

# 新型支具对膝关节内侧间室应力的影响

王金杰<sup>1</sup>, 俞倩丽<sup>1</sup>, 庄汝杰<sup>2</sup>

(1. 浙江中医药大学, 浙江 杭州 310053; 2. 浙江省中医院, 浙江 杭州 310006)

**摘要 目的:**探讨新型支具对膝关节内侧间室应力的影响。**方法:**选取 3 具新鲜成年尸体, 制作膝关节标本, 于胫骨关节面下方 2 cm 处截骨, 插入自制可调节胫骨外侧钢板固定截骨端后, 将膝关节标本以直立位固定于实验台上, 并将压力传感器探头置于膝关节内侧间室软骨面的中心区域; 通过调整自制钢板角度改变膝内翻角度, 并利用压力传感器测量佩戴新型支具前后膝关节内侧间室的应力变化。**结果:**膝内翻 6°、9°、12°、15°、18°、21°、24°、27° 时, 佩戴新型支具后膝关节标本内侧间室应力均低于佩戴新型支具前 [(1.284 ± 0.043) MPa, (1.788 ± 0.033) MPa,  $t = 16.863$ ,  $P = 0.003$ ; (1.314 ± 0.040) MPa, (2.129 ± 0.108) MPa,  $t = 20.017$ ,  $P = 0.002$ ; (1.358 ± 0.053) MPa, (2.443 ± 0.053) MPa,  $t = 59.425$ ,  $P = 0.000$ ; (1.391 ± 0.062) MPa, (2.895 ± 0.056) MPa,  $t = 103.804$ ,  $P = 0.000$ ; (1.421 ± 0.074) MPa, (3.245 ± 0.155) MPa,  $t = 38.912$ ,  $P = 0.001$ ; (1.444 ± 0.079) MPa, (3.035 ± 0.085) MPa,  $t = 367.308$ ,  $P = 0.000$ ; (1.460 ± 0.080) MPa, (2.581 ± 0.142) MPa,  $t = 28.382$ ,  $P = 0.001$ ; (1.487 ± 0.076) MPa, (2.172 ± 0.157) MPa,  $t = 13.972$ ,  $P = 0.005$ ]; 膝内翻 0°、3°、30° 时, 佩戴新型支具前后膝关节标本内侧间室应力比较, 差异均无统计学意义 [(1.199 ± 0.068) MPa, (1.196 ± 0.067) MPa,  $t = -5.500$ ,  $P = 0.032$ ; (1.252 ± 0.052) MPa, (1.375 ± 0.035) MPa,  $t = 6.594$ ,  $P = 0.022$ ; (1.507 ± 0.081) MPa, (1.864 ± 0.208) MPa,  $t = 4.726$ ,  $P = 0.042$ ]。**结论:**当膝内翻小于 30° 时, 新型膝关节支具可以降低膝关节内侧间室应力。

