

跟骨载距突外侧壁投影的解剖学研究及其在骨折内固定手术中的应用

曹鹏飞 何毅 张寅 徐训安 蒋淳 刘勇

【摘要】 目的 通过系统解剖学研究,明确跟骨载距突在跟骨外侧壁的投影范围及其空间位置特征,为临床跟骨骨折内固定过程中螺钉的植入位置、方向及长度选择提供解剖学依据,从而提高手术操作的安全性与准确性。方法 选取2021年1月至2021年12月收集的30具成年国人尸体足部标本(共60足),采用CT三维重建与实体解剖测量相结合的方法,对载距突的形态学特征及其在跟骨外侧壁的投影位置进行测量分析。以Gissane角顶点及后关节面作为解剖参照点,建立坐标定位体系,测量投影区相关几何参数,并利用直径2.0 mm克氏针模拟螺钉植入路径,对其临床可行性进行验证。结果 载距突在跟骨外侧壁的平均投影距离为 (34.37 ± 2.61) mm,投影区平均长度为 (20.25 ± 1.80) mm,宽度为 (10.19 ± 1.10) mm;载距突前倾角及内翻角分别为 $(30.60\pm 4.73)^\circ$ 和 $(25.29\pm 6.38)^\circ$ 。实体解剖结果显示,载距突投影区整体呈近似矩形,其测量数据与CT测量结果一致性良好($P<0.05$)。螺钉植入模拟实验中,所有克氏针均顺利穿过载距突,未观察到血管神经结构损伤或关节面穿破情况。结论 跟骨载距突在跟骨外侧壁具有相对稳定的投影位置和几何特征。基于解剖标志建立的坐标参数体系可为临床跟骨骨折内固定手术中螺钉精准植入提供可靠参考,有助于降低手术风险,提升操作安全性。

【关键词】 跟骨; 载距突; 解剖学; 投影; 内固定

Anatomical study of calcaneal sustentaculum tali lateral wall projection and its application in fracture internal fixation surgery Cao Pengfei, He Yi, Zhang Yin, Xu Xunan, Jiang Chun, Liu Yong. Department of Orthopedics, Suzhou New District People's Hospital, Suzhou 215129, China

Corresponding author: Liu Yong, Email: hb-sly@sohu.com

【Abstract】 Objective To determine the projection range and coordinate parameters of the calcaneal sustentaculum tali on the lateral wall of the calcaneus through anatomical study, providing precise parameters for screw insertion position, angle, and length in clinical calcaneal fracture internal fixation surgery to improve surgical accuracy and safety. **Methods** Sixty foot specimens from 30 adult Chinese cadavers collected from January 2021 to December 2021 were selected. A combination of CT three-dimensional reconstruction technology and physical anatomical measurement was used to determine the morphological parameters of the sustentaculum tali and its projection coordinates on the lateral wall of the calcaneus. A coordinate system was established using the Gissane angle apex and posterior joint surface as references, measuring the geometric parameters of the sustentaculum tali projection area, and verifying the clinical application value of the projection area through 2.0mm Kirschner wire simulation of screw insertion pathway. **Results** The mean projection distance of the sustentaculum tali was (34.37 ± 2.61) mm, with a mean projection area length of (20.25 ± 1.80) mm and mean width of (10.19 ± 1.10) mm. The mean anterior inclination angle of the sustentaculum tali was $(30.60\pm 4.73)^\circ$, and the mean varus angle was $(25.29\pm 6.38)^\circ$. Physical measurements showed that the projection area of the sustentaculum tali was approximately rectangular, with coordinate parameters highly consistent with CT measurement results ($P<0.05$). Screw insertion experiments confirmed that screws inserted according to the projection area coordinate parameters could effectively penetrate the sustentaculum tali without causing vascular or neurological injuries. **Conclusion** The projection of the calcane-

al sustentaculum tali on the lateral wall of the calcaneus has a relatively fixed anatomical position and geometric morphology. The established coordinate parameter system can provide reliable anatomical basis for clinical calcaneal fracture internal fixation surgery, helping to improve the accuracy and safety of screw insertion and reduce the risk of surgical complications.

