

与股骨逆行髓内钉相关的股骨解剖学测量的研究进展

王学宇, 冯卫*, 薛飞

内蒙古医科大学第二附属医院创伤中心A区, 内蒙古 呼和浩特

收稿日期: 2024年11月27日; 录用日期: 2024年12月21日; 发布日期: 2024年12月31日

摘要

目的: 阐述与股骨逆行髓内钉相关的股骨解剖学参数的研究进展。方法: 广泛查阅近年国内外相关文献并结合基础研究及临床相关经验, 总结分析与股骨逆行髓内钉密切相关的几个重要解剖参数的临床意义及相关测量结果和测量手段等。结果: 目前临床常用的髓内钉大多数仍为参照国外人体解剖参数而设计的, 而国人股骨解剖参数与西方人种确实存在差异。同时发现股骨长度、股骨标准冠矢状面的确定及股骨曲度的相关研究等对股骨逆行髓内钉的设计有着决定性的影响。结论: 在股骨远端骨折的治疗中, 股骨逆行髓内钉有着不可替代的作用, 有必要设计一款新型股骨逆行髓内钉使其更符合国人特点。

关键词

股骨远端, 解剖参数, 逆行髓内钉

Advancements in the Anatomical Measurement of the Femur Pertaining to Retrograde Intramedullary Nail Techniques

Xueyu Wang, Wei Feng*, Fei Xue

Area A, Trauma Center, The Second Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia

Received: Nov. 27th, 2024; accepted: Dec. 21st, 2024; published: Dec. 31st, 2024

Abstract

Objective: This study aims to review the advancements in research concerning femoral anatomical

*通讯作者。

文章引用: 王学宇, 冯卫, 薛飞. 与股骨逆行髓内钉相关的股骨解剖学测量的研究进展[J]. 临床个性化医学, 2024, 3(4): 2707-2718. DOI: 10.12677/jcpm.2024.34384

parameters pertinent to retrograde intramedullary nails. **Methods:** Through a comprehensive examination of recent literature both domestically and internationally, alongside foundational research and clinical experience, we summarized and analyzed the clinical significance of several key anatomical parameters closely associated with femoral retrograde intramedullary nails, as well as relevant measurement outcomes and methodologies. **Results:** Currently, the most commonly utilized intramedullary nails in clinical practice are still designed based on foreign human anatomical parameters; however, it is evident that the anatomical characteristics of the Chinese femur differ significantly from those of Western populations. Furthermore, findings indicate that factors such as femoral length, standard coronary deformity assessment of the femur, and investigations into femoral curvature exert a critical influence on the design of retrograde intramedullary nails for the femur. **Conclusion:** Retrograde intramedullary nail fixation plays an indispensable role in managing distal femoral fractures. Therefore, there is a pressing need to develop new designs for retrograde intramedullary nails tailored specifically for individuals of Chinese descent.

Keywords

Distal Femur, Anatomical Parameters, Retrograde Intramedullary Nail

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

股骨是人体最长、最大的管状骨。作为人体下肢重要的负重骨之一，骨折后通常会产生严重的并发症[1][2]。若不及时治疗常常会并发下肢畸形、功能障碍等对患者的工作及生活造成严重的损害[3][4]。由于股骨的解剖形态多变、按照临床上股骨骨折的常见部位，通常将其分为股骨近端骨折(股骨颈骨折、股骨转子间骨折、股骨转子下骨折)，股骨干骨折及股骨远端骨折。其中股骨干骨折属于临床上的一种常见骨折类型，其发生率较高，约占全身骨折的6%[5][6]。而股骨中段峡部以下至股骨髁上之间的骨干则被定义为股骨中下段，据统计约占股骨干骨折的1/5[7]-[9]。同时股骨近端有前倾角、颈干角、偏心距、远端有Q角，加上股骨干的前弓、侧弓使得股骨干近端和远端的解剖轴也发生了变化，最终使得股骨远端形成了约7°的外翻截骨角(Valgus cut angle, VCA)。因此从解剖生物力学的角度来讲，股骨干为偏心承重，其外侧承受张应力，内侧承受压应力，因而对内固定的要求比较高。

近年来，随着髓内钉种类的发展、技术的提高以及生物学固定(biological osteosynthesis, BO)理念的提出，交锁髓内钉已在股骨干骨折的治疗中得到了广泛的应用。因其良好的临床效果，已成为标准术式[10][11]。特别是股骨中上段骨折的髓内固定已经在临床上普遍应用、并得到矫正外科的普遍肯定、同时针对股骨近端的解剖学研究及髓内固定器械的研发已经相对非常成熟，遂在此文中不再进一步详细介绍。然而面对股骨中下段的骨折，由于其髓腔逐渐宽大、皮质骨较薄、骨质由密质骨逐渐向松质骨过渡，且远端与膝关节相邻近，近年来骨科同仁对这部分骨折的治疗方法仍在积极探索之中[12][13]。

考虑到股骨干中下段及股骨远端的特殊解剖结构，相比于顺行髓内钉，逆行髓内钉可以明显增强骨折端的稳定性、尽早进行功能锻炼从而使患者更早地回归社会生活[14]。而相比于股骨远端锁定钢板，逆行髓内钉无论是在生物力学方面、手术操作难易程度上、术中对软组织损伤程度上、术中出血量、术后骨折愈合率及术后膝关节功能康复等各个方面均表现更为优越[15]-[17]。所以逆行髓内钉已然成为股骨中下段骨折及股骨远端骨折的主要手术方式之一[18][19]。

然而无论是弹性髓内钉还是交锁髓内钉均面临着这一问题。那就是目前临床常用的髓内钉大多数仍为参照国外人体解剖参数而设计的,而国人股骨解剖参数与西方人种确实存在差异[20],其中中国人与欧美人膝关节形态的差异不仅仅是简单的尺寸大小问题,而是形状不同的问题[21]。所以只有设计出真正匹配中国人的内植物才能从根本上解决问题。所以近年来国内许多专家学者先后对国人的股骨解剖参数进行了一系列研究,以期设计出适合国人的髓内钉。本文旨在对目前国内外与股骨逆行髓内针相关解剖参数的测量方法及结果进行综述并分析。

2. 测量方法

股骨标本直接测量法:分为股骨干性及湿性标本,常规会选取完整、无缺损、无畸形的成人股骨标本进行测量。选用传统测量工具如:电锯/摆锯、刻度直尺、游标卡尺、圆规、量角器等进行股骨相关解剖参数的测量。可以对股骨头直径、股骨颈干角、前倾角、股骨长度、股骨髁宽度长度、股骨内外髁大小及股骨髓腔直径及皮质厚度等相关参数进行相对直接的观测及测量。但目前临床上获取标本相对比较困难,人为测量误差较大,遂无法获取大量准确的样本量,目前临床研究比较少用。

