

屈曲状态下膝关节面夹角变化对内侧间室压力影响的生物力学研究

唐茶娣¹ 陈俊杰¹ 庄汝杰^{2△}

[摘要] 目的:通过改变膝关节标本的屈曲角度与膝关节平面夹角,测试膝关节内侧间室压力值,研究膝关节屈曲状态下平面夹角与内侧间室压力的相关性。方法:将2具正常尸体进行解剖,采集4例膝关节标本,再将自制胫骨外侧钢板植入标本,调整不同的屈曲角度与关节面角度,同时对膝关节内侧间室进行压力测试,并进行数据统计分析。结果:膝关节屈曲保持0°,内侧间室压力值平均为(1.30±0.60)MPa,屈曲保持15°,内侧间室压力值平均为(0.98±0.45)MPa,屈曲保持30°,内侧间室压力值平均为(0.24±0.11)MPa,三组差异有统计学意义($P<0.05$)。屈曲保持45°,内侧间室压力值平均为(0.03±0.01)MPa,差异无统计学意义($P>0.05$)。结论:膝关节屈曲角度在0°~30°时,膝关节内侧间室压力受关节平面角度影响,且在关节面角度达15°时,内侧间室压力达到峰值。而膝关节屈曲达45°时,膝关节内侧间室压力与关节面夹角无明显相关性。

[关键词] 屈曲角度;关节面夹角;内侧间室压力;生物力学

[中图分类号] R-33 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1005-0205(2019)06-0006-03

Biomechanical Study of the Effect of the Change of the Knee Angle on the Medial Compartment of the Knee under Different Flexion Angles

TANG Chadi¹ CHEN Junjie¹ ZHUANG Rujie^{2△}

¹Shaoxing Hospital of Traditional Chinese Medicine, Shaoxing 312000, Zhejiang China;

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

Abstract Objective: By changing the flexion angle of knee joint and the angle between the plane of knee joint, the pressure value of medial interventricular of knee joint was measured, and the correlation between plane angle and medial interventricular pressure in flexion state of knee joint was studied. **Methods:** Two normal cadavers were dissected, 4 knee joint specimens were collected, and then self-made lateral tibial plate was implanted into the specimens, adjust different flexion angle and articular surface angle, the pressure of medial compartment of knee joint was measured and carries on the data statistical analysis. **Results:** The flexion of knee joint remained 0°, and the medial interventricular pressure was (1.30±0.60)MPa on average. The flexion of knee joint remained 15°, and the medial interventricular pressure was (0.98±0.45)Mpa on average. The flexion of knee joint remained 30°, and the medial interventricular pressure was (1.24±0.11)MPa on average. The three groups have statistical significance. The flexion of knee joint remained 45°, and the medial interventricular pressure was (0.03±0.01)MPa on average. not statistically significant. **Conclusion:** when the knee joint flexion angle is 0°~30°, the medial interventricular pressure is affected by the joint plane angle, and the medial interventricular pressure reaches the peak when the articular surface angle reaches 15°. However, there was no significant correlation between medial interventricular pressure and the angle of articular surface when the flexion of knee joint reached 45°.

Keywords: flexion angle; articular surface angle; medial compartment pressure; biomechanics

基金项目:浙江省重大科技专项计划(2014C03038)

¹ 浙江绍兴市中医院(浙江 绍兴, 312000)

² 浙江省中医院

△通信作者 E-mail: rujiezhuang@163.com

膝关节关节炎(Knee Osteoarthritis, KOA)是一种常见的慢性致残性疾病,一般表现为患膝关节间隙变窄,其中内翻畸形最为常见,其发病率约为外翻畸形的10倍^[1]。现今通过纠正膝关节的异常受力以改善KOA症状已逐步成为一个新的研究热点,受到了临床医师和患

者的认可。本研究希望通过观察膝关节屈曲状态下关节水平面夹角变化对内侧间室压力的影响,研究两者相关性,为 KOA 新的力学矫正治疗提供依据。

1 材料和方法

1.1 实验材料

选取 2 具福尔马林浸泡保存的成年女性尸体(由浙江中医药大学解剖室提供),获得 4 例膝关节标本,股骨保留至股骨内外髁连线上 20 cm,胫骨保留至胫骨平台下 20 cm,剔除标本皮肤与肌肉等软组织,保留内外侧副韧带、前后交叉韧带、半月板及完整关节囊(见图 1),经提前测量确认下肢力线为 0°,股胫角为 172°,X 线检查膝关节关节面夹角^[2]为 0°(见图 2)。