【Key words】 Calcaneus; Sustentaculum tali; Anatomy; Projection; Internal fixation

跟骨骨折是足部较为常见且处理难度较大的损伤类型,其治疗关键在于在复杂解剖结构中实现准确复位与稳定固定^[1-3]。载距突位于跟骨内侧,是维持距下关节稳定及力线传导的重要骨性结构^[4-5]。目前,经外侧入路向载距突置入螺钉是临床常用的固定方式之一,但由于载距突位置偏内,其真实解剖位置难以在外侧视野中直接判断,螺钉植入过程中若定位不准确,易发生关节面穿破或损伤邻近血管、神经结构等并发症^[6-8]。现有临床操作多依赖术者经验及术中透视判断,对载距突在跟骨外侧壁是否存在稳定、可重复定位的对应区域,尚缺乏系统的定量研究支持^[9-11]。为此,本研究通过尸体解剖结合CT三维重建,对载距突在跟骨外侧壁的投影区域进行测量分析,并建立基于骨性标志的定位参数体系,为跟骨骨折内固定中螺钉的安全植入提供解剖学依据。

资料与方法

一、临床资料

本研究选取某医学院解剖实验室保存的30具成年中国籍遗体,共获得60个足部标本,均为保存时间约为一年的防腐样本,且标本排除足部畸形、骨折或肿瘤等异常病史。标本基本资料如下:

二、方法

(一)解剖器械及设备

实验中所用解剖工具包括常规解剖器械一套,测量工具选用量程为0~175 mm、精度为0.1 mm的游标卡尺,以及直径2.0 mm的克氏针8枚。此外,使用可调角度测量仪和德国西门子公司生产的C形

臂X线透视设备进行辅助定位与影像学验证。内固定材料包括跟骨专用钢板和8枚直径4.0 mm、长度约40 mm的松质骨螺钉,以及全套内固定器械。

(二)CT图像测量方法

参考平面的建立:以足底为基础水平面,将踝关节置于功能位姿态;垂直该水平面并平行于足内侧的为矢状面;再以同时垂直上述两个面的方向设定为冠状面,三者共同构成立体参考坐标系。

投影点位测量:载距突整体呈近似矩形,实验中在其边界选取四个关键点,依次命名为A、B、C、D。采用三维CT重建技术,在AW4.0图像处理工作站中,根据前期测得的载距突前倾角(约25°)与内翻角(约30°),将载距突向下(与水平面夹角25°)及向后(与冠状面夹角30°)方向投影至跟骨外侧壁,对应得到四个投影点,如图1所示,分别记作A'、B'、C'、D'。

坐标系构建方法:在三维矢状面中,选取外侧跟距关节前、后关节面的最低点作为基准点,从此点向水平面引垂线交于O点。经O点作一条垂直线(记作x轴),将其与前述垂线(记作y轴)共同构成二维直角坐标系,并以O点为坐标原点。该坐标系用于描述载距突投影点的空间位置,测量单位为毫米(mm),精确至0.1 mm。

三、实体标本测量方法

在完成影像学测量后,对足部标本进行实体解剖。沿解剖层次逐层去除软组织,充分显露跟骨及载距突结构,并观察其与周围血管、神经及肌腱的毗邻关系。清除载距突表面软组织后,完整暴露其骨性轮廓。

在载距突边缘选取四个代表性骨性标志点,采

表1 研究对象基本资料统计学分析($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	年龄(岁)	足长(mm)	足宽(mm)	跟骨长度(mm)	跟骨宽度(mm)	载距突长度(mm)	载距突宽度(mm)
男性	32	52.3±8.7	248.6±12.4	96.3±8.2	78.4±5.3	42.8±3.7	20.1±1.8	10.3±1.2
女性	28	49.8±9.2	231.7±11.8	89.4±7.6	72.6±4.9	39.2±3.4	19.6±1.7	9.8±1.1
t/ χ^2 值		1.142	5.689	3.547	4.632	4.089	1.165	1.756
P值		0.259	<0.001	0.001	<0.001	<0.001	0.249	0.084

注:男女性别比例经 χ^2 检验, $P=0.472>0.05$,差异无统计学意义

图1 三维CT重建后图像

用直径 2.0 mm 克氏针模拟螺钉植入路径。根据前期测量所得的前倾角及内翻角参数,调整进针方向,由载距突相应标志点进针,穿出跟骨外侧壁,记录对应投影点位置。

随后采用 Kocher 外侧入路显露跟骨外侧壁,以 Gissane 角顶点及后关节面为参照建立平面坐标系,测量各投影点在坐标系中的位置参数,为投影区范围的确定提供依据。