**关键词** 骨关节炎; 膝; 膝内翻; 膝内侧间室; 应力; 物理; 支具; 3D 打印

## Effect of up-to-date orthosis on medial compartment stress of knee joint

WANG Jinjie<sup>1</sup>, YU Qianli<sup>1</sup>, ZHUANG Rujie<sup>2</sup>

1. Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, Zhejiang, China

2. Zhejiang Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Hangzhou 310006, Zhejiang, China

**ABSTRACT Objective:** To explore the effect of up-to-date orthosis on medial compartment stress of knee joint. **Methods:** Three fresh adult cadavers were selected to make the knee specimens. Osteotomy was performed on the knee specimens at 2 cm below the tibial articular surface, and the knee specimens were fixed on the bench in orthostatism after osteotomy sites were fixed with self-made adjustable lateral tibial steel plate. The probes of pressure sensor were placed into the central region of medial compartment cartilage surface of knee joint. The angles of genu varum were changed by adjusting the angles of self-made steel plate, and the stress changes of knee medial compartment were measured by using the pressure sensor after the up-to-date orthosis was used. **Results:** The medial compartment stress of knee specimens decreased after the up-to-date orthosis was used at genu varum angles of 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 and 27 degrees respectively (1.284 ± 0.043 vs 1.788 ± 0.033 MPa,  $t = 16.863$ ,  $P = 0.003$ ; 1.314 ± 0.040 vs 2.129 ± 0.108 MPa,  $t = 20.017$ ,  $P = 0.002$ ; 1.358 ± 0.053 vs 2.443 ± 0.053 MPa,  $t = 59.425$ ,  $P = 0.000$ ; 1.391 ± 0.062 vs 2.895 ± 0.056 MPa,  $t = 103.804$ ,  $P = 0.000$ ; 1.421 ± 0.074 vs 3.245 ± 0.155 MPa,  $t = 38.912$ ,  $P = 0.001$ ; 1.444 ± 0.079 vs 3.035 ± 0.085 MPa,  $t = 367.308$ ,  $P = 0.000$ ; 1.460 ± 0.080 vs 2.581 ± 0.142 MPa,  $t = 28.382$ ,  $P = 0.001$ ; 1.487 ± 0.076 vs 2.172 ± 0.157 MPa,  $t = 13.972$ ,  $P = 0.005$ ). There was no statistical difference in medial compartment stress of knee specimens between pre- and post-use of up-to-date orthosis at genu varum angles of 0, 3 and 30 degrees respectively (1.199 ± 0.068 vs 1.196 ± 0.067 MPa,  $t = -5.500$ ,  $P = 0.032$ ; 1.252 ± 0.052 vs 1.375 ± 0.035 MPa,  $t = 6.594$ ,  $P = 0.022$ ; 1.507 ± 0.081 vs 1.864 ± 0.208 MPa,  $t = 4.726$ ,  $P = 0.042$ ). **Conclusion:** The up-to-date knee orthosis can reduce the medial compartment stress of knee joint at the genu varum angle of <30 degrees.

**Key words** osteoarthritis; knee; genu varum; knee medial compartment; stress, mechanical; orthosis; 3D printing

基金项目: 2014 年度浙江省重大科技专项计划项目 (2014C03038)

通讯作者: 庄汝杰 E-mail: rujiehuang@163.com

膝骨关节炎 (knee osteoarthritis, KOA) 是中老年人常见的一种慢性退行性骨关节疾病, 女性较男性多见。我国 60 岁以上人群的发病率为 50%, 75 岁以上高达 80%, 致残率超过 53%, 且超过 65% 的 KOA 患者存在顽固性膝关节疼痛<sup>[1]</sup>。KOA 是以关节软骨退行性变、骨赘形成、滑膜炎症为主要特征的一种疾病, 其临床表现主要为关节疼痛、僵硬及活动受限。临床上我们发现中老年 KOA 患者常有不同程度的膝内翻畸形。本实验以 3 具新鲜成年人尸体下肢为标本, 研究其不同膝内翻角度下佩戴新型支具前后膝关节内侧间室应力的变化, 以期临床采用新型膝关节支具治疗早中期 KOA 伴膝内翻畸形提供可靠的理论依据。

## 1 材料与仪器

**1.1 研究对象** 3 具新鲜成年女性尸体下肢标本 (由浙江中医药大学解剖教研室提供), 均经 X 线检查确认膝关节间隙匀称, 无解剖学异常, 关节软骨完整。实验方案经医院医学伦理委员会审查通过。

**1.2 实验设备** 新型膝关节支具 (由浙江大学机械系老师协助制作), 固定标本的实验台 (英斯特朗上海试验设备贸易有限公司), 手术器械、医用电锯和电钻、螺钉 (美国史塞克公司), 可调节胫骨外侧钢板 (浙江中医药大学自制), flexiforce A301 薄膜压力传感器 (上海瑞若测控设备有限公司), 笔记本电脑 (联想公司)。

