

·综述·

关节失稳与应力集中在膝关节骨关节炎发病过程中的作用

王建华

【摘要】 从膝关节的应用解剖和生物力学方面详细阐述膝关节骨关节炎(KOA)发病的失平衡与应力集中机制。分析临床中三种治疗KOA手术方法(胫骨高位截骨术、人工全膝关节置换术、腓骨近端截骨术)的机制与疗效,三种手术均做到了重塑膝关节平衡并逆转了应力集中,有效阻断了疾病进展,进一步证实了KOA发病的失平衡与应力集中机制。

【关键词】 骨关节炎,膝; 关节不稳定性; 应力集中

The pathogenesis of knee osteoarthritis: the role of joint instability and stress concentration Wang Jianhua. Department of Orthopedic, Tianjin TEDA Hospital, Tianjin 300457, China
Corresponding author: Wang Jianhua, Email: wangjianhua2010201@163.com

【Abstract】 We investigated the off-balance and stress concentration mechanisms of knee osteoarthritis (KOA) based on the application of the knee anatomy and biomechanics. The mechanisms and therapy effects of three clinical surgical treatment of KOA were analyzed including high tibial osteotomy, total knee arthroplasty and partial resection of the proximal fibula. All three kinds of operations were performed to reshape the balance of the knee and reversed the stress concentration. Improved clinical results confirmed all surgeries can block the progression of KOA, which further confirmed the correctness of off-balance and stress concentration mechanisms in knee osteoarthritis.

【Key words】 Osteoarthritis, knee; Joint instability; Stress concentration

膝关节骨关节炎(knee osteoarthritis, KOA)发病是一个复杂的过程,是在多种因素共同参与作用下的渐进性疾病。国内外学者分别从年龄增加导致的软骨细胞分子学改变、免疫酶学改变、激素代谢水平改变、软骨老化过度应用及损伤等方面说明KOA的发病机制^[1]。而临床医师通过改变或重建病变部位的结构就可以达到缓解临床症状、改善关节功能的目的。因此,从病损部位结构和力学变化认识KOA的发病机制尤为重要。

一、KOA的失平衡与应力机制

(一)膝关节的应用解剖

膝关节有三种平移运动(前后、内外、上下)和三种旋转运动(屈伸、内外旋、内收外展)。正常情况下这六个自由度的运动是受韧带、关节、骨性匹配度、半月板以及相关的神经肌肉控制^[2]。韧带是最主要的稳定结构,起着引导关节面正常运动和限制过度运动的作用,阻止任何非生理移位的发生。通过神经系统的控制,膝关节稳定系统使他们的力矩之和为零,维持了膝关节运动的稳定性^[3]。当稳定系统之一出现松弛或有损伤而失去动能控制作用时,关节就会失稳。

膝关节的外侧稳定系统包括股外侧肌腱膜、外侧副韧带、股二头肌腱、髂胫束、腓肌腱复合体,其中止点到腓骨头

的外侧稳定系统包括髂胫束部分腱膜、股二头肌腱、外侧副韧带、腓肌腱。膝关节内侧稳定系统包括股内侧肌腱膜、内侧副韧带、鹅足肌腱、半膜肌腱和后斜韧带^[4](图1~3)。然而膝关节稳定系统存在生理结构不均匀,即内侧薄弱,外侧坚强。正常年轻人的膝关节,关节韧带和肌肉力量强、协调性好,关节维持在稳定状态下运动。随着年龄的增加,肌肉力量和协调性逐渐退化,内外侧稳定系统由生理性不对称逐渐演变为病理性不平衡^[5],从而引起膝关节生物力学改变。

(二)KOA的生物力学改变

研究表明下肢稳定异常及力线改变等生物力学因素可能是KOA发生的重要原因^[6]。正常膝关节站立位时,负重力线通过髌关节,经股骨力学轴线传导至膝关节的股胫关节中线,再经胫骨传导到踝关节中点。膝关节负重屈曲动作时胫骨平台呈内旋,伸展时呈外旋,这种旋转为生理范围旋转,旋转轴线亦经股胫关节中心^[2](图4~5)。静力负重下约60%的负荷通过膝关节内侧,40%的负荷通过膝关节外侧^[7]。当膝关节内外侧平衡的稳定性被打破后,表现为外紧内松^[8],旋转轴线中心外移,外侧股胫关节间相对运动范围变小,内侧股胫关节间相对旋转运动范围变大(图6~8)。膝关节内侧不稳定,存在更多的磨损和不均匀应力,易导致内侧软骨面磨损变薄,内侧间隙变窄及下肢负重力线内移^[9]。