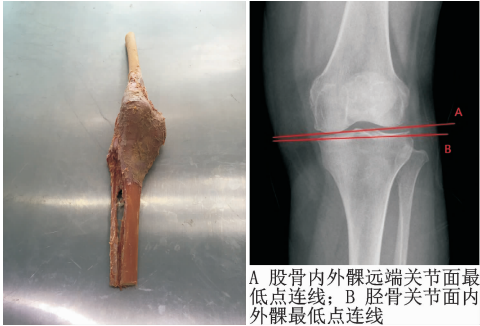


图 1 实验标本实体图 图 2 A 与 B 夹角为膝关节关节面夹角

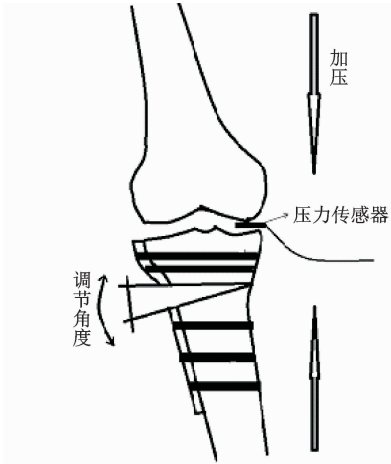


图 3 研究设计示意图

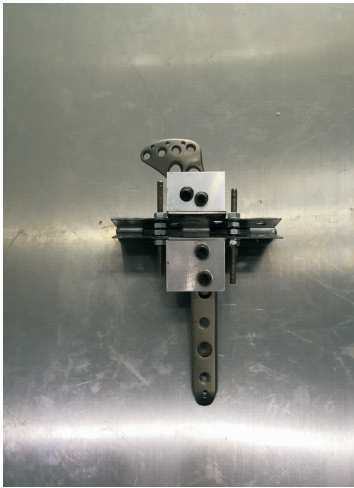


图 4 自制的胫骨外侧异形解剖钢板



图 5 膝内侧间室压力测试实体图

1.2 实验设备

骨科手术常用器械,医用电钻,直径 4.5 mm 及 6.5 mm 长度不等螺钉 8 枚,自制可调节角度胫骨外侧异形钢板,flexiforce A301 压力传感器,电子万能试验机(INSTRON 5569),压力转换器,佳能数码相机(EOS 700D),Adobe Photoshop CS 图像处理软件。

1.3 实验方法

分别在标本上置入自制异形解剖钢板,具体操作:距离胫骨平台 2 cm 处位置行胫骨上端截骨,将自制的胫骨外侧异形解剖钢板固定胫骨外侧,钢板安装后透视,再次测量股胫角为 172°,关节面夹角为 0°。膝关节标本两端固定在加压杆上,屈曲角度为 0°时,用 1 枚直径 2 mm 克氏针进行临时固定,调整自制胫骨外侧钢板的角度,每次增加 3°,最大角度设置为 30°,内侧关节囊上做一水平位小切口,将压力传感器贴在内侧间室的中间位置,外面接上压力转换器及电脑,将加力台设置为 7 s 内垂直加压到 200 N,在峰值位置保持 5 s,之后在 5 s 之内卸载,测量并记录压力值。轴向的加压过程每个标本重复 3 次,取三组实验数据的平均值。依次将膝关节屈曲角度调整至 15°,30°和 45°,重复上述测试过程(见图 3-5)。

1.4 观察指标

利用放置在膝关节内侧间室的压力传感器获得压力值。压力传感器的应变材料受压后会产生电阻变化,随后通过放大电路将电阻的变化转换为标准电压变化信号输出,再通过压力转换器自动换算后得到压力值,记录膝关节内侧间室在各种条件下的压力值。

1.5 统计学方法

利用 SPSS19.0 统计学软件分析收集的数据。相关数据采用方差分析, $P<0.05$ 差异有统计学意义。

2 结果

4 具标本数据基本保持一致,关节保持屈曲 0°,内侧间室压力值平均为 (1.30 ± 0.60) MPa,具有统计学意义($F=8.292, P<0.05$)。保持屈曲 15°,内侧间室压力值平均为 (0.98 ± 0.45) MPa,具有统计学意义($F=8.292, P<0.05$)。保持屈曲 30°,内侧间室压力值平均为 (0.24 ± 0.11) MPa,差异有统计学意义($F=10.899, P<0.05$)。保持屈曲 45°,内侧间室压力值平均为 (0.03 ± 0.01) MPa,差异无统计学意义。膝关节屈曲角度在 0°,15°及 30°时,膝关节内侧间室压力随着膝内翻角的增大而增大,内翻角 15°时达到高峰,随之逐渐减小(见表 1 及图 6)。