## 2 方法

**2.1 新型膝关节支具制作** 按照正常膝关节内外侧解剖结构设计支具的 3 D 模型图 (图 1), 通过 3 D 打印技术打印出新型膝关节支具 (图 2)。

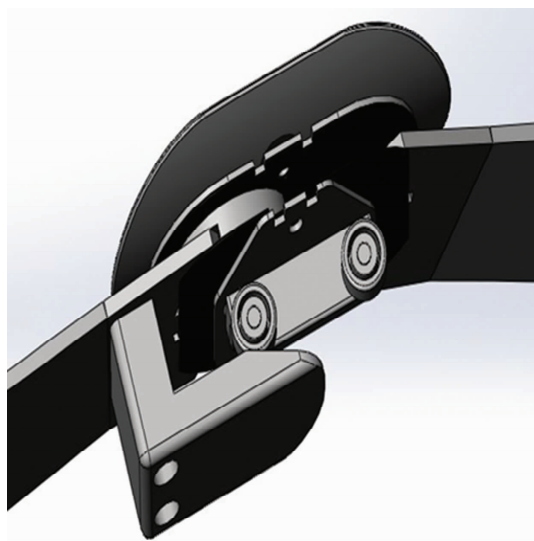


图 1 新型膝关节支具 3D 模型图



图 2 新型膝关节支具实物图

**2.2 标本处理** 首先测定下肢标本力线, 在 C 形臂 X 线机下将直径约 3 mm 的金属线置于下肢标本的正前方, 使金属线两端分别位于股骨头中心和第 1、2 趾蹠间, 当金属线通过膝关节中点时, 测量股骨胫骨角约为 170°, 证明膝关节无内外翻畸形, 符合实验标准。然后将下肢标本从股骨中上段及胫骨中下段离断并剔除膝关节周围软组织, 注意保护胫股关节、髌股关节不被破坏, 保持膝关节内外侧副韧带、前后交叉韧带及内外侧半月板的解剖学完整, 股骨保留 20 cm, 胫骨保留 20 cm (图 3)。最后取膝关节标本胫骨近端外侧切口, 于胫骨关节面下方 2 cm 处截骨, 以自制可调节胫骨外侧钢板固定截骨两端。



图 3 膝关节标本

**2.3 膝关节内侧间室应力测量** 测量时先将膝关节标本以直立位固定于实验台上, 保持其绝对直立, 以接近人体正常站立时的体位 (图 4)。于胫股关节面前内侧取一小切口, 将压力传感器探头置于膝关节内侧间室软骨面的中心区域 (图 4)。纵向缓慢加压 600 N, 在达到最大压力后 3 s 测量膝关节内侧间室的

应力。然后将新型支具固定于膝关节标本上(图 5),再重新测量 1 次膝关节内侧间室应力。调整自制钢



图 4 膝关节标本固定

板角度以改变膝内翻角度,重复上述操作并记录膝关节内侧间室应力。

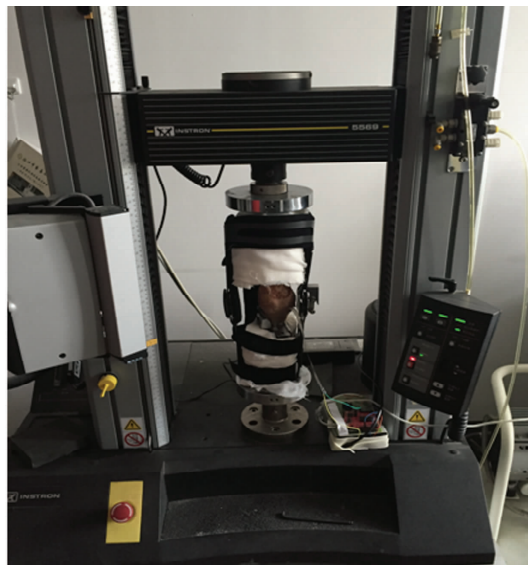


图 5 膝关节标本佩戴新型支具

**2.4 数据统计学处理** 采用 SPSS19.0 软件对所得数据进行统计学分析,不同内翻角度下,佩戴新型支具前后膝关节标本内侧间室应力的比较采用配对  $t$  检验,检验水准  $\alpha = 0.01$ 。

### 3 结果

膝内翻  $6^\circ$ 、 $9^\circ$ 、 $12^\circ$ 、 $15^\circ$ 、 $18^\circ$ 、 $21^\circ$ 、 $24^\circ$ 、 $27^\circ$  时,佩戴新型支具后膝关节标本内侧间室应力均低于佩戴新型支具前;膝内翻  $0^\circ$ 、 $3^\circ$ 、 $30^\circ$  时,佩戴新型支具前后膝关节标本内侧间室应力比较,差异均无统计学意义(表 1)。