下肢力线是保证肢体关节载荷应力合理分布的前提,膝内翻畸形患者内侧间室负荷明显增加,使力线发生变化导致

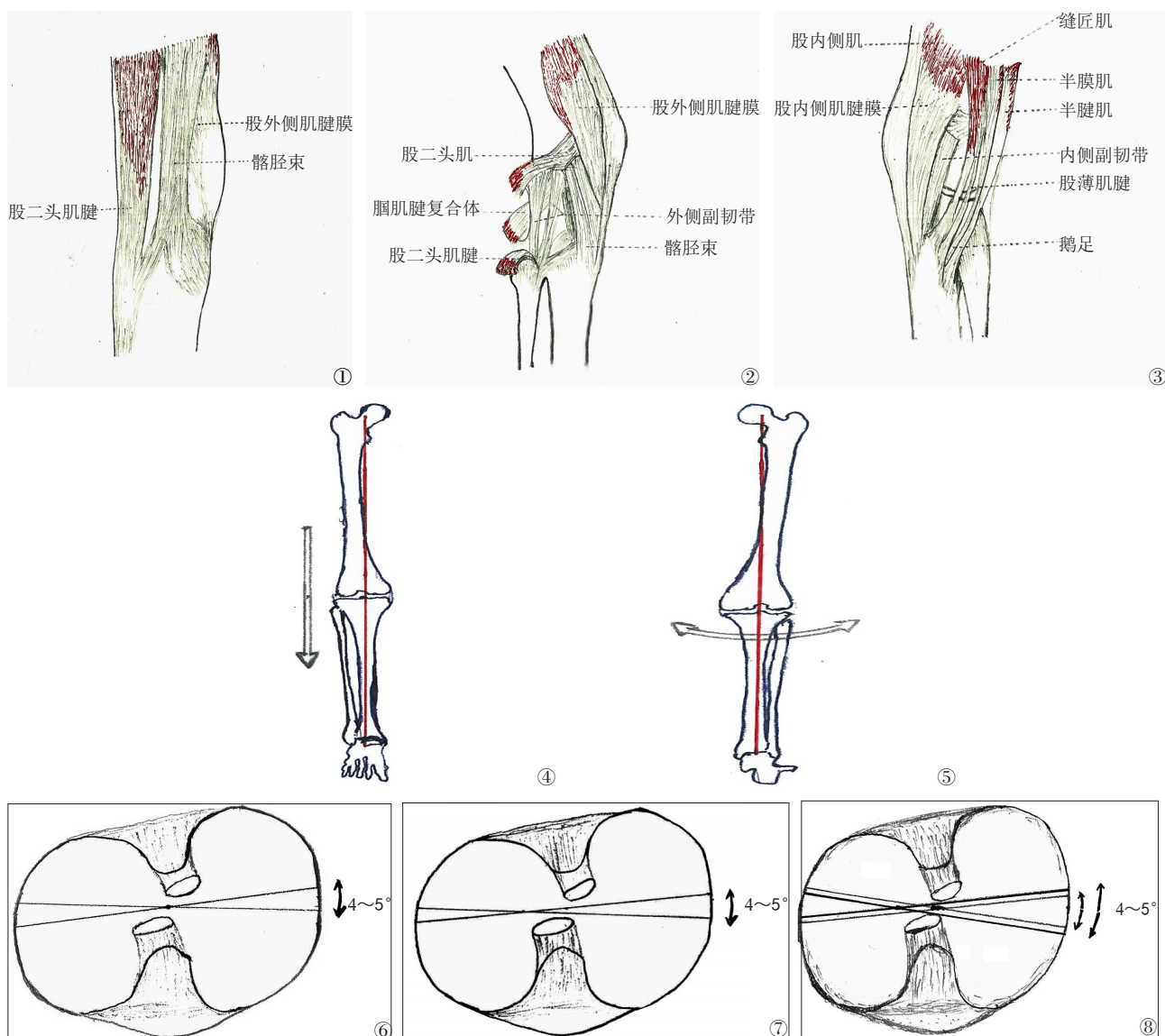


图1~3 膝关节内外侧稳定系统比较。图1 膝关节外侧浅层稳定结构；图2 膝关节外侧深层稳定结构；图3 膝关节内侧稳定结构 图4 正常膝关节负重力线 图5 正常膝关节旋转轴线 图6 正常膝关节旋转轴心及内外髁旋转范围 图7 内翻膝关节旋转轴心及内外髁旋转范围 图8 重叠比较旋转轴线的改变使股胫关节内侧关节面之间因不稳定产生更大范围的旋转运动度和更明显的应力集中