X 线股骨测量法:X 线平片是一种经典的测量方法,因其获取相对简单、临床样本量大常常被用来进行股骨的直接测量。然而其准确性与拍片者技术、患者体位密切相关,常常需要经验丰富的影像专科医生进行拍片及测量。想要获取完整的准确的股骨正侧位片比较困难。其中股骨小转子和腓骨头是判断患者拍摄 X 线时是否发生下肢旋转的重要指标。同时因股骨为三维立体形态,而作为二维测量的 X 射线就不能真实反映股骨的形态特征,所以 X 线的股骨测量结果常常被设置为对照组进行解剖数据的相关分析。

CT 股骨测量法:作为临床一种重要的检查手段,同时也是一种重要的股骨解剖参数测量方法。目前临床上通常会获取健康人股骨的 CT 影像数据,利用 CT 扫描的股骨图像以 Dicom 格式输入三维重建软件 Mimics 中,从而建立股骨三维模型,然后对股骨单位模型进行解剖学参数测量、从而获取相关数据。同时可以联合相关专业软件如:Geomagic、CAD 软件中的 Solidworks、ANSYS Workbench 等进行相关内固定植入物的有限元力学分析。相比于 X 线测量法,三维 CT 扫描所获取的影像学数据更精确,联合 Mimics 软件所重建的股骨三维模型更接近人体骨骼真实的股骨形态特征,可以明显减少人为因素及体位因素等影响,使我们获取的数据结果更真实。当然因其检查费用相对较高、临床大样本量的获取同样会面临着一定的困难。

EOS 系统股骨测量法:法国 EOS imaging 公司的“X 射线影像采集系统”是一个 X 线成像设备,由正、侧位两套成像球管和新型粒子探测器组成,EOS 系统是将粒子探测器技术和线性扫描技术结合起来,使受检者在负重位下进行全身三维扫描,可一次性拍摄 1:1 的全脊柱及下肢的全长片,具有放射剂量低、图像质量高等优点[22]。在股骨解剖参数测量方面,EOS 系统也表现出较高的准确性和可行性,据相关研究报道,EOS 系统测量的准确性要高于 X 线片和 CT ($P < 0.001$),而且 EOS 成像系统无论是 EOS 成像系统还是 CT 扫描都有很高的可靠性和可重复性。同时与 X 线片和 CT 相比,EOS 成像系统两种方案的辐射也更小。但因其高昂的运营成本,适合走高端医疗路线以及开展结合 3D 重建的手术临床研究,该产品目前针对的适应症较少,适合骨科专科医院使用,未来随着 3D 重建技术在骨科手术中进一步推广,有可能扩展适应症。

3. 股骨解剖数据分析

3.1. 股骨长度的研究

3.1.1. 股骨长度的临床意义

股骨作为人体最长的管状骨,其在临床上起着至关重要的作用。股骨长度在髓内钉固定中起着决定

性的作用。它在髓内钉选择和设计中尤为重要。而常见的股骨长度测量有体外直接测量法、X 线及股骨 CT 扫描测量法等。

3.1.2. 直接测量法

谭进等[23]测得成都地区干燥股骨标本的体长为：男性(340.43 ± 17.42) mm 女性(325.12 ± 21.26) mm。王永清组[24]通过对 18 根不成对新鲜股骨标本进行测量，测得股骨髓腔生理长度为： (42.000 ± 2.210) cm。Naik MA 等[25]使用卷尺直接测量了 68 名 19~55 岁(平均 35.8 岁)的女性志愿者同侧股骨长度。测量标准为：股骨长度是从大转子尖端到大腿外侧髌骨近端极水平。两名观察员分别在两个不同的场合进行了测量。计算了观察者内和观察者间的变化。测得股骨全长为：组内 1 组(39.71 ± 2.44) cm 组内 2 组(39.77 ± 2.44) cm 组间 1 组(39.88 ± 2.46) cm 组间 2 组(40.03 ± 2.45) cm。并验证了前臂加上小指的长度代表了最大的股骨指甲长度，同时该方法简单、无辐射，可应用于日常实践。梁斌等[26]通过对 20 例接受髓内钉治疗的股骨折患者的股骨长度进行了测量，方法为：取患者平卧时分别取屈膝 90° 和伸膝 0° 2 种体位经体表测量检测股骨自大转子顶点至股骨外侧髌关节缘间的直线距离，手术后运用数字摄片以髓内钉作为参照物，计算实际影像放大率，间接计算出健侧股骨的实际长度。同时对这两种体位直测结果、两者均值结果及 Dicom 法测量结果进行比较与统计分析，股骨长度测得结果：Dicom 测量法： (419.47 ± 24.44) mm 平卧屈膝位法： (430.90 ± 30.13) mm 平卧伸膝位法： (416.10 ± 32.15) mm 平卧均值法： (423.50 ± 30.87) mm。分析结果显示：均值测量法的相关系数最大，且样本回归方程的代表性较好，提示该方法可能较好地用来估计影像测量法所得结果并对术前判断髓内钉长度有参考意义。

3.1.3. 间接影像学测量法

崔蕴威等[27]对健康青壮年 102 例志愿者进行成人股骨正位数字化 X 线片(digital radiograph, DR)拍摄。运用应用图像测量分析软件 Digmizer V4.2 (MedCalc Software, 美国)测量股骨全长。测量标准为：首先确定股骨整体全长，分别取股骨近端和远端 1/4 处中点，连接两点，确定中轴线，沿股骨两端最远处作切线与中轴线相交于两点，两点间距即为股骨全长。测得男性股骨全长(右) (49.3 ± 0.3) cm (左) (49.1 ± 0.3) cm，测得女性股骨全长(右) (45.2 ± 0.3) cm (左) (45.2 ± 0.3) cm。本研究采用 Digmizer V4.2 自带比例校正功能，使用该软件自带工具测量双侧股骨真实长度，该方法更加简便准确，测量的数据更加贴近国人实际。闫宏伟等[28]选择正常成人股骨全长 X 线片(含标准正、侧位片)52 例，应用图像分析软件进行形态学参数测量。测量标准为：小转子顶点至股骨内、外侧髌最宽处的垂直距离。测得股骨髓腔全长为 (33.51 ± 0.63) cm (男)和 (33.13 ± 0.64) cm (女)。Zhao JX 等[29]使用 Mimics 和 3-Matic 软件(Materialise, Haasrode, Belgium)进行股骨重建，并通过组内相关系数验证了使用 15 对股骨模型的测量方法的可靠性后，测量了 200 根中国股骨的解剖参数，并进行了统计分析，以比较不同性别或侧位的股骨近端解剖参数，确定最佳进入点的最相关因素。该实验定义股骨长度为：从股骨头顶部到远端髌突底部测量股骨长度，测得股骨长度(mm)男性： (431.64 ± 18.01) cm 女性： (403.47 ± 24.35) cm。并通过统计学独立样本 T 检验验证股骨长度测量数据结果具有统计学意义。