表 1 4 组标本不同屈曲角度及关节面夹角下内侧间室压力变化(±s,MPa)

关节面夹角	0°	3°	6°	9°	12°	15°	18°	21°	24°	27°	30°
屈曲 0°	0.53±0.08	0.82±0.10	0.88±0.18	0.96±0.20	1.18±0.26	2.30±0.27	1.22±0.28	1.18±0.19	1.14±0.12	0.91±0.20	0.88±0.15
屈曲 15°	0.42±0.06	0.66±0.08	0.66±0.16	0.70±0.19	0.89±0.25	1.73±0.31	0.92±0.22	0.89±0.18	0.86±0.20	0.68±0.15	0.66±0.10
屈曲 30°	0.10±0.02	0.03±0.02	0.41±0.03	0.18±0.03	0.22±0.05	0.43±0.04	0.23±0.03	0.22±0.04	0.07±0.04	0.17±0.04	0.16±0.02
屈曲 45°	0.01±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00	0.03±0.01	0.01±0.01	0.03±0.01	0.03±0.01	0.02±0.00	0.02±0.00	0.02±0.00

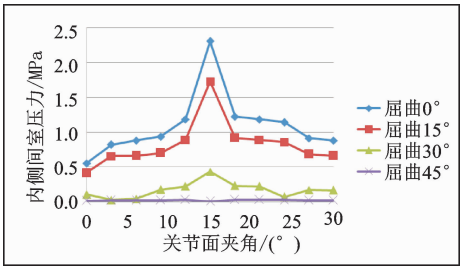


图 6 不同屈曲角度及关节面夹角下内侧间室压力变化散点图

3 讨论

据相关统计,目前老年人 KOA 患病率达到 33%^[3].随着人口老龄化的加剧、肥胖人口的增多和缺乏对 KOA 有效的治疗方法,相关的影响会更加严重。膝关节异常的应力环境将会导致关节损伤,增加 KOA 疾病发展风险^[4]。一般病变常起于膝关节内侧间室,这是由于胫骨两侧髁的曲面与相应的股骨髁不吻合,导致内侧和外侧胫股关节的载荷接触面及载荷大小存在差异,膝关节承受的质量为人体质量的 2~4 倍,而内侧间室承担其中 2/3 的负重^[5]。这样情况下,膝关节极易发生内翻畸形,关节轴向对线产生偏移,内侧关节面的负重异常增加,导致关节软骨退变,继而再次加重内翻形成恶性循环^[6]。

然而,尽管有充分的证据表明关节面长期的受力不均均是进一步加重 KOA 恶性循环的一部分,但目前仍没有很好的手段解决这个问题。膝关节力线的测量相对来说比较容易,例如,静态的髌-膝-踝力线能够在下肢全长 X 线片上得到;膝关节关节面夹角可以在膝关节正侧位 X 线片上测得;从步态分析中可以得出动态的力线。但几乎所有由此得出的结论都是围绕其站立位的力线或力角改变,并不能体现膝关节的运动过程。

研究发现外侧楔形鞋垫通过减少足的外倾,使机械轴更接近垂直,长期使用可有效防治膝内翻程度加重^[7]。但也有证据表明内侧膝骨关节炎患者长期使用外侧楔形鞋垫会使足的内旋、膝内收力矩、小腿旋转和躯干侧弯增加,对其下肢及躯干造成不利影响^[8]。目前膝关节支具应用也比较广泛,合适的膝关节支具可缩短患肢内收力矩,减轻患侧间室的负重,因此能明显减轻患者疼痛^[9,10]。但近期有研究者发现通用型支具治疗内侧间室 KOA 的疗效并不令人满意,虽然能减轻患者膝关节疼痛及僵硬,但改善膝关节功能的疗效不佳,这说明常规膝关节支具存在不足^[11]。张英泽等^[12]从生物