骨关节载荷紊乱、受力不均匀。Haddad和Bentley^[10]的研究表明下肢轴线内翻6°时，单肢站立位膝关节内侧间室的负荷约占体重的95%。膝内翻时力线向内偏移，有效负荷面积减少，膝关节内侧髁承受压力超过其承受能力时，发生微小骨折造成骨质塌陷等一系列退变(图9~12)。

从KOA进程看，膝关节从韧带稳定系统失衡开始，由弹性失稳逐步发展为骨性失稳。因此膝关节稳定系统失衡是始动因素，失衡产生不稳定，不稳定造成了应力集中，应力集中造成了关节软骨的磨损和关节破坏。2014年，由张英泽教授^[11]首次提出的“不均匀沉降理论”是KOA发生发展的关键原因，完全符合KOA发展的失平衡与应力机制。

二、治疗KOA的手术方法

根据失平衡与应力机制，重塑关节稳定性(使韧带平衡

和骨平衡)和逆转负重力线和旋转轴线位移(使应力集中变为应力分散)可治疗KOA，并获得良好的疗效^[12-14]。

(一)胫骨高位截骨术

胫骨高位截骨术是一种成熟的手术方法，常用路径包括内侧开放和外侧闭合^[15-16]。内侧开放胫骨高位截骨术在矫正畸形同时可紧固松弛的内侧副韧带。外侧闭合胫骨高位截骨术在矫正畸形过程中向近端移动腓骨头使外侧韧带松弛^[17]。其原理是通过矫正下肢的负重力线，使下肢的负重轴线向外侧转移，减少股胫关节内侧间室的压力负荷分布，可达到：(1)放松外侧稳定系统紧张状态，平衡内外侧稳定系统，恢复内侧塌陷及骨性平衡；(2)逆转负重力线和旋转轴线位移，将应力集中变为应力分散^[18]。

胫骨高位截骨术造成反转内侧股胫关节的过度负荷，以



图9~12 膝关节负重位正位X线片,膝骨关节炎随着负重力线内移,关节的不稳与应力集中程度越来越重。图9 女性,62岁,左膝KOA,左膝关节退行性改变、内侧间隙略变窄;图10 女性,55岁,左膝KOA,左膝关节退行性改变、内侧间隙变窄;图11 男性,57岁,左膝KOA左膝关节退行性改变、内侧间隙明显变窄;图12 女性,67岁,左膝KOA左膝关节退行性改变、内侧间隙明显变窄、内侧胫骨平台骨质塌陷

适度的量转移到相对正常的外侧股胫关节,使内侧关节软骨修复再造,从而消除或减轻疼痛,增加稳定性^[19-21]。但胫骨高位截骨术不能完全改变KOA的病理进程,仅缓解病程进展,为以后的人工全膝关节置换术(total knee arthroplasty, TKA)争取时间。由于存在髌骨低位、胫骨后倾角度变小等问题,可影响TKA的操作和疗效^[22-23],目前此类手术开展逐渐减少。

(二)TKA

TKA 目的为重建一个结构理想、运动正常、屈伸稳定的膝关节,是一种成熟的手术方法,目前得到广泛开展。在正确的截骨和假体选择、安装基础上,TKA成功的关键在于恢复“软组织平衡”^[24-26],膝关节周围的软组织中,肌肉和韧带为维持其稳定的重要因素^[27-29],TKA软组织平衡涉及主要结构包括韧带、关节囊等静力性稳定结构。

TKA后失败的主要原因是力线不良^[30-31],单纯股骨假体旋转定位不良将导致膝关节屈曲失衡、内外翻不稳、活动受限、髌骨轨迹异常和膝前疼痛等,增加假体接触面的剪切应力,加速假体磨损,造成TKA假体松动和早期失败,增加全膝关节翻修术的比例^[32]。规范的TKA结果:(1)通过术中截骨与松解,重建膝关节的稳定性,既达到软组织平衡又达到骨平衡;(2)回归负重力线和旋转轴线,使应力接近生理性分散。TKA10年生存率超过90%^[13,33-34],成为目前治疗KOA的根本方法,但存在手术创伤大、医疗费用高、术后并发症多等缺点^[14]。