3.2. 股骨远端解剖轴的研究

股骨解剖轴即股骨长轴，是股骨各横截面中心点连接的一条轴线，一般在冠状面上这一轴线趋于直线，在股骨矢状面上为一弧线[30]。而针对股骨逆行髓内钉的研究，股骨远端解剖轴就显得尤为重要。Moreland 等[31]首先提出了两种股骨远端解剖轴的定义方法，第一种是找到股骨长度 1/2 的骨干中点与膝关节中心点的连线即为股骨远端解剖轴。第二种是找到股骨远端膝关节线近端 10 cm 处骨干中点，其与股骨长度 1/2 的骨干中点的连线即为股骨远端解剖轴。Oswald 等[32]在 Moreland 的基础上进一步提出了

新的股骨解剖轴定义方法。他们将股骨解剖轴分为股骨远端解剖轴、股骨长解剖轴和股骨中心解剖轴。股骨远端解剖轴为关节线近端 20 cm 处骨干中点到膝关节中心点的连线。后来股骨远端解剖轴的定义被广泛使用和发展。Liu T [33]、Bardakos [34]等均采用此方法确定股骨远端解剖轴。Ou 等[35]针对中国人群髓内定位杆插入深度进行了研究,并对距关节线 15 cm、20 cm、25 cm、30 cm 四种插入深度的准确性进行对比,发现无论男女,选择插入深度为 20 cm 最佳,而深度 15cm 最差。Tsukeoka 等[36]发现,由于股骨前弓,髓内定位杆常无法插入骨髓腔峡部水平,他们测量髓内定位杆平均插入深度为 18.3 cm。综上,关节线近端 20 cm 水平是目前较方便、准确且实用的股骨远端解剖轴定位方法。

3.3. 股骨标准冠状面及矢状面的研究

3.3.1. 股骨标准冠状面与矢状面的临床意义

目前对股骨解剖参数测量的研究大部分都基于 X 线及普通 CT 的扫描测量,然而通过以往对股骨形态特征学的研究表明,股骨实为一三维立体空间结构,许多参数的测量并不在一个空间维度上,这就要求我们确定一个标准的冠状面与矢状面进行股骨解剖参数的测量。此外,我们发现现有的髓内钉与股骨干曲度存在很大差异,临床中常常见到髓内钉在冠状位和矢状位上与股骨髓腔不匹配的现象,这可导致内固定周围骨折和髓内钉远端穿破骨皮质而至医源性损伤等。并且有报道证实了髓内钉曲度与股骨前弓角不匹配的情况[37][38]。想要获取股骨曲度就必须进行股骨前弓角、侧弓角及弧度半径等相关参数的测量与研究,在进行 X 线测量时人们通常会选用 X 线的正侧位片直接进行测量,然而其准确性与拍片者技术、患者体位密切相关,常常需要经验丰富的影像专科医生进行拍片及测量。想要获取完整的准确的股骨正侧位片比较困难。其中股骨小转子和腓骨头是判断患者拍摄 X 线时是否发生下肢旋转的重要指标。Wu 等[39]指出,股骨旋转对 FVA(股骨远端切除外翻角)远端有统计学意义的影响。从 20°内旋到 20°外旋,FVA 呈线性增加的趋势,每向外旋 1 度,测量的 FVA 增加约 0.064°。Radtke 等[40]指出,在该旋转范围内,肢体每旋转 1 度,测量的 FVA 变化约 0.059°。

3.3.2. X 线确定法

X 线测量方法为传统简便的测量手段,为获取股骨标准冠状位 X 线片,受试者的姿势必须标准化[41]-[43]。站立时膝关节应最大伸展,双下肢体中立位旋转,髌骨向前[44]。将 X 射线管与参与者保持固定距离,并将 X 射线束中心置于膝关节水平,以确认肢体的中立旋转。矢状位方向定义为投射方向,与冠状面成 90°角。为了在矢状位上确保股骨内外侧髁完全重叠,一个关键的考虑是保持 X 射线束管在患者大腿中点倾斜 15° [45]。因屈曲畸形不容易控制或补偿,因此在畸形严重(超过约 20°)的情况下可能会产生明显的误差。X 片显示明显的旋转错位和/或超过 20°的屈曲畸形应该被排除在外[46]。Oswald 等人[32]在进行股骨与胫骨下肢解剖轴和机械轴对齐分析中就采用了标准化 X 线片拍摄方法,参考 Ruff and ttayes [47]的标准拍摄标准与体位。即在拍摄过程中 X 射线束以距离 120 cm 的骨干中部为中心。使用 40 千伏和 22 毫安/秒的 X 射线设置和 60·20 厘米的 X 射线盒。在正位视图中,将股骨置于盒体上,并在大转子下方放置支架,以便在矢状面中连接股骨两端的两个中点,使其与髁之间的连接线与支撑面平行。将股骨置于外侧髁上并支撑大转子获得侧位 X 线片,使两个髁的背侧线垂直,股骨干两个中点之间的额平面连接线平行于支撑面。解剖轴或机械轴是否应该用于描述整体冠状排列尚无共识。膝关节的“正常”排列通常被认为是解剖上的胫股外翻角度为 7°至 9°,或机械轴穿过膝关节中间的三分之一[48]。然而,Insall [49]认为外翻时机械轴应位于膝关节中心外侧,而 Townley [50]认为内翻时机械轴应位于膝关节中心内侧。站立式全身下肢 X 线片一直是评估肢体整体排列的金标准,但由于成本增加和获得准确胶片的技术难度,它们不是必需的或常规的。

3.3.3. CT 三维重建模型确定法

不同于 X 线测量法, 三维 CT 重建模型法对志愿者拍摄体位要求相对较低, 患者仅需仰卧于检查床, 双膝关节伸直, 双足位于旋转中立位, 髌骨朝上即可。CT 扫描范围应包括完整的髌、膝及踝关节, 扫描层厚数值越小, 重建图像越清晰[51]。把 CT 影像数据以 DICOM 格式导入 Mimics 软件可以精确重建股骨三维模型, 其形态结构不受下肢旋转和膝关节屈曲畸形的影响[33] [39] [51] [52]。

在三维立体模型中确定股骨标准冠状面最重要的就是确定冠状面的 X 轴与 Y 轴。股骨 Y 轴一般会选择股骨的机械轴, 即一侧髌关节中心点与膝关节中心点的连线。Mose 等[53]在 1980 年提出使用圆形拟合股骨头来确定髌关节中心点的方法, 后 Mose 圆作为定位髌关节中心点的“金标准”被广泛使用。苏永松等[54]报道了基于 CT 影像数据利用髌关节球面中心差值的方法计算股骨头中心点的方法。黄雪梅等[55]利用光学定位追踪仪来确定全膝置换中患者的股骨头中心点。丁辉等[56]通过对股骨头与股骨远端形态特征的分析根据股骨头近似球形的特点对判断断层扫描数据梯度变化来计算股骨头中心位置。Wang 等[52]认为在侧方使股骨内外侧髌重叠即为矢状面, 矢状面水平旋转 90°即为冠状面, 此方法操作起来较为主观且准确性较低。而膝关节中心点却有着多种选择, 常用的解剖定位点包括: 股骨髌间窝顶点、股骨内外侧髌中点、胫骨髌间嵴中点、胫骨平台中点以及膝关节软组织中点等。Moreland 等[31]对以上 5 种不同的膝关节中心点进行了评价, 认为这 5 种选择之间没有显著差异。目前, 股骨髌间窝顶点是临床上作为膝关节中心的最常用选择。

