而此研究尚存在局限性, 实验不能确定是否能够反映真实的病理情况, 因为长期以往的膝关节屈曲挛缩畸形是不能被模拟的。

此后国内外的学者利用简单X射线平片的研究方法已经延续数十年^[21-22], 通过测量简单的X射线片上各种矢状位角度进而研究膝腰综合征的方法已经不能满足膝腰综合征的发展需要, 因为局部的X射线片检查不能提供同一瞬时情况下的其他部位的代偿反应。X射线平片的优势在于摄片方式简便、快捷、价格低廉, 并且对于后期测量操作来说也是十分简单, 在衡量各种角度、构建力线方面也是体现出不俗的优势。同样的其缺点也较为明显, 整个拍摄过程为静态测量、获得的也仅是局部图像并且受拍摄者的体位影响较大, 易产生误差, 影响实验的准确性。最后, 对于诸如此类静态且局部的参数测量的研究来说, 已经不足以支撑膝腰综合征的发展及进步, 新设备、新理念的诞生为这一研究领域带来了全新的研究视野。

2.2.2 脊柱动态测量法(The Spinal Mouse) 2015年日本学者TAUCHI等^[23]利用脊柱动态测量仪对全脊柱活动度等指标作出测量, 并进一步推测膝关节骨性关节炎与全脊柱倾斜角度具有相关性, 但不确定哪个因素先出现。提出2种膝、腰之间的代偿机制, 一方面, 对于脊柱倾斜角度增加、头部向前弯曲和矢状面失衡的老年人, 他们必须保持髋关节和膝关节的屈曲, 以保持他们的矢状面平衡从而稳定地站立, 这时膝关节在弯曲的位置会变得过载, 这种持续的过载导致膝关节骨性关节炎的发生, 这可以被称为脊柱-膝关节综合征。另一方面, 如果一个老年人先有膝关节骨性关节炎的发生, 站立位时膝关节屈曲挛缩畸形, 致使重心前移, 长久屈膝卑躬姿态, 造成腰椎小关节突的应力集中, 加速骨赘增生, 使得脊柱矢状位失衡, 这可以被称为膝关节-脊柱综合征, 这为进一步研究这个问题奠定了基础, 首次证明了全脊柱因素与膝关节骨性关节炎之间的联系性。同年YANAGISAWA等^[24]利用脊柱动态测量仪对246名山区村民进行大规模横断面调查, 得出膝腰之间具有强相关性的结论, 然而两者之间的主导关系还是不能确定。

此前的多项研究可以证明脊柱动态测量仪的可靠性^[25-28], 脊柱动态测量仪的应用使全脊柱因素纳入膝腰综合征的研究范畴, 为膝腰综合征的研究提供了新的研究角度。虽然脊柱动态测量仪是一款廉价、快捷的测量手段, 但是利用它可以获得全脊柱活动度、分析全脊柱力线的整体变化。这是简单X射线平片所不具备的, 同理若分析其缺点, 那便是利用脊柱测量仪这类计算机辅助工具来测量脊柱变化, 获得的仅仅是较为粗略的整体变化数据, 对于脊柱内部各节段的变化, 不能较为细致且真实地反映代偿情况。

2.2.3 EOS测量法 近些年脊柱矢状位的失衡或者也可以说是矢状位对位不良逐渐成为研究热点, 其代偿机制的研究也多集中于骨盆和髋关节^[29], 对下肢的研究较少^[30], 因为此类研究要求获得同一时间状态下的腰椎及下肢的X射线片, EOS系统的诞生为解决这一问题带来希望。EOS系统可以提供患者负重状态下功能位的三维立体成像, 最重要的是图像可以在无拼接和放大失真的情况下获得全身的负重位图像, 更好地可视化脊柱、髋关节和膝关节三者之间的相互代偿^[31]。LAZENNEC等^[32]将EOS系统应用于腰椎管狭窄患者的研究, 其中通过对站立位及坐位的EOS图像分析, 证明了下肢对腰椎矢状位平衡的重要代

偿作用; 强调了对于存在腰椎管狭窄合并下肢病变的髋-腰、膝-腰综合征患者行EOS检测、进行整体评估的必要性; 探讨了骨盆和下肢代偿现象的出现时间和先后分布的问题, 认为在低骨盆倾斜角($PT < 48^\circ$)的患者中, 骨盆会率先进行后伸的代偿改变, 然后再开始下肢的适应性代偿改变。