(三)腓骨近端截骨术

腓骨近端截骨术是“不均匀沉降理论”指导下治疗内翻型KOA的新术式,临床报道效果优良^[11,35](图13~14)。其原理为自动调整膝关节内外侧稳定系统达到新的平衡^[36],从而逐步矫正膝内翻:(1)内翻型KOA随着内翻畸形加重,外侧张力越来越大。膝关节纵轴方向的压力来自两方面:重力产生的压力和拉力产生的压力。腓骨中上段截除后,附着其上的外侧稳定系统得到即刻松解。膝关节腔内压力降低,关节疼痛即刻缓解;(2)内翻型KOA随着内翻畸形加重,膝稳定系统外紧内松程度越来越明显,旋转轴心外移。近端腓骨部



图13~14 女性,55岁,左膝KOA行腓骨近端截骨术。图13 内翻型KOA术前正位负重位X线片;图14 行腓骨近端截骨术后正位负重位X线片

分截除后,附着其上的外侧稳定系统得到松解,内外侧稳定系统张力趋于平衡,旋转轴线回归,应力会重新分布,内侧压力即刻缓解,患者术后症状很快好转;(3)腓骨头位于胫骨后外侧,近端腓骨部分截除后膝关节后外侧得到松解,屈曲畸形得到一定程度矫正,负重力线回归;(4)近端腓骨部分截除后逆转了负重力线和旋转轴线路径,应力分散于内外侧平台。失去了腓骨的辅助支撑作用,外侧平台在压力下开始逐步沉降,其沉降速度大于内侧平台。内外平台高度趋于一致,膝内翻得到逐步矫正^[11]。

膝关节外侧软组织得到松解的依据:(1)截断腓骨后,腓骨近侧骨端向外、向后移位,术后复查的X线片近段腓骨呈轻度外翻。截骨越靠近腓骨头,外翻程度越大;越靠近腓骨头,腓骨长短肌对腓骨近端的作用力越小(图15~17)。止于腓骨头外侧的稳定系统张力使骨端产生移位^[36],移位的结果是达到了一个新的平衡。证明截断即刻外侧稳定系统中主要韧带得到了松解;(2)术前外侧稳定系统直接作用于腓骨头稳定膝关节,术后变为跨越上胫腓联合间接稳定膝关节。杨延江等^[37]研究腓骨近端截骨后,腓骨在200 N拉力下平均移位2.2 mm,说明腓骨近端有弹性可动空间,腓骨近端截骨

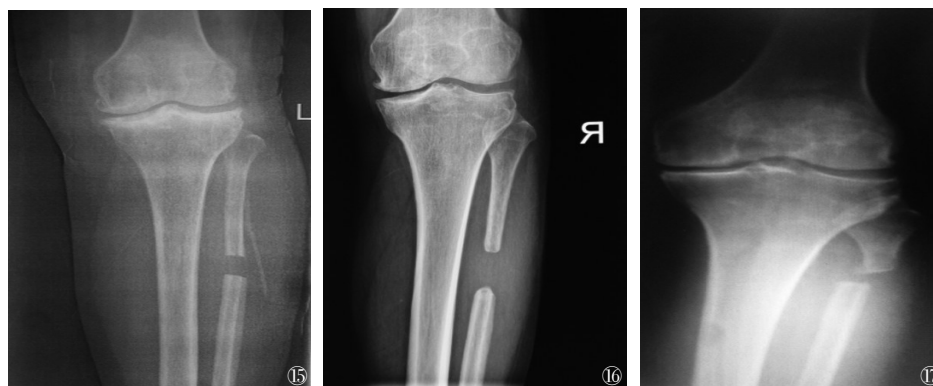


图15~17 腓骨近端截骨术后X线片,可见截骨高度不同腓骨头外翻程度不同,越靠近腓骨头外翻程度越大。图15 女性,55岁,左膝KOA截骨高度偏下;图16 女性,58岁,双膝KOA截骨高度居中;图17 女性,62岁,左膝KOA截骨高度偏上

术后外侧紧张的稳定系统得到松解。这种松解是为平衡内侧机体自身的调节,机体通过逐步调节最终达到内外侧稳定系统新的平衡;(3)陈伟等^[36]应用SSM Knee软件进行多维X线光3D建模测量近端腓骨部分截除术后患者内外侧间隙、胫骨内外侧平台负重面积以及胫骨相对股骨是否存在旋转;测量数据显示腓骨截骨术后膝关节内侧间隙增宽,胫骨内侧平台较高,负荷面积减小,胫骨相对股骨轻度外旋。胫骨内侧平台承担负荷向外侧转移,同样移位的结果是达到了一个新的平衡。该研究认为术后早期膝关节疼痛减轻的机制与膝关节周围肌肉、肌腱、韧带等软组织的再平衡有关。