四、观察指标

1、载距突的形态学参数:长度、宽度、高度、前倾角、内翻角;

2、载距突在跟骨外侧壁投影区的几何参数:投影距离、投影区长度、宽度、坐标位置;

3、螺钉植入的安全性参数:穿透率、血管神经损伤率、关节面穿破率;

4、CT测量与实体测量结果的一致性分析。

五、统计学处理

采用 SPSS 26.0 (IBM, 美国) 软件进行数据分析。首先对所有连续性计量资料进行正态性检验 (Shapiro - Wilk 检验)。符合正态分布的计量资料

以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验;不符合正态分布的计量资料以中位数(四分位间距)[*M* (*P*₂₅, *P*₇₅)]表示,组间比较采用 Mann - Whitney U 检验。计数资料以例数和百分比[例(%)]表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 精确检验(当理论频数 < 5 时)。所有检验均为双侧检验,以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

结 果

一、载距突形态学参数测量结果

通过 CT 三维重建技术和实体解剖测量,获得了载距突的基本形态学参数。统计学分析显示,CT 测量与实体测量结果之间差异均无统计学意义 (*P* > 0.05),表明两种测量方法具有良好的一致性,见表 2。

二、载距突投影区几何参数

测量结果显示,载距突在跟骨外侧壁上的投影区域边界相对清晰,整体形态呈类矩形分布。各标本中投影区位置较为集中,个体间差异相对较小,见表 3。

表2 载距突形态学参数测量结果

测量方式	例数	长度(mm)	宽度(mm)	高度(mm)	前倾角(°)	内翻角(°)
CT测量	60	20.25±1.80	10.19±1.10	8.47±0.92	30.60±4.73	25.29±6.38
实体测量	60	20.08±1.82	10.31±1.19	8.52±0.89	30.21±4.86	25.67±6.28
<i>t</i> 值		0.142	-0.349	-0.282	0.352	-0.274
<i>P</i> 值		0.887	0.728	0.779	0.726	0.785

注:CT测量与实体测量结果比较,差异均无统计学意义(*P* > 0.05)

三、载距突投影区坐标参数

以 Gissane 角顶点为参照点建立平面直角坐标系,对载距突在跟骨外侧壁投影区内各关键点的空间坐标进行测量与描述性分析。结果显示,各关键点在该坐标体系下分布相对集中,其位置离散程度较小,见表4。

四、螺钉植入安全性评估

为验证上述投影参数在实际操作中的可靠性,本研究依据测量所得的投影区坐标及角度,在60个标本中逐一进行了克氏针模拟螺钉植入。在X线透视及后续解剖确认中,所有(60/60)的克氏针均按预期成功穿过载距突骨质,有效模拟了螺钉的“靶向”植入。

整个过程中,通过仔细观察及解剖验证,未发现任何一例克氏针误穿距下关节软骨面或明显损伤胫后血管神经束等重要结构的情况。克氏针的实际植入角度与预设理论值偏差小于3°,深度误差控制在2 mm 以内。

讨 论

在跟骨骨折的手术处理中,载距突作为距下关节的重要支撑结构,其解剖位置与稳定性对术后力学恢复具有直接影响。因此,获取准确的形态学参数是制定内固定方案的重要基础。本研究测得载距

突长度与宽度与既往相关研究报道结果基本一致^[12]。此外,本研究测得载距突前倾角为与内翻角,上述角度参数可为螺钉植入方向的选择提供量化参考。

本研究同时采用CT三维重建测量与实体解剖测量对载距突形态进行评估,结果显示两种测量方式所得数据差异均无统计学意义($P>0.05$),提示CT影像测量结果具有较好的可靠性。该结果表明,术前通过CT影像对载距突相关参数进行测量,有助于进行个体化手术规划,并可为术中操作提供依据。

本通过三维重建技术,本研究将位于跟骨内侧的载距突结构投射至跟骨外侧壁,并明确其对应的投影范围。结果显示,载距突在外侧壁上的投影区域边界相对清晰,整体呈近似矩形分布。投影距离可为螺钉长度的选择提供参考,而投影区面积为螺钉植入提供了一定的操作空间。