对于正常和高倾斜角的情况, 骨盆伸展的代偿储备较大, 但在大多数情况下, 站立位时骨盆伸展代偿能力是并不能全部发挥的。有研究对28例存在严重脊柱畸形的患者进行了研究, 并应用EOS系统测量获得各脊柱和骨盆参数以及同一时间状态下的膝关节屈曲角度, 然后进行了不同测量参数之间的相关性分析, 结果提示: 腰椎前凸角与骶骨倾斜角、膝关节屈曲角度相关^[33]; 骨盆倾斜与膝关节屈曲角度中度相关($r=0.55$), 其中腰椎前凸角与膝关节屈曲角度拥有最好相关性。对脊柱存在畸形的患者进行研究, 是较为新颖的出发点, 对膝腰之间的相互联系给予新的证据; 脊柱的正常矢状位排列是骨盆、脊柱和下肢之间相互代偿平衡的结果。膝关节屈曲畸形可以作为腰椎矢状面不平衡的一种代偿机制, 因而在行全膝关节置换或其他可以改变下肢力线的手术时应充分考虑对髋、脊柱的影响, 进一步完善手术细节及临床决策。

通过EOS系统, 研究者在低剂量辐射下就可以获得实时的站立位和坐位患者的整体图像并且通过后处理软件, 还可以获得无拼接、无放大失真的负重状态下人体三维立体成像, 为分析脊柱平衡和下肢代偿并进一步设计、优化手术策略提供了新的研究工具^[34]。但是对于膝腰综合征的发展来说, 此类瞬时图像的作用虽然极为重要, 但是没能在运动体系中探究膝、腰两者的代偿变化, 并且EOS系统的构建, 需要较大的财力、物力的投入, 目前尚未在中国医院形成普及。

2.2.4 有限元分析法 1972年BELYTSCHKO等将有限元分析应用于脊柱力学研究, 目前的有限元分析可对椎体、椎间盘、关节突和椎旁肌肉韧带等进行建模研究, 从而进行术前模拟, 预测手术效果, 优化手术方案等操作, 重要的是其可对骨内部的应力进行估算^[35]。对研究人体腰椎生物力学而言是一种行之有效的方法。吕震^[36]将有限元分析应用于膝腰综合征的研究, 他将因膝关节骨性关节炎内翻畸形导致的腰椎侧弯患者进行有限元建模生物力学分析, 发现随工况的不同腰椎应力最大的责任椎不同且应力均集中于关节突关节, 这样的改变将更容易引发骨性关节炎或加重腰椎的侧凸^[37]。周恩昌等^[38]也进行相似的研究, 发现因为骶骨和髌骨的相对稳定结构使膝内翻引起的腰椎后缘的应力变化主要集中在 L_5-S_1 , 膝腰综合征生物力线的矫正方式是腰椎、骨盆及膝关节之间的相互代偿。膝关节屈曲挛缩后骨盆后倾增加, 腰椎前凸减小来代偿因膝关节屈曲导致的重心前移; 膝关节内翻畸形后骨盆水平倾斜, 腰椎出现侧弯改变来代偿因膝关节内翻导致的重心向内翻方向偏移。严重的内翻畸形患者的力线失衡时腰椎活动度不能满足代偿需要, 此时骨盆的代偿作用会更加明显。膝关节、骨盆和腰椎之间存在相互影响, 并非是两者之间的单独联系。在整个代偿过程中腰椎直接代偿膝关节改变与通过骨盆传导间接代偿膝关节改变这两种机制同时存在。

就膝腰综合征而言, 应力的研究是必要的, 有限元分析作为一种虚拟仿真的研究方法, 其优点在于可操作性、可视性及较强的可重复性, 对于已构建的模型可以反复施加不同的操作条件, 获得相应的应力分布云图, 通过对腰椎、膝关节的应力分布云图, 可以获得较为真实的代偿改变方式及应力变化趋势, 然而这类虚拟仿真的研究方法操作繁琐, 需研究者学习大量的软件操作并有一定的计算机基础。

2.2.5 步态分析法 步态分析最早可以追溯到 20 世纪 50 年代^[39]，最早的文献报道的方法是从滑石粉或墨汁足印法、平面定点摄像法等等，发展至今拥有了三维步态分析法，三维步态分析是在受分析者身上多个解剖标志点放置红外线标记物，以多台外线高速摄影机接收静态或步行时的信号，由计算机合成三维坐标，从而获得步长、步速等时间、空间参数和各个关节活动角度变化参数，并在受分析者步行过程中通过测力平台获得地面反作用力、力矩等动力学指标，条件满足的情况下还可以结合表面肌电图获得下肢肌群活动情况，为膝关节关节炎的诊断、治疗及研究提供先进而全面的技术支持，步态分析流程图见图 3。

