

膝关节屈伸时前后交叉韧带的力学分析

曾国平¹, 朱晓玲^{2*}

¹中国人民解放军联勤保障部队第九二〇医院康复医学科 云南昆明

²中国人民解放军联勤保障部队第九二〇医院医学检验科 云南昆明

【摘要】目的 分析膝关节屈伸时前后交叉韧带的生物力学特征。**方法** 纳入 1 名健康成年男性, 在 1.5TMRI 机、医学影像学软件、有限元分析软件等设备的支持下制作膝关节三维有限元模型。分别模拟膝关节屈曲 0°、30°、60°、90° 时不同载荷条件下膝关节前、后交叉韧带的应力分布情况及大小; 同时, 取后交叉韧带试样, 驱动机器对其施加拉伸应力, 直至试样断裂时统计拉伸最大载荷及应力。**结果** 膝关节屈曲 30° 时前后位移、远近位移最大, 屈曲 90° 时内外位移最大, 屈曲 60° 时内外翻角度最大, 屈曲 30° 时内外旋角度最大。膝关节在股骨后向 134N 载荷时, 屈曲 30° 时前交叉韧带承受应力最大, 屈曲 90° 时后交叉韧带承受应力最大; 内翻 10Nm 载荷、外翻 10Nm 载荷及 10Nm 内翻+5Nm 内旋载荷时, 屈曲 0° 时前交叉韧带承受应力最大, 屈曲 90° 时后交叉韧带承受应力最大。膝关节拉伸状态下拉伸最大载荷为 367.65N, 后交叉韧带承受的最大应力为 19.34MPa。**结论** 膝关节不同屈曲状态下其承受的应力不同, 损伤风险不同; 同时后交叉韧带的拉伸性能良好, 可预防膝关节扭伤。

【关键词】 膝关节; 前后交叉韧带; 生物力学

Mechanical analysis of anterior and posterior cruciate ligament during knee flexion and extension

Guoping Zeng¹, Xiaoling Zhu^{2*}

¹Department of Rehabilitation Medicine, 920 Hospital of PLA Joint Logistic Support Force, Kunming, Yunnan

²Department of Medical Laboratory, 920 Hospital of PLA Joint Logistic Support Force, Kunming, Yunnan, China

【Abstract】 Objective To analyze the biomechanical characteristics of anterior and posterior cruciate ligament during knee flexion and extension. **Methods:** A healthy adult male was included in this study. A 3D finite element model of knee joint was made with the support of 1.5TMRI machine, medical imaging software, finite element analysis software and other equipment. The stress distribution and magnitude of anterior and posterior cruciate ligaments of knee joints were simulated under different load conditions when knee joints were flexed at 0°, 30°, 60° and 90°. At the same time, the posterior cruciate ligament samples were taken, and the machine was driven to apply tensile stress to them. The maximum tensile load and stress were counted until the pattern was broken. **Results:** The anterior and posterior displacements were the largest at 30° flexion, the internal and external displacements were the largest at 90° flexion, the internal and external rotation angles were the largest at 60° flexion, and the internal and external rotation angles were the largest at 30° flexion. When the knee joint was subjected to 134N posterior femoral load, the maximum stress was sustained by the ACL at 30° flexion and the maximum stress was sustained by the ACL at 90° flexion. Under varus 10Nm load, valgus 10Nm load, and 10Nm varus +5Nm internal rotation load, the ACL bore the maximum stress at 0° flexion and the posterior cruciate ligament bore the maximum stress at 90° flexion. The maximum tensile load of the knee joint was 367.65N, and the maximum stress of the posterior cruciate ligament was 19.34mpa. **Conclusion:** The stress of knee joint under different flexion conditions is different and the risk of injury is different. At the same time, the stretching performance of the posterior cruciate ligament is good, which can prevent knee sprain.