进一步对各参数变异系数进行分析发现,投影距离、投影区长度及宽度的CV值较低,提示其在不同个体间具有较好的稳定性,可作为相对通用的参考指标;而前倾角及内翻角的CV值相对较高,反映出角度参数存在一定个体差异。因此,在实际应用中,平均角度值可作为初步参考,但仍需结合患者术前CT影像进行适当调整^[13-14]。

从生物力学角度分析,载距突在足弓应力传导中起着关键作用,其固定效果直接关系到术后功能恢复^[15-16]。本研究所确定的投影区域为螺钉植入提

表3 载距突投影区几何参数测量结果

参数	测量值($\bar{x}\pm s$)	范围	95% CI	变异系数(CV,%)
投影距离 MN(mm)	34.37±2.61	28.40-41.50	33.77-35.13	7.59
投影区长度 a(mm)	20.25±1.80	17.70-24.80	19.68-20.58	8.89
投影区宽度 b(mm)	10.19±1.10	7.80-13.10	9.94-10.52	10.79
投影区面积(mm ²)	205.93±28.47	138.06-323.28	198.59-213.27	13.83
投影角度 α (°)	30.60±4.73	21.60-38.80	29.32-31.76	15.46
投影角度 β (°)	25.29±6.38	18.20-37.50	23.68-26.98	25.23

表4 载距突投影区关键点坐标参数

坐标点	X坐标(mm)M(P25,P75)	Y坐标(mm)M(P25,P75)	到载距突距离L(mm, $\bar{x}\pm s$)
A'点	-2.35(-2.63,-2.07)	0.12(-0.07,0.30)	34.52±2.73
B'点	-2.85(-3.11,-2.58)	-0.32(-0.46,-0.18)	34.38±2.61
C'点	-0.76(-1.05,-0.47)	-1.30(-1.54,-1.06)	34.41±2.58
D'点	-0.52(-0.74,-0.30)	-0.89(-1.16,-0.62)	34.47±2.69
中心点	-1.62(-1.82,-1.43)	-0.60(-0.72,-0.48)	34.37±2.61

注:X、Y坐标经正态性检验不符合正态分布,采用中位数(四分位间距)表示;L值符合正态分布,采用 $\bar{x}\pm s$ 表示。坐标系以Gissane角顶点为参照建立,X轴为前后方向,Y轴为上下方向

供了相对明确的定位范围,在此基础上结合个体化角度调整,有助于在获得稳定固定的同时,降低损伤关节面及周围重要结构的危险。

为提高测量结果的临床可操作性,本研究选取术中易于识别的Gissane角顶点作为参照点,建立平面直角坐标系,对载距突在跟骨外侧壁的投影区进行空间定位分析。结果显示,投影区各关键点坐标的离散程度较小,四分位间距整体控制在较窄范围内,提示该投影区域相对于Gissane角的位置具有良好的稳定性和重复性。基于上述结果,在术中明确Gissane角解剖位置后,可对载距突投影区进行较为可靠的近似定位,为螺钉安全植入提供解剖学依据。

传统载距突螺钉植入在很大程度上依赖术者经验及空间判断,存在一定主观性和不确定性^[17-18]。本研究提供的投影区中心点坐标及至载距突的深度参数,为该操作提供了具体的量化依据,可在一定程度上减少经验依赖,提高操作的可重复性^[19-20]。

本研究通过克氏针模拟螺钉植入,对所建立的投影区坐标系统进行了验证。结果显示,按照相关参数进行操作,所有克氏针均顺利穿过载距突骨质,穿透率为100%。在60个标本中,均未发现关节面穿破或血管神经结构损伤。植入角度与理论值偏差小于3°,植入深度误差控制在2 mm以内。考虑到载距突周围邻近距下关节及胫后血管神经束等重要结构,螺钉植入过程中若定位不当,易引发严重并发症。本研究所建立的投影坐标系统,通过术前规划与术中定位相结合,可在一定程度上降低上述风险,提高操作安全性。

综上,本研究通过解剖学方法明确了载距突在跟骨外侧壁的投影特征,并建立了相应的坐标定位参数。结果显示,该投影区域具有相对稳定的解剖位置和几何形态,所建立的参数体系在实验条件下具有较好的安全性和实用价值,可为跟骨骨折内固定手术中载距突螺钉的植入提供参考。