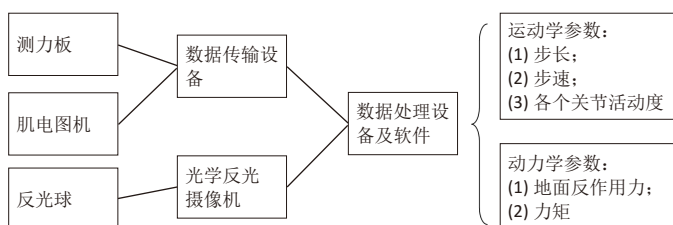


图 3 | 步态分析流程图

HARATO 等^[25]在模拟膝关节屈曲挛缩的步态分析中检查了 10 名健康女性，以阐明膝腰综合征，他们的研究表明膝关节屈曲挛缩显著影响三维躯干运动学，并会导致脊柱矢状位排列失衡。IJIMA 等^[40]将步态分析应用于膝腰综合征的研究，发现在步态分析中，存在膝关节内翻应力的患者发生中到重度下腰痛的风险是对照组的 3.6 倍。据调查 16%–31% 的膝关节骨性关节炎患者存在膝关节的内翻应力^[41]。这项研究强调了膝关节内翻应力和下腰痛之间的新关系，证明了此前的生物力学观点，即所谓的膝腰综合征^[42-43]。SOTELO 等^[44]纳入 24 名健康的成年人进入步态分析的研究，通过护膝锁定单侧膝关节不同的屈曲角度进行分析，导出正常行走和单侧膝关节屈曲 30° 和 60° 行走时的骨盆和躯干以及下肢的运动学参数发现，在支撑相时，髌关节、膝关节屈曲角度和踝背屈角度均显著增加；在单侧膝关节屈曲角度小于 30° 时，骨盆和上身运动学参数没有改变，指出下肢可以完全代偿小于 30° 的膝关节屈曲畸形，不对称的肢体负荷将增加下肢关节长期不良反应的风险。这些发现为阐明膝骨性关节炎相关腰痛的发病机制提供了新的视角。

步态分析是伴随高科技产物不断进步、完善的研究方法，对行走中的各个过程进行量化分析，从时间、空间领域进行膝腰综合征的研究，其无辐射、无害的操作也是研究者们较为欣赏的一点。步态分析的研究是运动医学研究中极为重要的一环。综上所述，各类研究方法均有其独到之处，各测量方法优缺点可见表 3。

3 讨论 Discussion

3.1 既往他人该领域研究的贡献和存在的问题 膝腰综合征这一概念的起源较早，对其内在代偿机制的探索一直以来都是热点的研究方向，然而就目前的文献报道来说，尚缺乏纵向研究，对于膝腰两者的因果关系还不能十分明确^[45]，值得相信的是在疾病的发生发展中两者相互联系，相互代偿且互为因果。

膝腰综合征的研究测量方法涵盖了多种技术手段，包括利用放射影像学工具获得各种腰椎、膝关节的角度参数；利用计算机辅助工具—脊柱动态测量仪获得全脊柱活动度；利用步态分析获得各部分时空变化参数等，通过这些参数的研究，从运

表 3 | 各测量方法优缺点汇总表

测量方法	测量设备	优点	缺点
简单 X 射线平片测量法	X 射线仪	简便、快捷、廉价、方便、简单的软件即可操作获得矢状位参数	静态测量、局部图像、受拍摄者的体位影响较大
脊柱动态测量法	脊柱动态测量仪	快捷、廉价、可以测得全脊柱活动度、设备安全	获得的全脊柱数据较为粗略、对节段脊柱的轻度失衡不敏感
EOS 测量法	EOS 成像系统	低剂量辐射下可以获得负重状态下三维立体成像、整体图像无拼接、无放大失真	整个测量体系在静止中完成、不能获得运动体系中的代偿变化
有限元分析法	CT/有限元软件	获得椎体的应力分布云图、给予模拟条件可获得应力改变方向及趋势，可操作性、可重复性	操作繁琐研究者需学习相关软件操作、需要行 CT/核磁等检查
步态分析法	步态分析系统	对行走过程中的动力学、运动学参数进行量化分析、无辐射等人体有害操作	需构建较为专业的步态分析系统