在三维股骨模型中 X 轴的确定一直存在着争议。Ma 等[57]定义股骨外科通髌轴与小转子最低点构成的平面为冠状面。通髌线被定义为股骨内侧髌最凹点与外侧髌最凸点的连线[58]-[60], 在解剖学上讲该线同时连接了膝关节内侧与外侧副韧带的起点, 在膝关节软组织平衡方面起着重要的作用[58]。在运动学中, 通髌轴亦被证实与膝关节屈伸活动时的轴线相重合, 基于这一理念, 在全膝关节置换时如调整股骨端假体旋转轴与通髌线平行会得到最接近于真实的髌骨轨迹, 使膝关节屈曲时髌股关节所受到的剪力降到最低, 使胫股关节磨损率降到最低。基于此许多学者在进行股骨参数研究时会通过股骨通髌线与股骨机械轴来确定股骨冠状面[51] [61]-[63]。Sato 等[64]对股骨头和股骨内外侧髌分别进行了球形拟合, 定义三个球心中点构成的平面为冠状面, 此方法得到很多研究者支持[61] [65] [66]。Yin [67]和 Walker [68]等对股骨内外侧髌矢状面弧度分别进行球体和圆柱体拟合, 他们认为与外科通髌轴相比, 股骨内外髌拟合中心的连线更接近膝关节屈伸旋转轴, 并且认为此轴在膝关节伸直和高屈曲时表现更好。而 Eckhoff 等[69]的研究认为其与外科通髌轴的差异很小。综上, Sato 等人[61] [64]-[66]的方法可能具有更高的准确性, 但其操作复杂, 且工作量较大, 更适用于科学研究; Liu 等人[51] [61] [62] [70]的方法也有着不错的准确性, 且更加简便、学习成本更低, 更贴近临床应用。

3.4. 股骨曲度的研究

3.4.1. 股骨曲度与髓内钉的关系

股骨作为人体下肢最长的管状骨, 同时也是下肢最重要的负重骨, 为了适应人体的正常受力, 股骨形成了一个向前外方向的弧度, 也就是我们常说的股骨弓。而随着髓内钉的研究进展及更新迭代, 髓内钉已逐步成为股骨骨折治疗的金标准。随着对骨折愈合生物学研究的持续进展, 髓内针的设计也越来越完美, 股骨曲度则为股骨最重要的形态特征之一。根据相关生物力学研究表明, 股骨曲度为股骨在解剖学上的自然弯曲, 本文特指股骨中段股骨弓向前, 髓腔开口向后的这一段股骨形态特征。股骨两端髓腔呈现为左右径长, 前后径短的漏斗状, 而股骨髓腔狭窄区则逐渐变为左右径短、前后径长的近似柱状体结构。由于股骨两端承担着人体关节活动所产生的冲击力, 它们的截面直径普遍大于股骨中心区域, 而中心处的截面形状并非均匀圆形, 所以当股骨受到外力冲击时, 中心位置处会出现应力集中现象, 而股

骨曲度的存在意义就是可以很好地缓冲冲击力,使股骨远端张力外移、压力内移,增加力的传递距离,从而达到分散和降低缓冲力的作用,同时股骨曲度还可优化肌肉力臂,提高肌肉收缩效率,更好地完成各种肢体动作,维持身体平衡等。所以在髓内针的设计中更好地匹配股骨曲度在一定程度可以明显提高髓内针治疗股骨骨折的临床效果。先后有国内外众多学者对股骨曲度进行了一系列研究。股骨髓内针在插入过程中会受股骨许多解剖参数的影响,股骨曲率为其中重要的影响因素之一,如两者不匹配会严重影响髓内钉的插入过程,很有可能发生股骨前皮质撞击和皮质穿透等并发症[71]。Ostrum 等[72]就报道了3例髓内钉治疗股骨转子下骨折时远端钉尖穿透前侧股骨皮质的患者。Egol 等人[73]研究发现现有大部分的髓内钉弧长半径值与人体股骨的弧长半径值存在较大的不匹配,髓内钉比人体股骨更直,适当的减小髓内钉的曲度、可以与股骨曲度更匹配和更容易插入骨髓腔,减少相关并发症,同时值得注意的是,曲率(曲率越小越直)与曲率半径(曲率半径越大越直)成反比。并且同 Zuber 等人[74]的研究结果相似,Egol 等[73]人也没有观察到年龄和股前曲度之间的显著关系,但发现了股前曲度与种族之间的相关性。

3.4.2. 股骨曲率半径的测量

过去几十年临床上最常用来描述股骨曲度的解剖参数有股骨前弓角、侧弓角及股骨弧长半径等。Egol 等人[74]对 948 条股骨标本(474 对配对)进行了股骨曲度的测量,为了获得比例测量,每个股骨的中轴直径用卡尺直接测量;对于每张图像,一个已知大小的识别标记作为备份尺寸参考。将图像导入 AutoCAD2002 (Autodesk, San Rafael, CA),测量从髌突基部到股骨头中部的距离,并测量中轴直径。运用程序中的一个三点圆函数,使用这些点来计算圆的半径,被用来确定股骨曲率半径。这些点是横跨股骨的三条线的中点:第一线紧挨小转子下面,第二线紧挨髌突的上面,第三线在第一和第二线的中间。然后使用测量的股骨直径对所有计算值进行等比例缩放。同一位研究人员拍摄了所有的照片,并分析了所有的股骨。发现股骨的平均曲率半径为 120 ± 36 cm,半径范围为 53~326 cm。95%的股骨的半径在 72~216 cm 之间。左股骨平均曲率半径 129.0 cm;右股骨 113.3 cm。67%的人左股骨更直。黑人的平均曲率半径明显大于白人(更直)。男性比女性有更大的曲率半径(更直),但这种差异不显著。然而,白人男性的曲率半径明显大于白人女性(更直)。黑人男性和黑人女性的曲率半径相似。Harper 和 Carson [75]运用计算机曲线拟合程序测量了 14 根股骨的前曲率半径,平均半径约为 114.4 cm 其弧长半径范围为 68.9~188.5 cm。Zuber 等人[74]测得股骨曲度半径范围为 60~230 cm、亦证明了年龄和股骨曲度之间并没有显著关系。Schmutz [75]通过 90 个人的股骨三维形态数据研究,得到了股骨弧长半径的平均值为 885 mm,其中白种人为 974 mm,亚洲人为 787 mm,同时他们发现股骨弧长半径与身高有关。Jeseoph 和 peter [76]对 1961 个人共 3922 根股骨的 CT 扫描的分析,得出股骨曲度平均半径为 145 cm,并且发现股长度和股骨弧长半径之间存在中等强度的关系。