*通讯作者: 朱晓玲

【Keywords】 knee joint; Anterior and posterior cruciate ligaments; biomechanics

膝关节作为维持人体正常运动功能和承载体重的重要关节, 前后交叉韧带是维持关节稳定性及保持关节面生理压力的重要结构, 在膝关节屈伸和旋转运动中发挥着重要的作用。与此同时, 膝关节作为人体最容易损伤的关节之一, 其中关节韧带损伤最为常见。而分析关节韧带的损伤机制对促进临床诊断、治疗及预后评估具有重要的意义。膝关节三维有限元模型可从生物力学的角度模拟膝关节屈伸时前后交叉韧带的受力情况, 为膝关节韧带损伤机制的研究提供参考信息^[1]。本文主要通过膝关节三维有限元模型建立, 进行关节屈伸时前后交叉韧带的力学特征分析。

1 材料与方法

1.1 一般材料

纳入 1 名健康成年男性进入本研究, 该男性年龄 40 岁, 身高 172cm, 体重 70kg, 无膝关节手术史、膝关节结构损伤史, 且未合并重要脏器严重疾病、肿瘤及感染性疾病。本研究所用设备包括 1.5TMRI 机、医学影像学软件、有限元分析软件等。

1.2 方法

(1) 膝关节三维有限元模型建立及模型制作, 采用 MRI 机分别对研究对象膝关节屈曲和伸直两个状态下进行横轴位、矢状位两个方向的扫描。设置扫描参数: 层距 0mm, 层厚 1mm, 矩阵 192×320。扫描后将影像学图像于医学影像学软件中导入, 并予以三维模型重建, 模型包括前、后交叉韧带。再将模型导入有限元分析软件获得膝关节三维有限元模型。为保证模型能够有效支撑研究结果的可靠性, 在模型制作参照既往文献中规定的步骤及要求的材料, 前后交叉韧带所制作的材料均选用超弹性材料^[2]。

(2) 研究膝关节不同屈曲状态下前后交叉韧带的生物力学特征。膝关节模型下保持胫骨、腓骨呈完全固定状态, 旋转轴为股骨髁中点连线, 分别模拟膝关节屈曲 0°、30°、60°、90° 时不同载荷条件下膝关节前、后交叉韧带的应力分布情况及大小。

(3) 研究膝关节拉伸状态下后交叉韧带的生物力学特征, 取后交叉韧带试样, 驱动机器对其施加拉伸应力, 直至试样断裂时统计拉伸最大载荷及应力。

1.3 观察指标

(1) 膝关节三维模型不同屈曲角度下各方位的位移, 根据模型有限元分析结果, 观察设置的主要载荷

条件为股骨后向 134N 载荷时, 膝关节三维模型不同屈曲角度下各方位的位移。

(2) 膝关节不同屈曲状态下前后交叉韧带的生物力学特征, 根据模型有限元分析结果, 观察设置的主要载荷条件为股骨后向 134N 载荷、内翻 10Nm 载荷、外翻 10Nm 载荷、10Nm 内翻+5Nm 内旋载荷时, 膝关节不同屈曲状态下前后交叉韧带的应力大小 (取最大值)。

(3) 膝关节拉伸状态下后交叉韧带的生物力学特征, 根据模型试验结果, 统计交叉韧带试样断裂时拉伸最大载荷及应力。

2 结果

2.1 膝关节三维模型不同屈曲角度下各方位的位移

经分析所得: 膝关节屈曲 30° 时前后位移、远近位移最大, 屈曲 90° 时内外位移最大, 屈曲 60° 时内外翻角度最大, 屈曲 30° 时内外旋角度最大。见表 1。

2.2 膝关节不同屈曲状态下前后交叉韧带的生物力学特征

膝关节在股骨后向 134N 载荷时, 屈曲 30° 时前交叉韧带承受应力最大, 屈曲 90° 时后交叉韧带承受应力最大; 内翻 10Nm 载荷、外翻 10Nm 载荷及 10Nm 内翻+5Nm 内旋载荷时, 屈曲 0° 时前交叉韧带承受应力最大, 屈曲 90° 时后交叉韧带承受应力最大。见表 2。