动力学、力学和姿态学等多维度对膝腰综合征进行解读，然而由于其内在复杂性，与其相关的国内外文献较少，尤其是与膝腰综合征直接相关的研究更是罕见。对于研究成果的临床转化来说，在膝关节疾病、腰椎疾病的临床诊疗过程中，膝腰综合征这一理念的加入将具有十分重要的意义^[46]，尤其是在膝关节及腰椎疾病同时存在的情况下，提示着研究者们要慎重考虑两者的治疗顺序问题，有学者认为膝关节骨性关节炎合并退变性腰椎管狭窄的中老年患者，成功的关节置换术后可能出现腰椎症状或原有症状加重的可能，故而建议当存在两者疾病同时存在时，要优先处理腰椎疾病。此类问题在临床工作中较为常见，膝腰综合征的深入研究可以有效为临床工作者提供诊疗决策依据，更加规范、合理和科学地为患者服务。

3.2 该综述区别于他人他篇的特点 对于膝腰综合征的综述性文献未见报道，此概念的发生、发展也未见系统阐述；文章涵盖了所有与膝腰综合征直接相关的文献，对文献中涉及的各种研究测量设备进行逐一介绍分析；同时细致地归纳总结了各种测量设备的优缺点并进行相互比较；研究者可根据研究目的不同，选择合适的测量设备进行实验研究。

3.3 综述的局限性 ①文章中部分引用文献年份久远，可能存在一些偏倚及误差；②文献中涉及的研究设备专业性较强，对其优缺点的归纳可能存在偏倚及误差；③纳入的文献样本较少，原因可能与检索不全面相关。

3.4 综述的意义 文章对膝腰综合征的研究现状、测量设备等进行归纳和总结，旨在让研究者能够在较短的时间内对膝腰综合征有一定的了解。启发读者能够更加深入的研究膝腰综合征。

3.5 课题专家组对未来的建议 研究者在明确膝腰综合征的详细代偿机制的基础上应建立一个膝腰综合征患者的数据库，将膝腰综合征患者的膝、腰特征进行量化分析，进一步评价膝关节屈曲挛缩畸形与腰椎矢状位失衡的相关性、推导膝腰之间的相互代偿变化的预测公式，为膝、腰疾病的诊疗给出依据。相信未来膝腰综合征的研究还可以更进一步，如继续深入研究相关炎症因子的参与过程和基因层面的筛选等。

作者贡献：文章设计者、资料收集和撰写论文为第一作者。通讯作者审核。

利益冲突：文章的全部作者声明，在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突。

开放获取声明：这是一篇开放获取文章，根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享 4.0”条款，在合理引用的情况下，允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展，同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献，并为之建立索引，用作

软件的输入数据或其它任何合法用途。

版权声明：文章出版前全体作者与编辑部签署了文章版权转让协议。

出版规范：文章撰写遵守了《系统综述和荟萃分析报告规范》(PRISMA 声明) 出版前经过专业反剽窃文献检测系统进行 3 次文字和图表查重；经小同行外审专家双盲审稿，同行评议认为符合期刊发稿宗旨。

4 参考文献 References

[1] TSUJI T, MATSUYAMA Y, GOTO M, et al. Knee-spine syndrome: correlation between sacral inclination and patellofemoral joint pain. *J Orthop Sci.* 2002; 7(5):519-523.

[2] UEHARA K, AKAI M, DOI T, et al. Relationship between X-ray findings of lumbar spondylosis and knee pain. *BMC Musculoskeletal Disorders.* 2019; 20(1):379.

[3] BLAGOJEVIC M, JINKS C, JEFFERY A, et al. Risk factors for onset of osteoarthritis of the knee in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2010;18(1):24-33.

[4] BURGER H, VAN DAELE PL, ODDING E, et al. Association of radiographically evident osteoarthritis with higher bone mineral density and increased bone loss with age. *The Rotterdam Study. Arthritis Rheum.* 1996;39(1):81-86.

[5] DAVIS MA, ETTINGER WH, NEUHAUS JM, et al. The association of knee injury and obesity with unilateral and bilateral osteoarthritis of the knee. *Am J Epidemiol.* 1989;130(2):278-288.