腓骨近端截骨术后外侧平台沉降与内侧平台趋于一致的证据:胫骨近端为松质骨区,内外侧骨密度存在差异。秦迪等^[38]应用定量CT测量KOA患者胫腓骨软骨下区域骨密度,发现距关节软骨5 mm层面骨密度分布特点为腓骨与胫骨内髁骨密度相同。距关节软骨10 mm层面骨密度分布特点为腓骨骨密度>胫骨内髁骨密度>胫骨外髁骨密度。在解剖结构上,胫骨外侧平台有腓骨支撑,而内侧平台缺乏类似支撑,因此内侧平台下陷严重。在X线片上表现为腓骨头上方的胫骨外侧平台出现一条或两条与上胫腓关节轮廓相似的高密度影,这就进一步证明了腓骨支撑是内外侧平台发生不均匀沉降的重要原因^[39]。

综上所述,三种手术方法均遵从平衡与应力机制,重塑了关节的稳定性,逆转了负重力线和旋转轴线位移,阻断或延缓了KOA进程。但腓骨近端截骨术通过简单的手术操作便可以逆转KOA进程。该术式创伤小、费用低,可以使更多的KOA患者受益并降低膝关节置换率。对于腓骨近端截骨术后效果不佳的患者可再行TKA,不影响膝关节置换。腓骨近端截骨术的开展具有深远意义,开创了KOA的治疗新方法,具有良好的发展前景。

参 考 文 献

- 1 胥少汀,葛宝丰,徐印坎.实用骨科学[M].北京:人民军医出版社,2012:1668-1669.

- 2 胥少汀,葛宝丰,徐印坎.实用骨科学[M].北京:人民军医出版社,2012:1676-1677.
- 3 Shelburne KB, Torry MR, Pandey MG. Muscle, ligament, and joint-contact forces at the knee during walking [J]. Med Sci Sports Exerc, 2005, 37(11): 1948-1956.
- 4 胥少汀,葛宝丰,徐印坎.实用骨科学[M].北京:人民军医出版社,2012:136-137.
- 5 Yagishita K, Muneta T, Shinomiya K. Quantitative evaluation of the effect of soft tissue release on soft tissue balance in total knee arthroplasty [J]. 2001: 439.
- 6 陈启明.骨科基础学(译本)[M].北京:人民卫生出版社,2002:416.
- 7 王亦璁.膝关节外科的基础和临床[M].北京:人民卫生出版社,1999:454.
- 8 殿阁,吕厚山,杜湘珂.膝内翻患者下肢对线的X线分析[J].中国医学影像,2001,17(12):1222-1224.
- 9 Sinkov V, Cymet T. Osteoarthritis: understanding the pathophysiology, genetics and treatments [J]. J Natl Med Assoc, 2003, 95(6): 475-482.
- 10 Haddad FS, Bentley G. Total knee arthroplasty after high tibial osteotomy: a medium-term review [J]. J Arthroplasty, 2000, 15(5): 597-603.
- 11 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.
- 12 Choi HR, Hasegawa Y, Kondo S, et al. High tibial osteotomy for varus gonarthrosis: a 10- to 24-year follow-up study [J]. J Orthop Sci, 2001, 6(6): 493-497.
- 13 Choong PF, Dowsey MM, Stoney JD. Does accurate anatomical alignment result in better function and quality of Life? Comparing conventional and computer-assisted total knee arthroplasty [J]. J Arthroplasty, 2009, 24(4): 560-569.
- 14 陈伟,陈百成,王飞,等.应用不同方法治疗膝关节骨性关节炎的对比研究[J].河北医科大学学报,2015,36(5):600-602.
- 15 Amendola A, Bonasia DE. Results of high tibial osteotomy: review of the literature [J]. Int Orthop, 2010, 34(2, SI): 155-160.
- 16 Amendola A. Unicompartmental osteoarthritis in the active patient: the role of high tibial osteotomy [J]. Arthroscopy, 2003, 19: 109-116.
- 17 Kirgis A, Albrecht S. Palsy of the deep peroneal nerve after proximal tibial osteotomy [J]. An anatomical study [J]. J Bone Joint Surg Am, 1992, 74(8): 1180-1185.