力学、影像学等角度研究后提出“不均匀沉降理论”,认为膝关节内外侧间室受力不均及骨质疏松等原因,致胫骨平台内侧塌陷,导致沉降现象发生。通过手术截除高位腓骨后,胫骨外侧平台失去腓骨的支撑作用,负重力线外移,重新平衡了膝关节内外侧平台的受力,使内侧平台压力减小,达成内外侧平台“均匀沉降”,从而矫正膝关节内翻畸形^[13-15]。但这项技术开展时间较短,且作为一种有创操作,其长期疗效还需进一步随访研究。本实验测试了不同屈曲角度与关节面夹角下,膝关节内侧间室压力的变化,得出膝关节屈曲角度在 0°,15°及 30°时,膝关节内侧间室压力随着关节面夹角的增大而增大,内翻角 15°时达到高峰,随之逐渐减小,这为临床上治疗膝骨性关节炎运用胫骨高位楔形截骨提供了佐证,但值得注意的是在膝关节屈曲 45°时,内侧间室压力几乎不受内翻角影响,这说明膝关节屈伸过程中复杂的运动环境对矫形力度和角度有不同要求。

综上所述,生物力学改变是 KOA 发病关键因素。通过研究屈曲状态下膝关节平面角度其对内侧间室应力的影响,一方面论证了异常力线及受力加重 KOA 的作用机制,另一方面也指出不同屈曲角度及关节面角度对内侧间室应力的影响相差很大。膝关节是人体最复杂的关节,单纯对膝内侧间室进行研究存在局限性,还需要进一步深入。希望本实验能对膝骨性关节炎的生物力学研究给予些许参考,也为新型力学治疗方法研发提供一定的启发。

参考文献

[1] LEVINGER P,MENZ H B,MORROW A D,et al. Relationship between foot function and medial knee joint loading in people with medial compartment knee osteoarthritis [J]. J Foot Ankle Res,2013,6(1):33-38.

[2] 冯佳捷,朱磊,陈俊杰,等. 膝骨关节炎患者膝关节面夹角与步态的相关性研究[J]. 中医正骨,2017,29(7):27-29.

[3] PHYOMAUNG P P,DUBOWITZ J,CICUTTINI F M,et al. Are depression, anxiety and poor mental health risk factors for knee pain;a systemaic review[J]. BMC Musculoskelet Disord,2014,15:10-15.

[4] ANDRIACCHI T P,MÜNDERMANN A. The role of ambulatory mechanics in the initiation and progression of knee osteoarthritis[J]. Curr Opin Rheumatol,2006,18(5):514-518.

葡萄糖都可通过调节 TLR4/MYD88 信号通路发挥治疗作用,然而通络汤的效果更优于盐酸氨基葡萄糖,其作用机制有待进一步研究^[17]。

因此可以得出结论:具有 TLR4/MYD88 信号通路调控作用的药品可作为潜在的阻止骨关节结构损伤和延缓疾病进程的特效药。

参考文献

- [1] DELL'LSOLA A, WIRTH W, STEULTJENS M, et al. Knee extensor muscle weakness and radiographic knee osteoarthritis progression[J]. *Acta Orthopaedica*, 2018, 89(4):406-411.
- [2] QIAN S, HOSOKI K, AGUILERA-AGUIRRE L, et al. Ragweed pollen proteins bind TLR4/MD2, and rapidly recruit MYD88 and TRAF6 to the signaling complex[J]. *Journal of Allergy & Clinical Immunology*, 2014, 133(2): AB225-AB235.
- [3] 刘志豪,卢敏,肖学锋,等. 长沙市膝关节骨性关节炎中医证型分布调查研究[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2010, 18(8):39-42.
- [4] 范华雨,张向东. 中药外用治疗膝骨性关节炎机制的研究进展[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2018, 26(10):87-89.
- [5] 颜春鲁,李盛华,安方玉,等. 右归丸对鼠膝骨性关节炎的治疗作用及 Wnt 信号通路相关因子表达的影响[J]. *中国应用生理学杂志*, 2018, 34(2):177-181.
- [6] 王婧,张忠辉,孙娇梦,等. 大鼠骨关节炎三种动物模型的建立及比较[J]. *中国细胞生物学学报*, 2010, 33(3):456-460.
- [7] WONG K, TRUDEL G, LANEUVILLE O. Intra-articular collagenase injection increases range of motion in a rat knee flexion contracture model[J]. *Drug Design Development & Therapy*, 2017, 12:15-24.
- [8] 张俐,李芑,陈凯. 去势大鼠劳损性膝骨关节炎新模型的建立[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2014, 22(11):1-3.