[6] HART DJ, DOYLE DV, SPECTOR TD. Incidence and risk factors for radiographic knee osteoarthritis in middle-aged women: the Chingford Study. *Arthritis Rheum.* 1999;42(1):17-24.

[7] MURAKI S, AKUNE T, OKA H, et al. Incidence and risk factors for radiographic knee osteoarthritis and knee pain in Japanese men and women: a longitudinal population-based cohort study. *Arthritis Rheum.* 2012;64(5):1447-1456.

[8] SEKI T, HASEGAWA Y, YAMAGUCHI J, et al. Association of serum carotenoids, retinol, and tocopherols with radiographic knee osteoarthritis: possible risk factors in rural Japanese inhabitants. *J Orthop Sci.* 2010;15(4):477-484.

[9] YUDOH K, NGUYEN V, NAKAMURA H, et al. Potential involvement of oxidative stress in cartilage senescence and development of osteoarthritis: oxidative stress induces chondrocyte telomere instability and downregulation of chondrocyte function. *Arthritis Res Ther.* 2005;7(2):R380-R391.

[10] OFFIERSKI CM, MACNAB I. Hip-spine syndrome. *Spine (Phila Pa 1976).* 1983; 8(3):316-321.

[11] MURATA Y, TAKAHASHI K, YAMAGATA M, et al. The knee-spine syndrome. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume.* 2003;85-B(1):95-99.

[12] 黄健, 吕厚山, 白楚杰, 等. 膝关节骨性关节炎合并退行性变性腰椎病 变全膝关节置换术后患者腰椎前凸角度与膝关节屈曲矫正度的变化 [J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2007,11(4):722-724.

[13] 郑文鑫. 腰椎管狭窄手术前后 CT 测量椎管容积的价值研究 [D]. 海口: 海南医学院, 2018.

[14] 戴力杨. 腰椎屈伸活动对椎管容量的影响 [J]. *第二军医大学学报*, 1989, 9(3):197-199.

[15] GLASSMAN SD, BRIDWELL K, DIMAR JR, et al. The impact of positive sagittal balance in adult spinal deformity. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005;30(18): 2024-2029.

[16] MIN K, HAHN F, LEONARDI M. Lumbar spinal osteotomy for kyphosis in ankylosing spondylitis: the significance of the whole body kyphosis angle. *J Spinal Disord Tech.* 2007;20(2):149-153.

[17] KECHAGIAS VA, GRIVAS TB, PAPAGELOPOULOS PJ, et al. Investigation of the relationship between hip and knee osteoarthritis and disordered spinal and pelvic morphology. *Cureus.* 2022;14(1):e20861.

[18] WANG WJ, LIU F, ZHU YW, et al. Sagittal alignment of the spine-pelvis-lower extremity axis in patients with severe knee osteoarthritis. *Bone Joint Res.* 2016,5(5):198-205.

[19] 刘飞, 王渭君, 翁文杰, 等. 膝关节骨性关节炎患者脊柱-骨盆-下肢矢状面形态变化的初步研究 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2015,23(9):784-789.

[20] LEE CS, PARK SJ, CHUNG SS, et al. The effect of simulated knee flexion on sagittal spinal alignment: novel interpretation of spinopelvic alignment. *Eur Spine J.* 2013;22(5):1059-1065.

[21] KATSUMI R, MANNEN EM, BAJAJ G, et al. The influence of knee osteoarthritis on spinopelvic alignment and global sagittal balance. *J Knee Surg.* 2022. doi: 10.1055/s-0042-1747947.

[22] 张胜国, 刘海鹰, 王波, 等. 膝关节屈曲畸形与腰椎和骨盆矢状位对线的相关性研究 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2013,21(9):914-917.

[23] TAUCHI R, IMAGAMA S, MURAMOTO A, et al. Influence of spinal imbalance on knee osteoarthritis in community-living elderly adults. *Nagoya J Med Sci.* 2015;77(3):329-337.

[24] YANAGISAWA S, SATO N, SHIMIZU M, et al. Relation among the knee, sagittal spinal alignment, and the spinal range of motion: investigation in local medical check-ups using the Spinal Mouse. *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol.* 2015;2(2):68-71.

[25] HARATO K, NAGURA T, MATSUMOTO H, et al. A gait analysis of simulated knee flexion contracture to elucidate knee-spine syndrome. *Gait Posture.* 2008;28(4):687-692.

[26] IMAGAMA S, ITO Z, WAKAO N, et al. Influence of spinal sagittal alignment, body balance, muscle strength, and physical ability on falling of middle-aged and elderly males. *Eur Spine J.* 2013;22(6):1346-1353.