- 18 徐辉, 康倩, 黄德勇, 等. 应用新型槽式钢板固定的胫骨高位截骨术治疗膝关节骨性关节炎 [J]. 中华骨科杂志, 2002, 22(2): 88-90.
- 19 Tang WC, Henderson IJ. High tibial osteotomy: long term survival analysis and patients' perspective [J]. Knee, 2005, 12(6): 410-413.
- 20 Papachristou G, Plessas S, Sourlas J, et al. Deterioration of long-term results following high tibial osteotomy in patients under 60 years of age [J]. Int Orthop, 2006, 30(5): 403-408.
- 21 Akizuki S, Shibakawa A, Takizawa T, et al. The long-term outcome of high tibial osteotomy: a ten- to 20-year follow-up [J]. J Bone Joint Surg Br, 2008, 90(5): 592-596.
- 22 Amendola A, Rorabeck CH, Bourne RB, et al. Total knee arthroplasty following high tibial osteotomy for osteoarthritis [J]. J Arthroplasty, 1989, 4:11-17.
- 23 Mont MA, Antonaides S, Krackow KA, et al. Total knee arthroplasty after failed high tibial osteotomy. A comparison with a matched group [J]. Clin Orthop Relat Res, 1994 (299): 125-130.
- 24 Dennis DA. A stepwise approach to revision total knee arthroplasty [J]. J Arthroplasty, 2007, 22(4 Suppl 1): 32-38.
- 25 Robinson JR, Sanchez-Ballester J, Bull AM, et al. The posteromedial corner revisited. An anatomical description of the passive restraining structures of the medial aspect of the human knee [J]. J Bone Joint Surg Br, 2004, 86(5): 674-681.
- 26 Mihalko WM, Krackow KA. Flexion and extension gap balancing in revision total knee arthroplasty [J]. Clin Orthop Relat Res, 2006, 446: 121-126.
- 27 杨子明. “人工关节置换热点问题高级论坛”学术讨论纪要 [J]. 中华外科杂志, 2005, 43(20): 1299-1304.
- 28 Fithian DC, Paxton EW, Cohen AB. Indications in the treatment of patellar instability [J]. J Knee Surg, 2004, 17(1): 47-56.
- 29 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.
- 30 Seo JG, Moon YW, Kim SM, et al. Easy identification of mechanical axis during total knee arthroplasty [J]. Yonsei Med J, 2013, 54(6): 1505-1510.
- 31 Vanin N, Panzica M, Dikos G, et al. Rotational alignment in total knee arthroplasty: intraoperative inter- and intraobserver reliability of Whiteside's line [J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2011, 131(11): 1477-1480.
- 32 Cinotti G, Ripani FR, Sessa P, et al. Combining different rotational alignment axes with navigation May reduce the need for lateral retinacular release in total knee arthroplasty [J]. Int Orthop, 2012, 36 (8): 1595-1600.
- 33 Johnson DR, Dennis DA, Kindsfater KA, et al. Evaluation of total knee arthroplasty performed with and without computer navigation: a bilateral total knee arthroplasty study [J]. J Arthroplasty, 2013, 28 (3): 455-458.
- 34 Patel AR, Talati RK, Yaffe MA, et al. Femoral component rotation in total knee arthroplasty: an MRI-based evaluation of our options [J]. J Arthroplasty, 2014, 29(8): 1666-1670.
- 35 郑颖洁, 赵荣华, 吴琼. 腓骨近端截骨术在膝关节骨性关节炎治疗中的应用 [J]. 世界最新医学信息文摘: 连续型电子期刊, 2015, 15 (50): 49.
- 36 陈伟, 秦迪, 吴涛, 等. 应用腓骨截骨术治疗膝关节骨性关节炎效果优良的机制分析 [J]. 河北医科大学学报, 2015, 36(6): 726-727, 745.
- 37 杨延江, 郑占乐, 李坤, 等. 腓骨高位截骨治疗膝关节骨性关节炎的解剖学研究 [J]. 河北医科大学学报, 2014, 35(6): 724-725.
- 38 秦迪, 董天华, 李升, 等. QCT测量胫腓骨骨密度临床意义的研究 [J]. 河北医科大学学报, 2014, 35(6): 722-724.
- 39 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.

(收稿日期:2015-11-09)

(本文编辑:宇文培之)

王建华. 关节失稳与应力集中在膝关节骨关节炎发病过程中的作用 [J/CD]. 中华老年骨科与康复电子杂志, 2017, 3(4): 252-256.