- [9] FOX B A, STEPHENS M M. Glucosamine hydrochloride for the treatment of osteoarthritis symptoms[J]. *Clinical Interventions in Aging*, 2007, 2(4):599-604.
- [10] 武迪,许琳,赵欢,等. 免疫组化染色中防脱玻片制备方法的优化[J]. *医学信息*, 2013(29):586-588.
- [11] 黄莉敏,张大准,王艳,等. 自制抗人磷脂酶 A2 受体抗体 ELISA 试剂盒的临床应用评价[J]. *生物工程学报*, 2018, 34(5):743-751.
- [12] 王定,史晓林,李文庆,等. 膝骨性关节炎中医药治疗的研究进展[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2008, 16(4):65-67.
- [13] SCARVELL J M, GALVIN C R, PERRIMAN D M, et al. Kinematics of knees with osteoarthritis show reduced lateral femoral roll-back and maintain an adducted position: a systematic review of research using medical imaging[J]. *Journal of Biomechanics*, 2018, 75:108-122.
- [14] LIN X, XIE J, SUN S, et al. Toll-like receptor 4 (TLR4) stimulates synovial injury of temporomandibular joint in rats through the activation of p38 mitogen-activated protein kinase (MAPK) signaling pathway [J]. *Med Sci Monit*, 2018, 24:4405-4412.
- [15] LIANG Y, CHEN S, YANG Y, et al. Vasoactive intestinal peptide alleviates osteoarthritis effectively via inhibiting NF- κ B signaling pathway[J]. *Journal of Biomedical Science*, 2018, 25(1):25-29.
- [16] 李欣,柴晶美,杨阿龙,等. 上中下通用痛风汤对痛风性关节炎模型 TLR4 信号通路的影响[J]. *长春中医药大学学报*, 2018, 34(1):23-25.
- [17] FERNÁNDEZ-TORRES J, ZAMUDIO-CUEVAS Y, LÓPEZ-REYES A. Gene-gene interactions of the Wnt/ β -catenin signaling pathway in knee osteoarthritis[J]. *Molecular Biology Reports*, 2018, 45(5):1089-1098.

(收稿日期:2019-01-07)

(上接第8页)

- [5] IORIO R, HEALY W L. Unicompartmental arthritis of the knee[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2003, 85-A(7):1351-1364.
- [6] JYOTI MEHTA MOT, KP MULGAONKAR MOT. Effect of laterally raised footwear on bilateral medial compartment knee osteoarthritis and its biomechanical analysis-a comparative study[J]. *The Indian Journal of Occupational Therapy*, 2014, 3:51-56.
- [7] FERNANDEZ-SEGUIN L M, DIAZ MANCHA J A, SANCHEZ RODRIGUEZ R, et al. Comparison of plantar pressures and contact area between normal and cavus foot [J]. *Gait Posture*, 2017, 39(2):789-792.
- [8] RESENDE R A, KIRKWOOD R N, FONSECA S T, et al. Ipsilateral and contralateral foot pronation affect lower limb and trunk biomechanics of individuals with knee osteoarthritis during gait[J]. *Clin Biomech*, 2016, 34:30-37.
- [9] POLLO F E, JACKSON R W. Knee bracing for unicompartmental osteoarthritis [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2016, 14(1):5-11.
- [10] RANNOU F, POIRAUDEAU S, BEAUDREUIL J. Role

of bracing in the management of knee osteoarthritis[J]. *Curr Opin Rheumatol*, 2010, 22(2):218-222.

- [11] DRAGANICH L, REIDER B, RIMINGTON T, et al. The effectiveness of self-adjustable custom and off-the-shelf bracing in the treatment of varus gonarthrosis[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2006, 88(12):2645-2652.
- [12] 张英泽,李存祥,李冀东,等. 不均匀沉降在膝关节退变及内翻过程中机制的研究[J]. *河北医科大学学报*, 2014, 35(2):218-219.
- [13] 郑占乐,孙英彩,张晓然,等. 膝关节骨性关节炎发病机制的临床影像学研究[J]. *河北医科大学学报*, 2014, 35(5):599-600.
- [14] 秦迪,陈伟,吕红芝,等. 腓骨中上段部分切除治疗膝关节内侧间室骨性关节炎机制研究及治疗效果影响因素分析[J]. *河北医科大学学报*, 2015, 36(6):727-729.
- [15] 刘月驹,秦士吉,李升,等. 膝关节失衡综合征在骨科临床中的应用[J]. *河北医科大学学报*, 2015, 36(5):598-600.

(收稿日期:2019-01-08)