

足球运动脚踝内、外侧触球方式力学特性

卜彦丽¹,王建民¹,李佳²,常金龙²,任武²

(1.河南农业大学 体育学院,郑州 450046;2.新乡医学院 医学工程学院;河南省神经传感与控制工程技术研究中心;新乡市智能康复设备工程技术研究中心,河南 新乡 453003)

摘要:[目的]研究足球脚踝内、外侧触球生物力学特性并降低相关伤病发生率.[方法]采用有限元法建立足部生物力学模型,模拟不同方式触球.[结果]在外部冲击力大小一致情况下,脚踝内侧和外侧触球的受力趋势类似,最大受力部位处于跟骨、骰骨和距骨连接处的下侧,较大受力部位处于内侧楔骨、中间楔骨和外侧楔骨下侧;不同受力情况下足部骨骼的位移也相差较大,其中两种触球方式在 500 N 外力下足部最大应力分别为 34.45 MPa 和 34.85 MPa.最大位移发生在脚趾部位,分别为 1.74 mm 和 1.36 mm.[结论]足球运动者要注意触球位置,并预估外力大小,以避免危险动作对身体带来伤害.

关键词:足球;脚内侧;脚外侧;生物力学;应力

中图分类号:TP391.9

文献标志码:A

2019 年教育部在《全国青少年校园足球五年来发展情况及 2020 年工作部暑发布会》中谈到,我国已认定的校园足球特色校为 27 000 多所,2021 年教育部认定的全国足球特色幼儿园为 2 030 所.《全面开启全国青少年校园足球改革发展新征程》会议强调:校园足球的发展要抓住 3~6 岁幼儿的运动习惯延伸至幼儿园.这便意味着未来我国参与足球训练和比赛的人群越来越广,足球爱好者一生参与足球锻炼和竞赛的时间越来越多.由于足球运动是高对抗、高技巧、高协作的运动,多数学校日常教学、训练中缺乏专业医护人员跟踪,参加足球运动的学生在训练以及比赛中受伤情况时有发生.因此在足球教学、训练、比赛中如何保障学生身体健康,避免和减少运动损伤,显得尤为重要.

本课题组成员通过与 268 名足球教师和教练员沟通交流,发现赛场和训练场发生过的伤病主要包括:脚踝扭伤、小腿骨折、肌肉拉伤、痉挛、半月板损伤、跟腱拉伤、锁骨骨折、眼部视力损伤、脚趾骨折等.课题组分析了众多伤病类型和程度,发现业余足球练习者伤病发生的一个重要原因是击球部位不准确.本文拟通过对学生的受伤机制以及足部受力情况分析,研究不同触球部位影响足部应力的生物力学特性.

脚踝受伤在足球运动损伤中很常见,有研究者提出,其在所有急性损伤中占 11%~25%,ANDERSEN 等^[1]通过分析比赛的录像和受伤信息得出,撞击受伤球员的踝关节受伤概率较大.通过研究脚踝内、外侧在触球时的生物力学特性,便于发现脚踝受伤规律,提前预防损伤发生.不同性别足球练习者其脚踝触球生物力学会不会存在差异,SAKAMOTO 等^[2]针对不同男、女足球练习者脚踢球生物力学特点,提出女性练习者用足部齿轮附近去撞击球时,是提高脚背和内线的球脚速度比的一种有效技术,对预防足部损伤有重要意义.SAKAMOTO 等^[3]在研究男女足球运动员脚背和侧足踢球的动力学中提出,两者侧踢时,髋关节内收、外展力矩方面存在显著差异.在足球现实运动中,无论用脚踝内侧踢球还是脚踝外侧踢球,整个踢球技术包含多个阶段,每个阶段参与运动的各关节的角度,肌群放电幅度强烈程度也不尽相同.为了做到踢击有效,同

收稿日期:2023-02-11;修回日期:2023-03-08.

基金项目:河南省科技攻关项目(222102310063);河南省哲学社会科学规划项目(2022BTY008);河南省高等学校青年骨干教师培养计划(2021GGJS102).

作者简介:卜彦丽(1978-),女,河南新乡人,河南农业大学副教授,主要研究方向为体育教学与训练.

通信作者:王建民(1977-),男,河南周口人,河南农业大学教授,主要研究方向为运动与健康促进,E-mail:343590031@qq.com.

时又减少损伤,单纯分析脚骨的运动生物力学特点显然还不够.于雪梅^[4]等分析了不同级别男子足球运动员脚背内、外侧踢定位球技术中在蹬伸阶段、后摆阶段前摆阶段的髌、膝、踝、大腿、小腿等不同部位的关节角度,摆动时间、肌肉放电幅度等运动生物力学特性,为全面了解脚内、外侧踢球技术的运动规律并合理选择踢球部位提供数据支持.

现阶段关于足部生物力学在足球运动中的研究主要集中在运动员整体协调性和足球运动一些伤病的影响,对于足部不同触球方式中的骨骼生物力学特性的研究还不足.本文利用正常人足部生物力学模型,研究脚内侧和脚外侧两种常见足球触球方式在模拟足球不同力度的情况下足部受力大小,旨在为校园足球运动员训练、康复提供参考,为运动医学、体育学的同行提供数据支持.

1 足部三维模型构建

人体足部主要由 26 块骨骼以及韧带、肌肉、肌腱等组成,具有承重、减振的作用.根据人体足部 CT 断层扫描图,利用 Mimics 软件对足部骨骼模型进行三维重建,提取不同组织和部位的几何形状,根据骨阈值进行分割生成足部 3D 模型.为提高有限元分析效率,根据前续操作将足部骨骼 STL 文件导入 Geomagic Studio 中,本文采用单层足部骨骼,经网格医生处理后对模型进一步优化,生成曲面多边形网格模型,精确曲面后就可以转化成 IGS 格式文件.

2 足部有限元模型建立

根据分析需要设置材料属性、网格、载荷和边界条件,采用各向同性均匀的材料,骨骼的弹性模量为 7 300 MPa,泊松比为 0.3,并根据相应的数值设置好骨骼其它参数导入 Ansys 中.

根据校园足球常见训练和比赛踢球方式,建立内脚侧和外脚背生物力学模型,以人体正常脚面为水平面,在脚踝内外侧施加 5 N、20 N、80 N、500 N 的外部力模拟两种触球方式.其中 5 N 模拟轻微触球,20 N 模拟较短距离传切和过人力度,80 N 模拟抢断触球和较远距离传球力度,500 N 模拟抢断救险或大力射门力度.

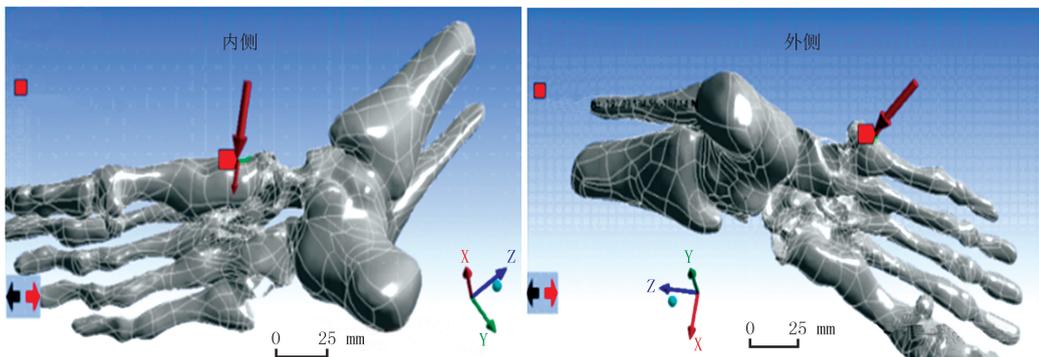


图1 对脚踝内、外侧施加外力设置

Fig.1 The settings of applying external force to the ankle inside and outside

对模型进行单元网格划分和赋值材料属性,单元网格边长设置为 2 mm,划分后的单元数为 90 282 个,对足部底端进行位移约束,约束方式为固定.

3 足部有限元模型受力结果分析

3.1 脚踝内侧受力分析

根据图 1 受力区域,设定好外力方向、大小以及其它边界条件进行有限元计算,分别对脚内侧触球施加外力 5 N、20 N、80 N、500 N 进行模拟,得到脚内侧足部骨骼的应力和位移云图如附图 I.

从附图 I 可知,当外力分别为 5 N、20 N、80 N、500 N 时,足部骨骼所受压强的最大值分别为 0.34 MPa、

1.38 MPa、5.51 MPa、34.45 MPa。最大受力部位在跟骨、骰骨和距骨连接处偏下侧,较大受力部位在内侧楔骨、中间楔骨和外侧楔骨的下侧。表明在足球运动中,当练习者用脚内侧触球时,需避免跟骨、骰骨和距骨连接处偏下侧区域应力过大,导致发生应力性骨折。同时应确保触球位置的准确性,减少运动损伤的发生。根据骨骼位移云图可知,当外力为5 N、20 N、80 N的时候,脚踝内侧足部骨骼最大位移值均较小。表明足球运动中的轻微触球、抢断触球、传切、过人情况下,对脚踝内侧骨骼产生的作用较小。当外力为500 N时,脚趾骨位移明显,最大位移值为1.74 mm。这一现象说明当足球练习者在进行抢断救险或大力射门时,足部的位移上升较快,此时容易发生运动损伤。

3.2 脚踝外侧受力分析

按照预先设定,对脚踝外侧分别施加5 N、20 N、80 N、500 N的外力进行模拟,得到脚踝外侧足部骨骼的应力和位移云图如附图II。

从附图II可知,当外力分别为5 N、20 N、80 N、500 N时,足部骨骼所受压强最大值分别为0.35 MPa、1.40 MPa、5.75 MPa、34.85 MPa。最大受力部位发生在跟骨、骰骨、距骨连接处的下端。表明用脚外侧触球时,最主要的触球点是脚的跟骨、骰骨以及距骨连接处的下端区域。由图显示其他触球点为距骨外侧,以及内侧楔骨、中间楔骨和外侧楔骨。根据骨骼位移云图可知,受力为5 N、20 N、80 N时,脚踝外侧足部骨骼最大位移均较小。表明在轻微触球、抢断触球、传切、过人动作中,用脚外侧触球,对跟骨、骰骨、距骨、楔骨产生的作用较小。当外力为500 N时,脚趾附近骨骼位移明显,最大位移值为1.36 mm。表明在抢断救险或大力射门时,外力较大,对脚趾骨骼产生明显作用,练习者要注意适当避险,防止损伤发生。

4 结 论

结合附图I、附图II数据做横向比较,发现在外部冲击力大小相同的情况下,脚踝内侧和脚踝外侧触球时的受力情况比较类似,最大受力部位集中在跟骨、骰骨和距骨连接处的下侧区域,其它受力部位主要位于内侧楔骨、中间楔骨和外侧楔骨下侧。在500 N外力作用下,无论是脚踝内侧触球,还是脚踝外侧触球,脚趾位移都有了较大上升。因此在抢断救险或大力射门时,脚骨受到的作用力加大,容易出现受伤。在日常训练中,应注重培养足球练习者的视觉判断能力,以便其更早、更精确地捕获到目标对象运动状态的重要信息,做出合理的应对措施,在避免受力过大引起脚踝内、外侧伤病的情况下选择合理的触球动作和触球部位,成功地完成抢断和射门动作。对于普通足球运动者要特别注意避免过大冲击力触球,特别是要减少脚趾的受力,尽量让足球的能量最大限度地吸收到跟骨上,习惯使用脚踝内外侧进行阻击和反击,将足球的受伤概率尽可能降低,合理避险,健康运动。除此之外,练习者也可以通过选择不同鞋钉的足球鞋,帮助提高自身运动表现,并降低运动损伤。孙冬^[5]从运动生物力学角度,分析足-鞋-草坪之间的相互作用,在对不同足球鞋对练习者下肢生物力学影响的研究中,建议业余运动者可选择长钉FG足球鞋或短钉AG足球鞋。

除足球运动项目以外,刘国立等^[6]在分析不同运动等级散打运动员鞭腿技术的运动学特征时,也提出不同运动等级的技术特征差异较为显著。HE等^[7]探讨不同等级乒乓球运动员正手上旋回圈时下肢的运动学特征时提出,踝内翻和外翻的差异显著。因此在日常锻炼中,对不同运动等级练习者的技术动作展开运动学特征分析,然后有的放矢地采取不同训练方法和内容,是开展健康、安全的体育锻炼的有效保障。

综上,无论是通过意识、体能、技术等训练,还是借助外在因素辅助,在提高练习者的运动表现的同时,降低运动损伤的发生,借助相关运动生物力学数据的支撑,都可达到知己知彼百战不殆的效果。

5 展 望

由于人体足部结构复杂,限于研究人员的水平和精力限制,后续研究可在以下方面进行:1)建立足部的骨骼、皮肤、皮肤内的韧带、软组织等结构在内的综合模型。2)可增加脚面触球、脚尖触球等方式。3)可进一步细化三维空间多方向、多角度动载荷的研究,模拟急停触球和变向射门等足球动作。

附 录

附图I~II见电子版(DOI:10.16366/j.cnki.1000-2367.2023.05.019)。

参 考 文 献

- [1] ANDERSEN T E, FLOERENES T W, ARNASON A, et al. Video analysis of the mechanisms for ankle injuries in football[J]. *The American Journal of Sports Medicine*, 2004, 32(1 Suppl): 69S-79S.
- [2] SAKAMOTO K, ASAI T. Comparison of kicking motion characteristics at ball impact between female and male soccer players[J]. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 2013, 8(1): 63-76.
- [3] SAKAMOTO K, NUMAZU N, HONG S, et al. Kinetic analysis of instep and side-foot kick in female and male soccer players[J]. *Procedia Engineering*, 2016, 147: 214-219.
- [4] 于雪梅. 不同级别男子足球运动员脚背内外侧踢定位球技术动作的运动生物力学分析[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2018.
YU X M. Sports Biomechanical Research at the Technique Movement of Kicking the Ball on the Outside and inside Foot of Male Soccer [D]. Xi'an: Xidian University, 2018.
- [5] 孙冬. 不同鞋钉构造足球鞋对足球运动员下肢生物力学影响的研究[D]. 宁波: 宁波大学, 2017.
SUN D. Biomechanical analysis of lower limbs during soccer related movements with different studded soccer shoes[D]. Ningbo: Ningbo University, 2017.
- [6] 刘国立, 李杰, 马世坤, 等. 不同运动等级散打运动员鞭腿技术的运动学特征分析[J]. *河南师范大学学报(自然科学版)*, 2022, 50(3): 150-156.
LIU G L, LI J, MA S K, et al. Analysis of kinematic characteristics of whipping technique in Sanda athletes with different sports levels[J]. *Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition)*, 2022, 50(3): 150-156.
- [7] HE Y Q, LYU X, SUN D, et al. The kinematic analysis of the lower limb during topspin forehand loop between different level table tennis athletes[J]. *PeerJ*, 2021, 9: e10841.

Foot mechanics characteristics of ankles inside and outside contact in football game

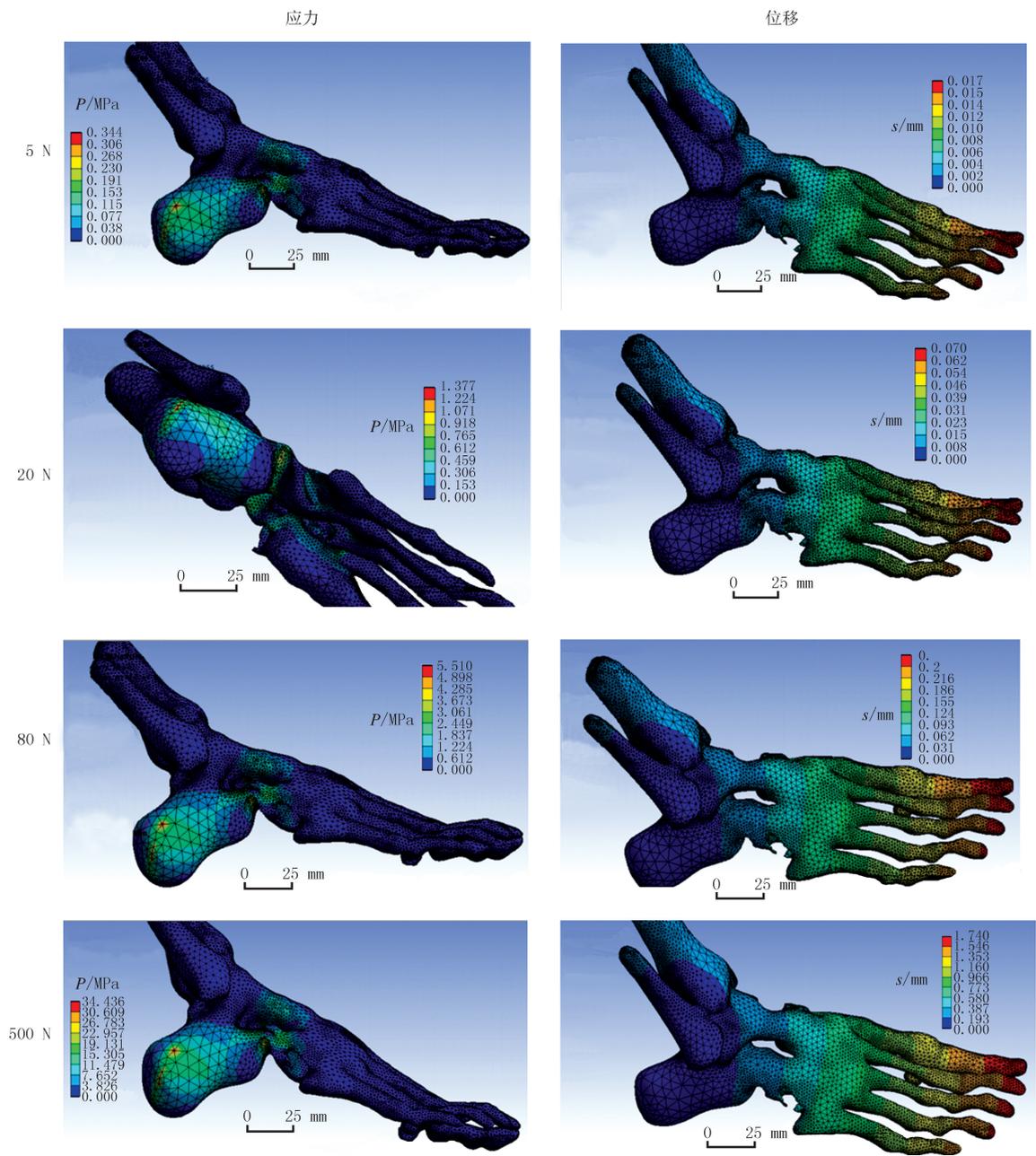
Bu Yanli¹, Wang Jianmin¹, Li Jia², Chang Jinlong², Ren Wu²

(1. College of Physical Education, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, China; 2. College of Medical Engineering; Engineering Technology Research Center of Neurosense and Control of Henan Province; Xinxiang Engineering Technology Research Center of Intelligent Rehabilitation Equipment, Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, China)

Abstract: [Objective] In order to study the biomechanical characteristics of football ankle and reduce the incidence of related injuries. [Methods] The finite element analysis method had been used to simulate different ways of kicking with a biomechanical foot model. [Results] Under the condition of the same external impact force, the force trend of the medial and lateral impact of the ankle is similar. The maximum force is located on the lower side of the calcaneus, cuboid and talus while the other parts with greater force are mainly located in the medial cuneiform, cuneiform and talus. Secondly, under different stress conditions the displacement of the foot bones is also quite different. The maximum stress of the foot is 34.45 MPa and 34.85 MPa respectively under the external force of 500 N, and the maximum displacement, which are 1.74 mm and 1.36 mm, occurs in the toes. [Conclusion] Football players should pay attention to the position of touching the ball and estimate the size of the external force, so as to avoid the harm of dangerous actions to the body.

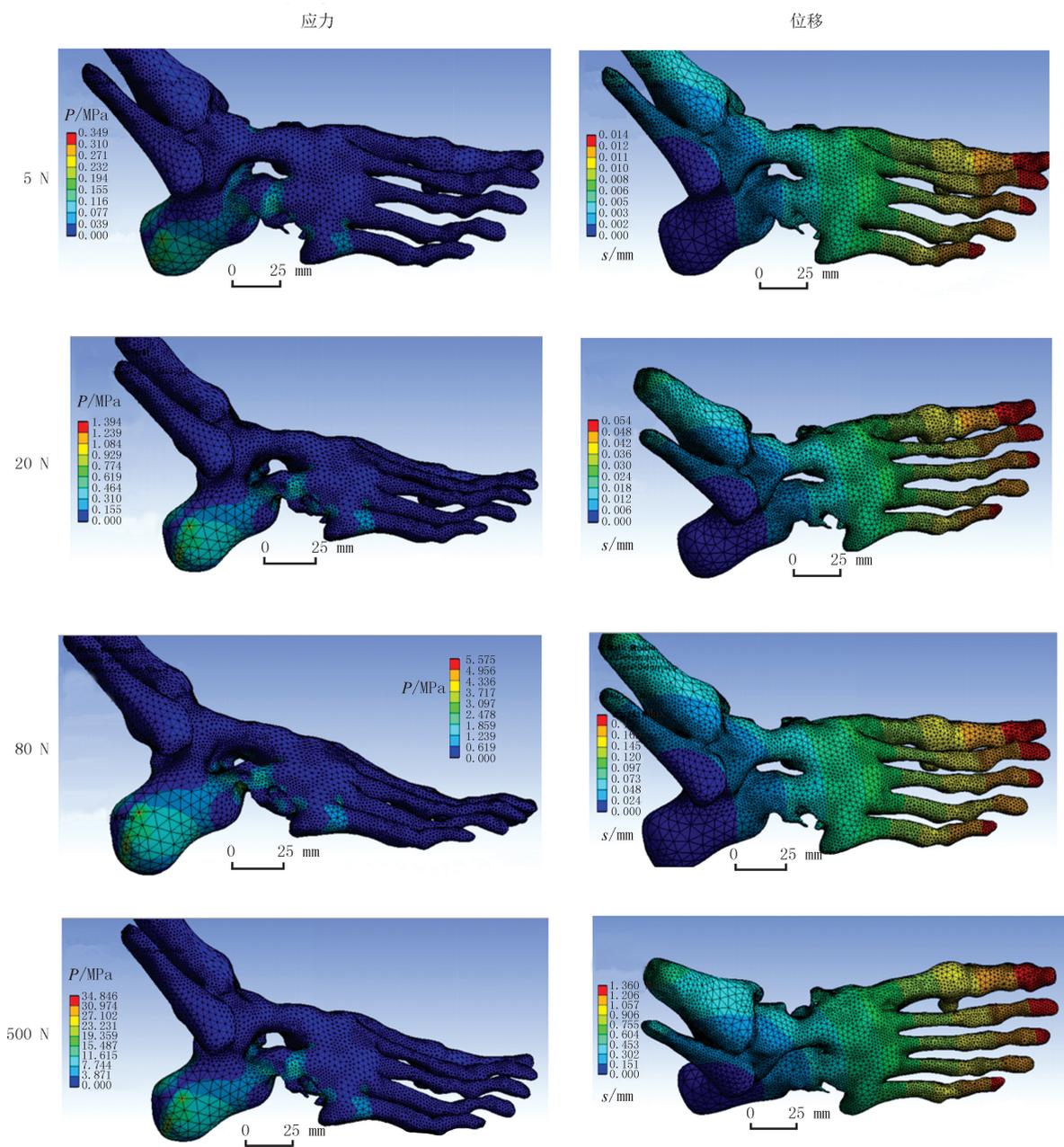
Keywords: football; inside foot; outside foot; biomechanics; stress

[责任编辑 杨浦 刘洋]



附图 I 脚内侧触球的有限元力学分析结果

Attached fig. I The finite element analysis results of the the footinside with external force



附图 II 脚外侧触球的有限元力学分析结果

Attached fig. II The finite element analysis results of the foot outside with the external force