3.4.3. 股骨弓角的测量

Bao Z、Qiao L 等人[77]采用标准 X 线正侧位对进行全膝关节置换术的中国膝关节 OA 的 50 名患者进行了股骨前侧弓角的测量。股骨干在矢状面上分为四个等长节段。近端骨干被定义为小转子的下缘,远端骨干被定义为骨干与髌的连接处,定义股骨前弓角(sFBA)为股骨干近端四分之一段中线与远端四分之一段矢状面中线之间的夹角同理定义股骨侧弓角(cFBA)为股骨干近端四分之一段中线与远端四分之一段在冠状面所形成的夹角。正值表示股外侧弯曲,负值表示内侧弯曲。最终测得平均前弓角为 $15.08^\circ \pm 3.79^\circ$ (范围 $7.28^\circ \sim 25.02^\circ$),侧弓角为 $4.87^\circ \pm 5.23^\circ$ ($-4.45^\circ \sim 18.53^\circ$)。Bao Z、Qiao L 等人与 Karakas HM, Harna A 等人[78]的研究结果均表明身高、体重、BMI 与 sFBA、cFBA 并无相关性。而张英泽团队采用同样的定义方法从普通人群中随机选取 120 名中国成年人(60 名男性和 60 名女性),在标准股骨 X 线正侧位上对股骨前弓角及侧弓角进行测量及研究,其中男性左侧股骨前弓角及侧弓角分别为: 10.85 ± 2.86 、 $1.97 \pm$

3.80, 男性右侧股骨前弓角及侧弓角分别为: 10.37 ± 2.38 、 2.17 ± 3.48 。女性左侧股骨前弓角及侧弓角分别为 11.52 ± 3.13 、 3.20 ± 5.06 , 女性右侧股骨前弓角及侧弓角分别为: 11.86 ± 4.59 、 3.18 ± 5.92 。发现股骨 sFBA 和 cFBA 均与年龄呈正相关。此外女性的 sFBA 和 cFBA 往往大于男性, 但未发现性别相关的统计学差异[79]。Ahmet Harma 等人[80]通过对土耳其本地 104 名志愿者进行股骨皮质和髓质前弓的评估与研究, 测得股骨髓质弯曲在 114~1389 mm 之间(平均 722 mm, SD: 230 mm), 皮质弯曲在 109~1666 mm 之间(平均 770 mm, SD: 267 mm)。并发现股骨前弓角在性别之间的差异并不显著, 而股骨皮质和髓质弓与年龄却密切相关。王天赐等人[81]考虑到身高(股骨长度)对弧长半径的影响, 从而使得弧长半径并不能完全准确地表示股骨曲度, 创新性地在股骨侧位 X 线上选取 3 个点: 小转子下缘, 股骨髁上缘, 股骨中点, 这 3 点形成一个等腰三角形。用这个三角形底角的 tan 值来表示股骨的曲率。结果测得经内侧皮质测得股骨 tan 值平均值为 0.0835 ± 0.0147 , 经外皮质测得 tan 值平均值为 0.0798 ± 0.0150 , 并统计分析证实该角 tan 值是一种评估股骨前弓曲度的可靠的方法。tan 值与性别有关, 男性比女性更直($P < 0.05$), tan 值与年龄或股骨长度无明显关系($P > 0.05$)。

4. 研究展望

随着当今社会的不断发展, 电子信息化、智能化不断在社会生活中迅速发展, 电子数字化医学亦进步飞速。特别是在骨科领域, 医学科研人员通过计算机对人体骨骼进行数字扫描从而进一步行三维重建并运用 3D 打印技术以期实现个体化治疗方案等。近些年, 随着新技术和新理念逐渐深入, 股骨逆行髓内钉已成为治疗股骨远端骨折的主要术式之一, 尽管其没有像顺行髓内钉那样被广大学者认可, 但随着测量手段的改进, 髓内固定装置的改进, 关节镜技术的发展, 逆行髓内钉潜在优势也逐步体现, 往后有望成为重要的手术方式。总之, 股骨逆行髓内钉可作为顺行髓内钉的一种比较好的替代技术, 且在特殊情况下, 逆行髓内钉具有不可替代的优势。

基金项目

股骨干中下部逆行髓内钉数字化设计与研究(2023GGZ138)。

参考文献

- [1] Willeumier, J.J., Kaynak, M., van der Zwaal, P., Meylaerts, S.A.G., Mathijssen, N.M.C., Jutte, P.C., et al. (2018) What Factors Are Associated with Implant Breakage and Revision after Intramedullary Nailing for Femoral Metastases? *Clinical Orthopaedics & Related Research*, **476**, 1823-1833. <https://doi.org/10.1007/s11999-0000000000000201>
- [2] Mustafa Diab, M., Shearer, D.W., Kahn, J.G., Wu, H., Lau, B., Morshed, S., et al. (2018) The Cost of Intramedullary Nailing versus Skeletal Traction for Treatment of Femoral Shaft Fractures in Malawi: A Prospective Economic Analysis. *World Journal of Surgery*, **43**, 87-95. <https://doi.org/10.1007/s00268-018-4750-3>
- [3] 侍朋举, 孙柏山, 张瑞杰, 等. 髓内外联合固定治疗股骨干骨折合并股骨远端 C 型骨折[J]. 实用骨科杂志, 2020, 26(4): 364-367.
- [4] Boscher, J., Alain, A., Vergnenegre, G., Hummel, V., Charissoux, J. and Marcheix, P. (2022) Femoral Shaft Fractures Treated by Antegrade Locked Intramedullary Nailing: EOS Stereoradiographic Imaging Evaluation of Rotational Malalignment Having a Functional Impact. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **108**, Article ID: 103235. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2022.103235>
- [5] Bogdan, Y., Tornetta, P., Einhorn, T.A., Guy, P., Leveille, L., Robinson, J., et al. (2016) Healing Time and Complications in Operatively Treated Atypical Femur Fractures Associated with Bisphosphonate Use: A Multicenter Retrospective Cohort. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **30**, 177-181. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000000516>
- [6] Agarwal-Harding, K.J., Meara, J.G., Greenberg, S.L.M., Hagander, L.E., Zurakowski, D. and Dyer, G.S.M. (2015) Estimating the Global Incidence of Femoral Fracture from Road Traffic Collisions. *Journal of Bone and Joint Surgery*, **97**, e31. <https://doi.org/10.2106/jbjs.n.00314>
- [7] Wong, P.C. (1967) An Epidemiological Appraisal of Femoral Shaft Fractures in a Mixed Asian Population—Singapore. *Singapore Medical Journal*, **7**, 236-239.

- [8] Salminen, S.T., Avikainen, V.J., *et al.* (2000) Population Based Epidemiologic and Morphologic Study of Femoral Shaft Fractures. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **372**, 241-249. <https://doi.org/10.1097/00003086-200003000-00026>
- [9] Yang, K.H., Kim, J.R. and Park, J. (2012) Nonisthmal Femoral Shaft Nonunion as a Risk Factor for Exchange Nailing Failure. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, **72**, E60-E64. <https://doi.org/10.1097/ta.0b013e318239caca>
- [10] Neumann, M.V., Südkamp, N.P. and Strohm, P.C. (2015) Management of Femoral Shaft Fractures. *Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae Cechoslovaca*, **82**, 22-32. <https://doi.org/10.55095/achot2015/003>
- [11] Rommens, P.M., Küchle, R., Hofmann, A. and Hessmann, M.H. (2017) Intramedullary Nailing of Metaphyseal Fractures of the Lower Extremity. *Acta Chirurgiae Orthopaedicae et Traumatologiae Cechoslovaca*, **84**, 330-340. <https://doi.org/10.55095/achot2017/050>
- [12] 刘长贵, 张保中, 郭艾, 等. 带锁髓内钉治疗股骨干骨折并发症及防治[J]. 中华骨科杂志, 1998, 18(12): 725-727.
- [13] Polat, G., Balci, H.İ., Ergin, O.N., Asma, A., Şen, C. and Kiliçoğlu, Ö. (2017) A Comparison of External Fixation and Locked Intramedullary Nailing in the Treatment of Femoral Diaphysis Fractures from Gunshot Injuries. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, **44**, 451-455. <https://doi.org/10.1007/s00068-017-0814-6>
- [14] Yu, C.K., Singh, V.A., Mariapan, S. and Chong, S.T.B. (2007) Antegrade versus Retrograde Locked Intramedullary Nailing for Femoral Fractures: Which Is Better? *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*, **33**, 135-140. <https://doi.org/10.1007/s00068-007-6156-z>
- [15] 朱福良, 郑道明, 时宇博, 等. 倒置髓内钉结合内侧微创钢板治疗 C2、C3 型股骨远端骨折的疗效[J]. 中华创伤杂志, 2018, 34(2): 157-163.
- [16] 马春梅, 郑如庚, 郭会江, 等. 多向锁定髓内钉固定术治疗股骨远端骨折的效果观察及对术后膝关节功能恢复的影响[J]. 临床误诊误治, 2021, 34(2): 64-68.
- [17] Schumaier, A.P., Southam, B.R., Avilucea, F.R., Finnan, R.P., Wyrick, J.D., Archdeacon, M.T., *et al.* (2019) Factors Predictive of Blocking Screw Placement in Retrograde Nailing of Distal Femur Fractures. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **33**, e229-e233. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000001450>
- [18] Albareda-Albareda, J., Gabarre-Raso, S., Rosell-Pradas, J., Puértolas-Broto, S., Ibarz-Montaner, E., Redondo-Trasobares, B., *et al.* (2021) Biomechanical Behavior of Retrograde Intramedullary Nails in Distal Femoral Fractures. *Injury*, **52**, S76-S86. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2021.01.052>
- [19] Yoon, Y., Oh, C. and Oh, J. (2020) An Intuitive and Simple Technique for Accurate Insertion Point Selection and Precise Poller (Blocking) Screw Insertion. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **140**, 1431-1435. <https://doi.org/10.1007/s00402-020-03398-3>
- [20] Yang, Z., Jian, W., Zhi-han, L., Jun, X., Liang, Z., Ge, Y., *et al.* (2014) The Geometry of the Bone Structure Associated with Total Hip Arthroplasty. *PLOS ONE*, **9**, e91058. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091058>
- [21] Han, N., Sun, G., Li, Z., Li, G., Lu, Q., Han, Q., *et al.* (2011) Comparison of Proximal Femoral Nail Antirotation Blade and Reverse Less Invasive Stabilization System-Distal Femur Systems in the Treatment of Proximal Femoral Fractures. *Orthopaedic Surgery*, **3**, 7-13. <https://doi.org/10.1111/j.1757-7861.2010.00118.x>
- [22] 唐密, 毕帆, 王龙辰, 等. EOS X 射线影像采集系统技术评估与应用分析[J]. 中国医疗设备, 2016, 31(10): 13-15.
- [23] 谭进. 国人股骨的形态特征及其临床意义[J]. 四川解剖学杂志, 2002, 10(3): 163-167.
- [24] 王永清, 罗先正, 刘长贵, 等. 国人股骨颈骨髓腔的形态学研究及交锁髓内钉的改进[J]. 中华骨科杂志, 1998, 18(4): 215-218.
- [25] Naik, M.A., Sujir, P., Tripathy, S.K., Goyal, T. and Rao, S.K. (2013) Correlation between the Forearm Plus Little Finger Length and the Femoral Length. *Journal of Orthopaedic Surgery*, **21**, 163-166. <https://doi.org/10.1177/230949901302100209>
- [26] 梁斌, 王黎明, 蒋纯志, 等. 髓内钉术前无创体表测量股骨长度的方法研究[J]. 医学研究生学报, 2009, 22(11): 1171-1174+1236.
- [27] 崔蕴威, 杜晨光, 杨延江, 等. 成年人股骨影像测量与身高关系的相关性研究[J]. 河北医科大学学报, 2014, 35(11): 1343-1345.
- [28] 闫宏伟, 张捷, 刘凯, 等. 股骨骨髓腔的形态学研究及其临床意义[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2006(3): 236-239.
- [29] Zhao, J., Su, X., Zhao, Z., Zhang, L., Mao, Z., Zhang, H., *et al.* (2015) Predicting the Optimal Entry Point for Femoral Antegrade Nailing Using a New Measurement Approach. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, **10**, 1557-1565. <https://doi.org/10.1007/s11548-015-1182-5>
- [30] 严广斌. 解剖轴与机械轴[J]. 中华关节外科杂志(电子版), 2012, 6(4): 653.