表 1 不同内翻角度下膝关节标本佩戴新型支具前后内侧间室应力比较

时间点	不同内翻角度下膝关节标本内侧间室应力( $\bar{x} \pm s$ , MPa)					
	$0^\circ$	$3^\circ$	$6^\circ$	$9^\circ$	$12^\circ$	$15^\circ$
佩戴新型支具前	$1.196 \pm 0.067$	$1.375 \pm 0.035$	$1.788 \pm 0.033$	$2.129 \pm 0.108$	$2.443 \pm 0.053$	$2.895 \pm 0.056$
佩戴新型支具后	$1.199 \pm 0.068$	$1.252 \pm 0.052$	$1.284 \pm 0.043$	$1.314 \pm 0.040$	$1.358 \pm 0.053$	$1.391 \pm 0.062$
$t$ 值	-5.500	6.594	16.863	20.017	59.425	103.804
$P$ 值	0.032	0.022	0.003	0.002	0.000	0.000

时间点	不同内翻角度下膝关节标本内侧间室应力( $\bar{x} \pm s$ , MPa)				
	$18^\circ$	$21^\circ$	$24^\circ$	$27^\circ$	$30^\circ$
佩戴新型支具前	$3.245 \pm 0.155$	$3.035 \pm 0.085$	$2.581 \pm 0.142$	$2.172 \pm 0.157$	$1.864 \pm 0.208$
佩戴新型支具后	$1.421 \pm 0.074$	$1.444 \pm 0.079$	$1.460 \pm 0.080$	$1.487 \pm 0.076$	$1.507 \pm 0.081$
$t$ 值	38.912	367.308	28.382	13.972	4.726
$P$ 值	0.001	0.000	0.001	0.005	0.042

### 4 讨论

KOA 是一种常见的慢性退行性骨关节疾病。随着我国人民生活水平的提高和人口老龄化趋势的加剧,该病的发病率也逐年增加<sup>[2]</sup>。正常的膝关节可以认为是一个润滑良好的轴承,但是随着机体的衰老及损伤的累积,正常的膝关节在使用过程中难免会出现疲劳损伤或其他机械损伤,导致具有润滑作用的关节滑液和具有缓冲作用的关节软骨及半月板的效能降低,从而使关节磨损进一步增加,炎症产生,软骨退变,导致 KOA 的产生<sup>[3-4]</sup>。KOA 产生的同时也伴随

着患者下肢动静态力线的改变<sup>[5]</sup>。

膝关节单间室骨关节炎是临床较常见的一类退变性疾病,其中膝关节内侧间室的发病率明显高于外侧间室,后者仅占有单间室骨关节炎的  $1/8$ <sup>[6-7]</sup>。KOA 的产生与关节的不正常机械载荷有关,其中比较重要的动力学影响参数是膝关节内收力矩<sup>[8-9]</sup>。膝关节内收力矩反映的是关节内侧受力状况,可以直接作为衡量关节病变严重程度的一个指标。当 KOA 患者膝内翻角度不断增大,表明下肢力线也随之不断内移,从而加大了内收力矩,导致膝关节内侧间室应

力的增大,进一步加重膝关节的负荷,产生一系列的骨关节炎临床症状<sup>[10-11]</sup>。下肢力线的改变将影响患者行走时的下肢动态受力<sup>[12]</sup>。下肢力线与膝关节内收力矩之间存在关联性,而膝关节内收力矩又与 KOA 的产生直接相关,因此纠正下肢力线成为治疗早期 KOA 的关键<sup>[10,13]</sup>。膝关节支具现已成为治疗 KOA 的辅助疗法,其原理正是基于此<sup>[13-14]</sup>。

本实验所用的新型膝关节支具是根据可调节外翻角度的原理制作的,铰链连接处为新型 304 不锈钢制造,充分贴近膝关节,拥有稳定持续的纠正膝关节内翻的强度;绑带式固定可以根据膝关节的个体差异进行调整,避免给一些患者带来不适感。我们在设计支具的过程中,尽可能加大其外翻的强度,以满足不同程度的膝内翻患者的需求。该支具设计的另一亮点为当患者佩戴支具处于 0° 中立位时,支具的外翻强度最大,当膝关节缓慢屈曲时,支具的外翻强度也逐渐减小,这样可避免屈曲状态下因强度太大而导致膝关节的进一步磨损。此外,为避免测量时上下关节面之间的相对剪切力造成关节内接触面压力的改变,实验压力传感器采用原装进口 Flexiforce 薄膜压力传感器。Flexiforce 是一种超薄和挠性印刷电路,其可弯曲和测力特性可用来测量两表面之间的压力,并且能够在一些特殊环境下进行测量。Flexiforce 传感器由两层聚酯纤维薄膜组成,每一层上运用一种导体材料,用黏合剂把两层压在一起,形成了传感器。这种类型的压力传感器所测量的相对剪切力很小,可以不予以考虑,不会对实验结果造成影响。