2.3 膝关节拉伸状态下后交叉韧带的生物力学特征

经试验所得, 膝关节拉伸状态下拉伸最大载荷为 367.65N, 后交叉韧带承受的最大应力为 19.34MPa。

3 讨论

膝关节是下肢系统中提供稳定的重要部位, 其中, 前交叉韧带是阻止胫骨前移的主要结构, 是膝关节的重要稳定韧带; 后交叉韧带则是防止胫骨平台往后移动的主要结构, 主要限制膝关节的过度屈伸运动^[3]。临床上, 膝关节前后交叉韧带的生物力学特性与膝关节的运动幅度及功能相对应, 可保护膝关节不受损伤。

本研究中, 膝关节屈曲 30° 时前后位移、远近位移最大, 屈曲 90° 时内外位移最大, 屈曲 60° 时内外翻角度最大, 屈曲 30° 时内外旋角度最大。

表 1 膝关节三维模型不同屈曲角度下各方位的位移比较

屈曲角度	前后位移 (mm)	远近位移 (mm)	内外位移 (mm)	内外翻角度 (°)	内外旋角度 (°)
0°	4.19	0.36	1.44	0.72	3.4
30°	6.92	0.55	1.67	0.56	5.5
60°	5.28	0.48	1.55	0.94	4.3
90°	4.87	0.42	1.73	0.64	3.8

表 2 膝关节不同屈曲状态下前后交叉韧带的生物力学特征分析

不同载荷	0° (MPa)		30° (MPa)		60° (MPa)		90° (MPa)	
	前交叉韧带	后交叉韧带	前交叉韧带	后交叉韧带	前交叉韧带	后交叉韧带	前交叉韧带	后交叉韧带
股骨后向 134N 载荷	20.72	1.92	25.92	2.12	20.23	2.51	23.42	3.58
内翻 10Nm 载荷	3.43	5.77	3.10	6.45	2.43	7.12	2.13	8.32
外翻 10Nm 载荷	3.39	0.84	3.38	0.83	3.19	0.94	3.01	0.98
10Nm 内翻+5Nm 内旋载荷	6.45	2.55	6.43	2.54	6.10	2.83	5.56	3.12

即在不同屈曲状态下, 膝关节在各个方位的变化幅度不一。而膝关节前后交叉韧带的生物力学特性能帮助我们判断膝关节屈曲时可能出现的不稳定^[4]。本研究通过分析膝关节不同屈曲状态下前后交叉韧带的生物力学特征, 结果显示: 不同载荷及不同屈曲状态下, 膝关节前后交叉韧带承受的应力不同, 而交叉韧带主要由I型和III型胶原组成, 具有一定的弹性, 可随膝关节的伸屈活动而变化。经试验所得, 膝关节拉伸状态下拉伸最大载荷为 367.65N, 后交叉韧带承受的最大应力为 19.34MPa。提示, 本研究中该例受试者后交叉韧带的拉伸性能良好。

综上, 前后交叉韧带的最大强度不是一个固定值, 受屈伸参数、载荷等因素的影响, 膝关节不同屈曲状态下其承受的应力不同, 损伤风险不同; 当后交叉韧带具备良好的拉伸性能时可预防膝关节扭伤。

参考文献

[1] 李鹏祥,赵改平,夏费一,杨加静,许海飞,马童,涂意辉. 膝关节前交叉韧带断裂单髁置换生物力学特性的有限元分析[J]. 医用生物力学,2020,35(01):70-76.
 [2] 黄勇,常崇斐,苏帆,李阔阔,陈斐,陆伟,王大平,朱伟民. 膝

关节内侧副韧带损伤后对前交叉韧带生物力学的影响[J]. 深圳中西医结合杂志,2020,30(01):194-196.

[3] 谢强. 三维有限元生物力学分析后交叉韧带断裂后膝关节内翻及外旋时的应力[J]. 中国组织工程研究,2017, 21(07):1036-1040.
 [4] 张素杰,何鹏宇. 膝关节交叉韧带在不同运动状态下的生物力学特性及其损伤机制研究[J]. 临床和实验医学杂志,2016,15(22):2255-2258.

收稿日期: 2022 年 9 月 26 日

出刊日期: 2022 年 10 月 28 日

引用本文: 曾国平, 朱晓玲, 膝关节屈伸时前后交叉韧带的力学分析[J]. 国际外科研究杂志,2022, 5(3) :34-36.

DOI: 10.12208/j. ijsr.20220081

检索信息: RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS