

站立位时跟距骨应力分布的三维有限元研究

The investigation on the distribution of stress with the three dimensional definite element model of calcaneus and talus during standing position

刘立峰 蔡锦方 梁进

LIU Lifeng, CAI Jinfang, LIANG Jin

【关键词】 跟骨; 距骨; 应力,物理 【Key words】 Calcaneus; Talus; Stress, Mechanical

站立位是人体最常见的体位之一。本研究试图通过三维有限元的方法研究站立位时跟距骨在承载和传导躯体重荷时的生物力学特点。

1 材料和方法

正常男性志愿者,25 岁,身高 170 cm,体重 60 kg,无跟痛及外伤史,摄 X 线平片检查未见异常。对志愿者跟距骨进行螺旋扫描及三维影像重建。读取跟距骨及周围韧带的三维空间坐标,输入计算机。以 ANSYS-5.7 三维有限元分析软件包为工具,建立跟距骨的三维有限元模型。因材料属性常与其作用力及力的变化速率有关,因此对模型的材料属性的界定一直较为困难。在当前的研究中,只能将一个相对静止载荷系统应用于模型,即将体重作为初始载荷加载于模型上。在相对静止负载状态下,相对的把关节软骨作为线弹性的材料也有助于获取有益的信息。因此骨与软骨的材料属性被看作同质、各向同性和线弹性的。材料的力学参数取自以前发表文献,已经过检验。骨的弹性模量为 7300 N/mm,泊松比为 0.3^[1]。关节软骨的弹性模量与泊松比分别为 1 N/mm 与 0.1^[2]。建立完整的跟距骨三维有限元模型,共有 17808 个节点,11451 块单元。

据测算一体重为 600 N 正常人静止站立时,每侧踝关节载荷约为 600 N,小腿三头肌通过跟腱作用于跟骨上的肌肉力量约为 100 N。将 600 N 载荷加载在距骨背侧的关节面,100 N 向上的跟腱力加载在跟骨后面上 1/3 跟腱附着点处,其他作用在跟距骨上的肌肉作用力可假设为 0^[3]。将跟骰、距舟关节面约束模拟正常站立位时的状况,进行有限元计算。

通过有限元计算获得了跟距骨在站立位时的应力分布。有限元计算的结果以 Von Mises 等效应力表示,它以下述关系式衡量所有主应力的作用。

$$\text{Von Mises 应力} = \{0.5 \times [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]\}^{1/2}$$

2 结果

通过计算得到跟距骨 Von Mises 应力分布增高区域,如表 1。

表 1 站立位时跟距骨 Von Mises 等效应力增高区域

应力增高区域	最大应力值 MPa
距骨背面前内侧	3.01
距骨颈	1.83
距舟关节面内侧	1.76
跟骨载距突与跟骨体相交处	2.86
跟腱附着点	2.33
跟骨背侧及外侧	1.05
跟骰关节面上外侧	2.02
距下关节前关节面载距突与跟骨体相连处	1.36
后关节面前外下方临近 Gissane 角处	1.58

3 讨论

站立位时跟距骨的 Von Mises 应力分布并不均匀,应力集中的区域多是主要承重部位或关节面,如距骨背面与距下关节。距骨颈自距骨体向前内下方突出形成。距骨颈相对较细,而距骨颈处应力水平亦较高,且较平均。这使距骨颈成为距骨最容易骨折的部位。

站立位时距下关节前关节面的应力水平略低于后关节面。由于后关节面的面积约是前关节面的 2.5 倍,因此大部分载荷(约为 75%)通过后关节面传递。最大应力值亦在后关节面的邻近 Gissane 角处。跟骨借跗骨窦内坚强的距跟骨间韧带和厚实的内侧距跟韧带、较薄弱外侧距跟韧带,以及其它附属韧带与距骨紧密相连。正常状态下,距下运动轴为偏心性,跟骨处于自然外翻位,距骨的前外侧突正好骑在跟骨的 Gissane 角上。跟骨骨折多由轴向负荷所致,受力来自剪力和压缩力。根据距跟骨的上述解剖关系与应力分布,可以解释跟骨骨折的主要骨折线为何常位于 Gissane 角处。同时前后关节面的应力水平也说明后关节面更容易发生压缩性骨折与创伤性关节炎。

跟骰关节面的应力分布不均匀,可能与跟骰关节面不平整有关。跟骰关节的应力水平也较高,临床报道跟骰关节炎的发病率较足部其他关节亦高。载距突与跟骨体相接处的 Von Mises 应力在跟骨为最大应力值,这与载距突内侧相对较薄的板形突出结构与跟骨体相接有关。一般来说在承载的情况下,变形转折处的应力水平都比较高。载距突处的骨质为皮质骨,结构坚实也适应了这一生理需要。跟腱附着点处由

于跟腱的牵拉,也是一应力增高区。虽跟结节处骨质为皮质骨较为坚实,但向前逐渐成为薄层皮质骨包绕松质骨的骨性结构。二者交接处亦是结构薄弱区,容易在此处发生跟腱强力收缩引起的跟骨撕脱骨折。

参考文献

1 Gefen A, Elad D, Shiner RJ. Analysis of stress distribution in the alveolar septa of normal and simulated emphysematic lungs. Biomech, 1999,

32:891-897.

2 Athanasiou KA, Liu GT, Lavery LA. Biomechanical topography of human articular cartilage in the first metatarsophalangeal joint. Clin Orthop, 1998, 348:269-281.

3 Dieter R, Gerhard B, Peter A, et al. Calcaneal fractures cause a lateral load shift in chopart joint contact stress and plantar pressure pattern in vitro. Biomech, 1996, 29:1435-1443.

(收稿:2002-12-23 编辑:王宏)

· 短篇报道 ·

第一掌背动脉皮瓣在皮肤血管缺损性断指再植中的应用

汤金城

(洛阳正骨医院,河南 洛阳 471002)

自 1999 年以来,我院共收治 15 例皮肤血管性断指患者,采用第一掌背动脉皮瓣完成再植术,取得了满意疗效,报告如下。

1 临床资料

本组 15 例 15 指,男 9 例,女 6 例;年龄 17~55 岁,平均 31 岁。受伤原因:冲压伤 8 例,电锯伤 4 例,绞轧伤 3 例。左手 4 例,右手 11 例。受伤指别:拇指 3 例,食指 5 例,中指 4 例,环指 1 例,小指 2 例。缺损平面:近侧指间关节近侧 6 例,远侧 9 例;背侧皮缺损 7 例,掌侧皮缺损 8 例。皮瓣切取面积最大 4 cm×3 cm,最小为 2 cm×2 cm。

2 手术方法

彻底清创后,首先固定指骨,缝合肌腱,处理指动、静脉、指神经断端,测量皮肤缺损面积及血管缺损长度。

找拇长伸肌腱尺侧缘与第二掌骨底相交点,向第二掌骨桡侧缘画线,为皮瓣的轴心线设计皮瓣,尺侧可达第三掌骨桡侧,桡侧至第一掌骨尺侧缘。沿皮瓣桡侧缘切开,深筋膜与皮肤缝几针以防分离,根据需要可取浅静脉、桡神经浅支,于深筋膜下、第一掌背侧肌表面解剖第一掌背动脉。再沿皮瓣尺侧缘切开,深筋膜下分离到第一掌背脉,这时形成带蒂皮瓣[中华手外科杂志,2001,17(3):135],掌背动脉带部分筋膜,沿掌背动脉分离到桡动脉腕背段,根据指动脉缺损长度切取桡动脉腕背段,取浅静脉桥接重建桡动脉腕背段,供皮区直接缝合。

背侧皮肤血管缺损的再植:将皮瓣移于指背与创面皮肤缝合固定,顺行桥接指背静脉,桥接指动脉、指神经,缝合皮缘完成再植。

掌侧皮肤血管缺损的再植:将皮瓣移于指掌侧与创面皮肤缝合固定,先桥接指动脉、指神经,在断面近侧寻找 1~2 根掌浅静脉或掌背静脉与皮瓣近端静脉吻合,缝合皮缘完成再植。

末节指腹缺损的再植:将皮瓣移于创面四周皮肤缝合固

定,顺行吻合皮瓣静脉与浅静脉一根,皮瓣动脉吻合指动脉,神经直接吻合。

3 结果

术后随访 3~12 个月,成活 14 例,失败 1 例,两点分辨觉 3~6 mm,手部功能恢复,按中华医学会手外科学会断指再植功能评定试用标准评定[程国良,潘达德.手指再植与再造.北京:人民卫生出版社,1997.224];优 9 例,良 4 例,差 2 例,优良率 86.7%。

4 讨论

手指在各种致伤原因离断中,常可见到远侧指体完整,中间节掌背侧皮肤缺损,按照惯例常予以截指,清创缝合处理。随着显微外科的发展,为了保留远端完好的指体外形,从其它部位切取一块微型静脉皮瓣,应用显微外科技术进行桥接,既保留了原手指长度,又保留原手指外形,但静脉皮瓣属非生理性皮瓣,术后皮瓣易肿胀,成活率低,浅静脉易痉挛,更增加了断指再植的失败率。因此,选择静脉皮瓣要慎重。

第一掌背动脉出现率 100%,由桡动脉腕背段发出,解剖恒定,变异少,起点径在(0.9±0.1) mm,发出后即分为拇指尺背侧和示指侧动脉,末端外径(0.5±0.2) mm[徐达传.手功能修复重建外科解剖学.北京:人民卫生出版社,1996.122],因口径小不适宜在断指再植中使用,因此切取皮瓣应带桡动脉腕背段。

第一掌背动脉皮瓣质地好,肤色与受区一致,皮瓣不雍肿,使用后手指外观好,切取简单,切取后可直接缝合。

手背皮下组织内具有丰富的浅静脉,这些浅静脉形成静脉弓,为修复指背静脉提供基础,掌背动脉有两条伴行静脉,这两条小静脉间有众多的交通支相联系,保证皮瓣的血液回流。由桡神经发出的掌背神经位于皮下组织内,外径 0.6~0.9 mm,走行方向与掌背动脉相一致,切取长度可达 8 cm,可用于修复指神经缺损。

(收稿:2003-03-03 修回:2003-07-02 编辑:连智华)