[27] IMAGAMA S, MATSUYAMA Y, HASEGAWA Y, et al. Back muscle strength and spinal mobility are predictors of quality of life in middle-aged and elderly males. *Eur Spine J.* 2011;20(6):954-961.

[28] POST RB, LEFERINK VJ. Spinal mobility: sagittal range of motion measured with the Spinal Mouse, a new non-invasive device. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2004;124(3):187-192.

[29] FUNAO H, TSUJI T, HOSOGANE N, et al. Comparative study of spinopelvic sagittal alignment between patients with and without degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J.* 2012;21(11):2181-2187.

[30] BARREY C, ROUSSOULY P, LE HUEC JC, et al. Compensatory mechanisms contributing to keep the sagittal balance of the spine. *Eur Spine J.* 2013;22 Suppl 6:S834-S841.

[31] 李青, 翁文杰, 王渭君, 等. EOS 成像系统的介绍及其评估下肢力线临床价值的研究现状 [J]. *中国骨伤*, 2019,32(9):875-878.

[32] LAZENNEC J Y, FOLINAIS D, BENDAYA S, et al. The global alignment in patients with lumbar spinal stenosis: our experience using the EOS full-body images. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2016;26(7):713-724.

[33] OBEID I, HAUGER O, AUNOBLE S, et al. Global analysis of sagittal spinal alignment in major deformities: correlation between lack of lumbar lordosis and flexion of the knee. *European Spine Journal.* 2011;20(S5):681-685.

[34] FERRERO E, LIABAUD B, CHALLIER V, et al. Role of pelvic translation and lower-extremity compensation to maintain gravity line position in spinal deformity. *J Neurosurg Spine.* 2016;24(3):436-446.

[35] 冯其金, 赵玲娟, 郑昆仑, 等. 有限元分析法在腰椎生物力学中的研究进展 [J]. *中国中西医结合外科杂志*, 2018,24(2):255-258.

[36] 吕震. 膝关节退变对 KLS 腰椎运动单元负荷改变机制的研究 [D]. 天津: 天津医科大学, 2019.

[37] ADAMS MA, HUTTON WC. The effect of posture on the role of the apophysal joints in resisting intervertebral compressive forces. *J Bone Joint Surg Br.* 1980;62(3):358-362.

[38] 周恩昌, 唐萍, 殷浩, 等. 膝内翻对骨盆-腰椎矢状位序列影响的有限元分析 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2017,32(12):1233-1236.

[39] 谈译文, 郑昱新, 詹红生, 等. 三维步态分析在膝骨关节炎研究中的应用 [J]. *国际骨科学杂志*, 2014,35(4):215-218.

[40] IJIJIMA H, SUZUKI Y, AOYAMA T, et al. Relationship between varus thrust during gait and low back pain in individuals with knee osteoarthritis. *Arthritis Care Res.* 2020;72(9):1231-1238.

[41] CHANG A, HAYES K, DUNLOP D, et al. Thrust during ambulation and the progression of knee osteoarthritis. *Arthritis Rheum.* 2004;50(12): 3897-3903.

[42] FUKUTANI N, IJIJIMA H, FUKUMOTO T, et al. Association of varus thrust with pain and stiffness and activities of daily living in patients with medial knee osteoarthritis. *Phys Ther.* 2016;96(2):167-175.

[43] IJIJIMA H, FUKUTANI N, AOYAMA T, et al. Clinical phenotype classifications based on static varus alignment and varus thrust in Japanese patients with medial knee osteoarthritis. *Arthritis Rheumatol.* 2015;67(9):2354-2362.

[44] SOTELO M, EICHELBERGER P, FURRER M, et al. Walking with an induced unilateral knee extension restriction affects lower but not upper body biomechanics in healthy adults. *Gait Posture.* 2018;65:182-189.

[45] YASUDA T, TOGAWA D, HASEGAWA T, et al. Relationship between knee osteoarthritis and spinopelvic sagittal alignment in volunteers over 50 years of age. *Asian Spine J.* 2020;14(4):495-501.

[46] OSHIMA Y, WATANABE N, IIZAWA N, et al. Knee-hip-spine syndrome: improvement in preoperative abnormal posture following total knee arthroplasty. *Adv Orthop.* 2019;2019:1-9.

(责任编辑: WJ, ZN, ZH)