- [31] Moreland, J.R., Bassett, L.W. and Hanker, G.J. (1987) Radiographic Analysis of the Axial Alignment of the Lower Extremity. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **69**, 745-749. <https://doi.org/10.2106/00004623-198769050-00016>
- [32] Oswald, M.H., Jakob, R.P., Schneider, E. and Hoogewoud, H. (1993) Radiological Analysis of Normal Axial Alignment of Femur and Tibia in View of Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*, **8**, 419-426. [https://doi.org/10.1016/s0883-5403\(06\)80042-2](https://doi.org/10.1016/s0883-5403(06)80042-2)
- [33] Liu, T., Wang, C., Xiao, J., Zhu, L., Li, X., Qin, Y., et al. (2014) Three-Dimensional Reconstruction Method for Measuring the Knee Valgus Angle of the Femur in Northern Chinese Adults. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, **15**, 720-726. <https://doi.org/10.1631/jzus.b1400019>
- [34] Bardakos, N., Cil, A., Thompson, B. and Stocks, G. (2007) Mechanical Axis Cannot Be Restored in Total Knee Arthroplasty with a Fixed Valgus Resection Angle: A Radiographic Study. *The Journal of Arthroplasty*, **22**, 85-89. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2007.04.018>
- [35] Ou, Y., Li, P. and Xia, H. (2020) Optimal Sagittal Insertion Depth and Direction of Femoral Intramedullary Rod in Total Knee Arthroplasty in Chinese Osteoarthritis Patients. *Orthopaedic Surgery*, **12**, 1238-1244. <https://doi.org/10.1111/os.12753>
- [36] Tsukeoka, T., Tsuneizumi, Y. and Yoshino, K. (2019) An Accelerometer-Based Navigation Did Not Improve the Femoral Component Positioning Compared to a Modified Conventional Technique of Pre-Operatively Planned Placement of Intramedullary Rod in Total Knee Arthroplasty. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **139**, 561-567. <https://doi.org/10.1007/s00402-019-03147-1>
- [37] Parks, C., McAndrew, C.M., Spraggs-Hughes, A., Ricci, W.M., Silva, M.J. and Gardner, M.J. (2018) In-Vivo Stiffness Assessment of Distal Femur Fracture Locked Plating Constructs. *Clinical Biomechanics*, **56**, 46-51. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2018.05.012>
- [38] Gautier, E. and Sommer, C. (2003) Guidelines for the Clinical Application of the LCP. *Injury*, **34**, 63-76. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2003.09.026>
- [39] Wu, P., Zhang, Z., Gu, M., Zhao, X., Kang, Y., Liao, W., et al. (2017) Radiographic Measurement of Femoral Lateral Bowing and Distal Femoral Condyle Resection Thickness: Variances and Effects on Total Knee Arthroplasty Planning. *Chinese Medical Journal*, **130**, 2557-2562. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.217083>
- [40] Radtke, K., Becher, C., Noll, Y. and Ostermeier, S. (2009) Effect of Limb Rotation on Radiographic Alignment in Total Knee Arthroplasties. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **130**, 451-457. <https://doi.org/10.1007/s00402-009-0999-1>
- [41] Cooke, T., Scudamore, R., Bryant, J., Sorbie, C., Siu, D. and Fisher, B. (1991) A Quantitative Approach to Radiography of the Lower Limb. Principles and Applications. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, **73**, 715-720. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.73b5.1894656>
- [42] Siu, D., Cooke, T.D.V., Broekhoven, L.D., Lam, M., Fisher, B., Saunders, G., et al. (1991) A Standardized Technique for Lower Limb Radiography: Practice, Applications, and Error Analysis. *Investigative Radiology*, **26**, 71-77. <https://doi.org/10.1097/00004424-199101000-00013>
- [43] Wevers, H.W., Siu, D.W. and Cooke, T.D.V. (1982) A Quantitative Method of Assessing Malalignment and Joint Space Loss of the Human Knee. *Journal of Biomedical Engineering*, **4**, 319-324. [https://doi.org/10.1016/0141-5425\(82\)90050-4](https://doi.org/10.1016/0141-5425(82)90050-4)
- [44] Mullaji, A.B., Marawar, S.V. and Mittal, V. (2009) A Comparison of Coronal Plane Axial Femoral Relationships in Asian Patients with Varus Osteoarthritic Knees and Healthy Knees. *The Journal of Arthroplasty*, **24**, 861-867. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2008.05.025>
- [45] Chung, B.J., Kang, Y.G., Chang, C.B., Kim, S.J. and Kim, T.K. (2009) Differences between Sagittal Femoral Mechanical and Distal Reference Axes Should Be Considered in Navigated TKA. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, **467**, 2403-2413. <https://doi.org/10.1007/s11999-009-0762-5>
- [46] Cooke, D., Scudamore, A., Li, J., Wyss, U., Bryant, T. and Costigan, P. (1997) Axial Lower-Limb Alignment: Comparison of Knee Geometry in Normal Volunteers and Osteoarthritis Patients. *Osteoarthritis and Cartilage*, **5**, 39-47. [https://doi.org/10.1016/s1063-4584\(97\)80030-1](https://doi.org/10.1016/s1063-4584(97)80030-1)
- [47] Ruff, C.B. and Hayes, W.C. (1983) Cross-Sectional Geometry of Pecos Pueblo Femora and Tibiae—A Biomechanical Investigation: I. Method and General Patterns of Variation. *American Journal of Physical Anthropology*, **60**, 359-381. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330600308>
- [48] Matassi, F., Pettinari, F., Frascò, F., Innocenti, M. and Civinini, R. (2023) Coronal Alignment in Total Knee Arthroplasty: A Review. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*, **24**, Article No. 24. <https://doi.org/10.1186/s10195-023-00702-w>
- [49] Insall, J.N., Binazzi, R., Soudry, M. and Mestriner, L.A. (1985) Total Knee Arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **192**, 13-22. <https://doi.org/10.1097/00003086-198501000-00003>

- [50] Townley, C.O. (1985) The Anatomic Total Knee Resurfacing Arthroplasty. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **192**, 82-96. <https://doi.org/10.1097/00003086-198501000-00011>
- [51] Liu, L., Lei, K., Chen, X., Fan, H., Yang, L. and Guo, L. (2021) Is Valgus Cut Angle Based on Radiographic Measurements in Total Knee Arthroplasty Really Inaccurate? A Comparison of Two- and Three-Dimensional Measurements. *The Journal of Knee Surgery*, **35**, 1563-1570. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1728785>
- [52] Wang, Y., Zeng, Y., Dai, K., Zhu, Z. and Xie, L. (2010) Normal Lower-Extremity Alignment Parameters in Healthy Southern Chinese Adults as a Guide in Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*, **25**, 563-570. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2009.03.021>
- [53] Mose, K. (1980) Methods of Measuring in Legg-Calvé-Perthes Disease with Special Regard to the Prognosis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **150**, 103-109. <https://doi.org/10.1097/00003086-198007000-00019>
- [54] 苏永松, 许忠信, 李浩宇, 等. 先天性髋脱位手术计算机虚拟规划中的测量技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004(8): 1159-1163.
- [55] 黄雪梅, 王成焘. 计算机辅助全膝置换中股骨力线定位精度的实验研究[J]. 生物医学工程学杂志, 2006(1): 82-84+89.
- [56] 丁辉, 刘文博, 王广志. 基于 CT 数据的股骨轴线的获取[J]. 医用生物力学, 2009, 24(4): 290-294.
- [57] Ma, L., Wei, H., Wan, F., Guo, W. and Ma, J. (2018) An Innovative Three-Dimensional Method for Identifying a Proper Femoral Intramedullary Entry Point in Total Knee Arthroplasty. *Chinese Medical Journal*, **131**, 2531-2536. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.239208>
- [58] Berger, R.A., Rubash, H.E., Seel, M.J., Thompson, W.H. and Crossett, L.S. (1993) Determining the Rotational Alignment of the Femoral Component in Total Knee Arthroplasty Using the Epicondylar Axis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **286**, 40-47. <https://doi.org/10.1097/00003086-199301000-00008>
- [59] Griffin, F.M., Insall, J.N. and Scuderi, G.R. (1998) The Posterior Condylar Angle in Osteoarthritic Knees. *The Journal of Arthroplasty*, **13**, 812-815. [https://doi.org/10.1016/s0883-5403\(98\)90036-5](https://doi.org/10.1016/s0883-5403(98)90036-5)
- [60] Griffin, F.M., Math, K., Scuderi, G.R., Insall, J.N. and Poilvache, P.L. (2000) Anatomy of the Epicondyles of the Distal Femur: MRI Analysis of Normal Knees. *The Journal of Arthroplasty*, **15**, 354-359. [https://doi.org/10.1016/s0883-5403\(00\)90739-3](https://doi.org/10.1016/s0883-5403(00)90739-3)
- [61] Li, Y., Gao, Y., Qi, X., Liu, J., Ding, L., Yang, C., et al. (2017) Analysis of Factors That Affect the Precision of the Radiographic Lateral Femoral Bowing Angle Using a Three-Dimensional Computed Tomography-Based Modelling Technique. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **12**, Article No. 92. <https://doi.org/10.1186/s13018-017-0588-x>
- [62] Akamatsu, Y., Kobayashi, H., Kusayama, Y., Kumagai, K. and Saito, T. (2016) Femoral Shaft Bowing in the Coronal and Sagittal Planes on Reconstructed Computed Tomography in Women with Medial Compartment Knee Osteoarthritis: A Comparison with Radiograph and Its Predictive Factors. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*, **136**, 1227-1232. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2519-4>
- [63] Mochizuki, T., Tanifuji, O., Koga, Y., Sato, T., Kobayashi, K., Nishino, K., et al. (2016) Sex Differences in Femoral Deformity Determined Using Three-Dimensional Assessment for Osteoarthritic Knees. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **25**, 468-476. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4166-2>
- [64] Sato, T., Koga, Y. and Omori, G. (2004) Three-Dimensional Lower Extremity Alignment Assessment System: Application to Evaluation of Component Position after Total Knee Arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*, **19**, 620-628. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2003.12.063>
- [65] Tanifuji, O., Mochizuki, T., Yamagiwa, H., Sato, T., Watanabe, S., Hijikata, H., et al. (2021) Comparison of Post-Operative Three-Dimensional and Two-Dimensional Evaluation of Component Position for Total Knee Arthroplasty. *Knee Surgery & Related Research*, **33**, Article No. 21. <https://doi.org/10.1186/s43019-021-00106-2>
- [66] Ariumi, A., Sato, T., Kobayashi, K., Koga, Y., Omori, G., Minato, I., et al. (2010) Three-Dimensional Lower Extremity Alignment in the Weight-Bearing Standing Position in Healthy Elderly Subjects. *Journal of Orthopaedic Science*, **15**, 64-70. <https://doi.org/10.1007/s00776-009-1414-z>
- [67] Yin, L., Chen, K., Guo, L., Cheng, L., Wang, F. and Yang, L. (2015) Identifying the Functional Flexion-Extension Axis of the Knee: An In-Vivo Kinematics Study. *PLOS ONE*, **10**, e0128877. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128877>
- [68] Walker, P.S., Heller, Y., Yildirim, G. and Immerman, I. (2011) Reference Axes for Comparing the Motion of Knee Replacements with the Anatomic Knee. *The Knee*, **18**, 312-316. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2010.07.005>
- [69] Eckhoff, D., Hogan, C., DiMatteo, L., Robinson, M. and Bach, J. (2007) Difference between the Epicondylar and Cylindrical Axis of the Knee. *Clinical Orthopaedics & Related Research*, **461**, 238-244. <https://doi.org/10.1097/blo.0b013e318112416b>
- [70] Okamoto, S., Mizu-uchi, H., Okazaki, K., Hamai, S., Tashiro, Y., Nakahara, H., et al. (2014) Two-Dimensional Planning

- Can Result in Internal Rotation of the Femoral Component in Total Knee Arthroplasty. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, **24**, 229-235. <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3370-1>
- [71] Johnson, K.D. and Tencer, A. (1990) Mechanics of Intramedullary Nails for Femoral Fractures. *Unfallchirurg*, **93**, 506-511.
- [72] Ostrum, R.F. and Levy, M.S. (2005) Penetration of the Distal Femoral Anterior Cortex during Intramedullary Nailing for Subtrochanteric Fractures: A Report of Three Cases. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **19**, 656-660. <https://doi.org/10.1097/01.bot.0000154481.46693.69>
- [73] Egol, K.A., Chang, E.Y., Cvitkovic, J., Kummer, F.J. and Koval, K.J. (2004) Mismatch of Current Intramedullary Nails with the Anterior Bow of the Femur. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **18**, 410-415. <https://doi.org/10.1097/00005131-200408000-00003>
- [74] Zuber, K., Eulenberger, J., *et al.* (1988) Shape and Dimension of the Femoral Cavity with Regard to Fit of Intramedullary Implants. *Unfallchirurg*, **91**, 314-319.
- [75] Harper, M.C. and Carson, W.L. (1987) Curvature of the Femur and the Proximal Entry Point for an Intramedullary Rod. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, **220**, 155-161. <https://doi.org/10.1097/00003086-198707000-00021>
- [76] Maratt, J., Schilling, P.L., Holcombe, S., Dougherty, R., Murphy, R., Wang, S.C., *et al.* (2014) Variation in the Femoral Bow: A Novel High-Throughput Analysis of 3922 Femurs on Cross-Sectional Imaging. *Journal of Orthopaedic Trauma*, **28**, 6-9. <https://doi.org/10.1097/bot.0b013e31829ff3c9>
- [77] Bao, Z., Qiao, L., Qin, J., Xu, J., Zhou, S., Chen, D., *et al.* (2017) The Assessment of Femoral Shaft Morphology in the Sagittal Plane in Chinese Patients with Osteoarthritis—A Radiographic Analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*, **12**, Article No. 127. <https://doi.org/10.1186/s13018-017-0626-8>
- [78] Karakaş, H.M. and Harma, A. (2008) Femoral Shaft Bowing with Age: A Digital Radiological Study of Anatolian Caucasian Adults. *Diagnostic and Interventional Radiology*, **14**, 29-32.
- [79] 张浚哲. 人体股骨曲度特征分析及股骨远端骨折加压固定的生物力学和临床研究[D]: [博士学位论文]. 石家庄: 河北医科大学, 2021.
- [80] Harma, A., Gemen, B., Karakas, H.M., Elmali, N. and Inan, M. (2005) The Comparison of Femoral Curves and Curves of Contemporary Intramedullary Nails. *Surgical and Radiologic Anatomy*, **27**, 502-506. <https://doi.org/10.1007/s00276-005-0019-2>
- [81] 王天赐. 股骨前弓曲度与髓内钉匹配的相关研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北医科大学, 2019.