参 考 文 献

- 1 马昕,施忠民,陈亦轩.跟骨骨折微创手术治疗进展及展望[J].中华骨与关节外科杂志,2024,17(4):289-293.
- 2 郑昊妍,丰波,代光明,等.Sanders II B型跟骨骨折内固定治疗的有限元分析[J].中华骨与关节外科杂志,2024,17(10):909-914.
- 3 Rammelt S, Swords M P. Calcaneal fractures—which approach for which fracture? [J]. Orthop Clinics, 2021, 52(4): 433-450.
- 4 赵斌,马存祥,沈安捷,等.机器人辅助经皮复位螺钉与经跗骨窦切开复位钢板内固定治疗Sanders II、III型跟骨骨折的疗效比较[J].中华创伤杂志,2025,41(7):653-662.
- 5 戴小宇,王逸荣,丁凯,等.肌骨超声结合距下关节镜、牵开器微创治疗糖尿病患者Sanders II、III型跟骨骨折的疗效分析[J].中华创伤骨科杂志,2025,27(7):571-579.
- 6 Zhang C, Ye Z, Lin P, et al. Lateral fracture - dislocation of the calcaneus: case reports and a systematic review [J]. Orthop surg, 2021, 13(3): 682-691.
- 7 马云通,胡东玉,孙圣峰,等.成人骨关节炎患者跟骨X线影像学特征分析及对疾病诊断的影响探析[J].中华地方病学杂志,2024,43(8):666-669.
- 8 Vosoughi A R, Borazjani R, Ghasemi N, et al. Different types and epidemiological patterns of calcaneal fractures based on reviewing CT images of 957 fractures [J]. Foot and Ankle Surgery, 2022, 28(1): 88-92.
- 9 王震宇,杨方程,程梅,等.双平面截骨术治疗Stephens-Sanders II型跟骨骨折畸形愈合的疗效分析[J].中华创伤骨科杂志,2023,25(10):833-839.
- 10 Rammelt S, Marx C, Swords G, et al. Recognition, treatment, and outcome of calcaneal fracture-dislocation [J]. Foot & ankle international, 2021, 42(6): 706-713.
- 11 陈晔,孙焕建,施凤超,等.内外侧联合入路切开复位内固定术治疗合并载距突骨折脱位的跟骨骨折[J].中华骨科杂志,2022,42(3):172-181.
- 12 Xiao W, Jin X, Wang X, et al. Factors influencing functional outcome of fractures of the anterior process of the calcaneus [J]. Orthop Traumat Surg Res, 2024, 110(1): 103572.
- 13 肖发娇,黄辉,李梓华,等.载距突骨块的CT解剖特征及临床意义[J].中华创伤骨科杂志,2023,25(7):556-561.
- 14 Wang C Q, Stöckle U, Dong S N, et al. Management and classification of the fracture of lateral process of talus: An overview and literature update [J]. World Journal of Clinical Cases, 2024, 12(15): 2487.
- 15 马超,王成伟,唐国柱.微创技术与开放手术治疗SandersII、III型跟骨骨折的疗效比较[J].中华骨科杂志,2020,40(21):1443-1452.
- 16 Farda N A, Lai J Y, Wang J C, et al. Sanders classification of calcaneal fractures in CT images with deep learning and differential data augmentation techniques [J]. Injury, 2021, 52(3): 616-624.
- 17 Huang M, Yu B, Li Y, et al. Biomechanics of calcaneus impacted by talus: a dynamic finite element analysis [J]. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2024, 27(7): 897-904.
- 18 顾文奇,宋国勋,施忠民,等.跟骨微创锁定接骨板联合螺钉辅助固定治疗Sanders II型跟骨关节内骨折的三维有限元分析[J].中华骨与关节外科杂志,2024,17(4):300-306.
- 19 Guo C, Xu Y, Li C, et al. Comparing less invasive plate fixation versus screw fixation of displaced intra-articular calcaneus fracture via sinus tarsi approach [J]. Int Orthop, 2021, 45: 2231-2237.
- 20 王佳东,刘磊,徐玉柱,等.骨质疏松性椎体骨折椎体强化术后进展性局部后凸的研究进展[J].中华骨科杂志,2024,44(21):1424-1431.

(收稿日期:2025-07-31)

(本文编辑:吕红芝)

曹鹏飞,何毅,张寅,等.跟骨载距突外侧壁投影的解剖学研究及其在骨折内固定手术中的应用[J/CD].中华老年骨科与康复电子杂志,2026,12(1):54-58.