从实验结果可以看出,未佩戴支具前,当内翻角度从 0° 增加至 18° 时,膝关节内侧间室应力逐渐增大;而当内翻角度从 18° 增加至 30° 时,膝关节内侧间室应力反而逐渐减小。笔者认为其原因可能是,当内翻角度增大到一定度数后,膝关节内侧间室的上下关节面的应力接触点就从中心移动至内侧间室内侧缘,而我们测量应力大小的压力传感器始终固定于内侧间室的中心位置。在接近正常膝关节即膝内翻角度为 0°、3° 时,佩戴支具前后膝关节内侧间室应力比较,差异无统计学意义;而在模拟 KOA 早期内翻角度即膝内翻畸形(6°、9°、12°、15°、18°、21°、24°、27°)时,使用新型支具后能明显降低膝关节标本内侧间室应力。此外,在膝内翻 30° 时,佩戴新型支具前后膝关节标本内侧间室应力比较,差异无统计学意义,说明该支具对于严重膝内翻畸形的矫正作用具有一定的局限性。

本实验结果显示,当膝内翻小于 30° 时,新型膝关节支具可以降低膝关节内侧间室应力。这对纠正膝内翻畸形、恢复下肢力线、减轻膝关节负荷、延缓膝关节退变具有一定的作用,将为其治疗早中期 KOA 伴膝内翻畸形提供可靠的理论依据。

## 5 参考文献

- [1] DAVIS MA. Epidemiology of osteoarthritis[J]. Clin Geriatr Med, 1988, 4(2): 241-245.
- [2] 李宇华. 中老年人群骨关节炎的流行病学特征[J]. 中国临床康复, 2005, 9(38): 133-135.
- [3] 康凯, 高石军, 董江涛, 等. 膝关节单髁置换术的发展研究进展[J]. 中国矫形外科杂志, 2014, 22(2): 130-133.
- [4] 张维杰, 连芩, 李涤尘, 等. 基于 3D 打印技术的软骨修复及软骨下骨重建[J]. 中国修复重建外科杂志, 2014, 23(3): 318-324.
- [5] 郭燕梅, 瓮长水, 陈蔚, 等. 膝骨关节炎患者下肢静态位置觉与功能状况和平衡的相关性分析[J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(11): 1064-1068.
- [6] 刘鹏鹤, 张春琪. 单髁置换术治疗膝关节单间室骨关节炎临床观察[J]. 风湿病与关节炎, 2015, 4(2): 39-40.
- [7] 薛华明, 蔡珉巍, 涂意辉. 膝关节外侧间室单髁置换术临床应用进展[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2012, 6(3): 77-79.
- [8] 李伟, 周敬滨, 陶增羽, 等. 膝骨关节炎患者步态动力学相关参数分析[J]. 中国运动医学杂志, 2010, 29(3): 268-271.
- [9] RICHARD D, KOMISTEK, DOUGLAS A, et al. An in vivo analysis of the effectiveness of the osteoarthritic knee brace during heel - strike of gait [J]. J Arthroplasty, 1999, 14(6): 738-742.
- [10] MCALINDON TE, BANNURU RR, SULLIVAN MC, et al. OARS guidelines for the non - surgical management of knee osteoarthritis [J]. Osteoarthritis & Cartilage, 2014, 22(3): 363-388.
- [11] 谢宝强, 张应鹏, 胡文彪, 等. 27 例膝关节半月板损伤临床治疗[J]. 中国医学创新, 2011, 8(19): 158-159.
- [12] 张旻, 江澜. 内侧间室膝骨性关节炎的下肢关节生物力学变化[J]. 中国康复, 2011, 26(1): 506-508.
- [13] KON E, FILARDO G, DROBNIC M, et al. Non - surgical management of early knee osteoarthritis [J]. Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy, 2012, 20(3): 436-449.
- [14] ZHANG W, MOSKOWITZ RW, NUKI G, et al. OARS recommendations for the management of hip and knee osteoarthritis, Part II: OARS evidence - based, expert consensus guidelines [J]. Osteoarthritis Cartilage, 2008, 16(2): 137-162.

(2017-02-19 收稿 2017-09-20 修回)