

# 数字骨科技术在股骨颈骨折诊疗中的应用

韩巍

(首都医科大学附属北京积水潭医院 北京大学第四临床医院创伤骨科,北京 100035 E-mail:hanweijst@163.com)

【关键词】 数字骨科技术; 骨科机器人; 髋; 股骨颈骨折

中图分类号:R683.42

DOI:10.12200/j.issn.1003-0034.20240129

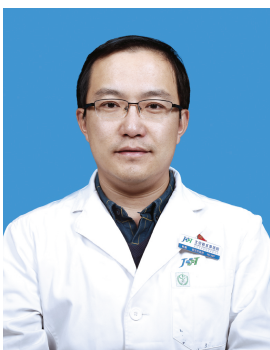
开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Application of digital orthopaedics in the management of femoral neck fractures

HAN Wei (Department of Orthopaedics and Traumatology, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical School, Peking University Fourth School of Clinical Medicine, Beijing 100035, China)

KEYWORDS Digital orthopaedics; Orthopaedic robot; Hip; Femoral neck fracture



数字骨科是一门将计算机数字技术融入骨科临床实践的交叉学科,它依赖计算机进行数字处理和图像处理以解决骨科基础和临床中的问题。在过去 10 年中,数字骨科技术发展迅速,目前数字骨科技术主要涵盖的领域有:(1)骨科机器人技术。(2)计算机

辅助骨科导航手术(computer assisted orthopedic surgery, CAOS)。(3)虚拟现实(visual reality, VR)和增强现实(augmented reality, VR)技术。(4)骨科增材制造技术,即 3D 打印技术(3D printing technology)。(5)骨科有限元分析技术(finite element analysis, FEA)。(6)骨科远程手术(orthopedic remote surgery)。(7)骨科人工智能技术(orthopedic artificial intelligence technology)。数字骨科技术的进步使得创伤骨科的诊断和治疗走向个性化、智能化和微创化,其中骨科机器人技术在国内发展尤其迅速。本期征集国内骨科机器人辅助股骨颈手术的一些研究成果<sup>[1-4]</sup>,探究了骨科机器人在股骨颈骨折手术中的应用,其中娄伟钢等<sup>[3]</sup>还研究了实时追踪和虚拟成像技术(real-time tracking and virtual reality technology, RTVI)与骨科机器人相结合治疗股骨颈骨折的疗效。这些论文的集中发表,将为同行在股骨颈骨折诊疗中应用数字骨科技术提供借鉴,并为开展临床科研提供指导。

### 1 骨科手术机器人技术在股骨颈骨折治疗中的研究现状

骨科手术机器人是数字骨科技术在创伤骨科应用的代表性技术之一。目前国内创伤骨科使用最广

泛的手术机器人是天玑<sup>®</sup>骨科手术机器人(北京天智航医疗科技股份有限公司)<sup>[5]</sup>。到目前为止,创伤骨科手术机器人的主要应用场景是手术中微创螺钉的定位和导向,如骨盆骨折经皮骶髂螺钉置入、腕舟骨骨折经皮螺钉固定、跟骨骨折经皮微创螺钉固定等<sup>[6-8]</sup>。在髋部骨折领域,骨科机器人的研究主要包括机器人辅助空心螺钉/股骨颈动力交叉钉系统(femoral neck system, FNS)内固定治疗股骨颈骨折以及机器人辅助髓内钉治疗转子间骨折等<sup>[9-11]</sup>。

如前所述,通道螺钉的固定是骨科手术机器人在创伤骨科领域主要针对的手术方式。这种手术机器人的目标是降低对血管和神经的手术损伤,减少术中的辐射伤害,提高内固定物的精确性,从而保证手术的精准和安全。与传统手术相比,骨科手术机器人具有以下优点:(1)高精度,通过精确的导航系统和机械臂控制系统,骨科手术机器人能够提供亚毫米级的手术定位和操作,有效减少由于操作不精确导致的手术风险。(2)减少术中放射线暴露。(3)高安全性,骨科手术机器人可以实时监控手术过程,有效防止误操作和意外事件,从而保护患者的安全。(4)缩短手术学习曲线,骨科手术机器人的使用使得经验较少的医生也能成功完成复杂的手术,其手术效果与经验丰富的医生相当,这大大缩短了手术的学习曲线,有利于复杂手术技术的普及。(5)减少损伤,骨科手术机器人由于可以实现精确定位,在手术过程中对周围肌肉和器官的损伤较小,在手术过程中几乎不会对周围组织造成影响。

蒋守海等<sup>[1]</sup>比较了传统徒手操作和天玑<sup>®</sup>骨科手术机器人导航下闭合复位空心钉内固定治疗股骨颈骨折的疗效,结果显示,和传统手术相比,骨科机器人辅助手术具有微创化、精准化的优势,有效减少

医患术中 X 线辐射损害。王曦竹等<sup>[2]</sup>则比较了传统手术和骨科机器人辅助下 FNS 治疗股骨颈骨折的疗效, 研究结果同样证实了骨科机器人辅助有助于缩短手术时间, 减少术中透视次数。

当然骨科手术机器人也存在一些局限性, 例如设备成本相对昂贵、手术团队要求较高等问题, 但随着骨科机器人产业规模的逐渐增大, 其设备采购成本将有望降低。此外随着智能化技术的不断进步, 其操作难度也将进一步下降, 骨科机器人手术将有望服务于基层医疗机构。

## 2 其他数字骨科技术在股骨颈骨折的发展现状

除骨科机器人技术外, 其他数字骨科技术在股骨颈骨折领域同样有着广泛的应用。

计算机辅助制造技术是指利用计算机来生成数控加工指令, 从而利用计算机来制造个体化内固定材料或假体的技术。目前该技术广泛应用骨科器械的研发和设计制造过程, 例如采用 3D 打印定制髌臼假体治疗髌臼缺损<sup>[12]</sup>。针对股骨颈骨折, 已经有多项研究报道采用计算机辅助制造技术定制股骨颈骨折置钉导向模板, 消毒后直接用于手术操作成功治疗股骨颈骨折的病例, 取得了良好的临床疗效<sup>[13-14]</sup>。

有限元技术指利用计算机技术, 把复杂、不规则的力学分析对象离散化, 形成有限个几何单元体, 进行分解计算的一种生物力学分析方法。在创伤骨科, 有限元分析技术可以利用 CT、MR 扫描图像, 对任何正常或受损的骨骼、神经血管、肌腱等软组织进行建模、网格划分和赋值。通过模拟各种力学状态, 计算和测量其应力、应变或位移的变化趋势。有限元分析技术可以比较各种手术方式、内固定器械的稳定性, 为临床治疗提供生物力学基础和理论依据<sup>[15]</sup>。赵万鹏等<sup>[16]</sup>通过三维重建技术对坏死股骨头的 MR 影像进行重构, 获得坏死股骨头的三维几何模型, 其研究发现股骨头从坏死组织百分数 40% 开始就在正常载荷 (300 N) 下有发生塌陷的危险, <40% 则在较大载荷下有发生塌陷的危险。BELAÏD 等<sup>[17]</sup>利用有限元分析技术, 比较了髌关节内翻和外翻畸形下股骨近端的应力模式, 结果显示和髌关节外翻 10° 相比, 髌关节内翻 10° 时其股骨近端最大平均 von Mises 应力值明显更高, 骨折风险也更大, 因此内翻畸形是发生股骨颈骨折的危险因素之一。

近年来影像学技术发展迅速, 涌现出了以 VR 和 AR 技术为代表的一系列立体仿真影像技术。娄伟钢等<sup>[3]</sup>比较了 RTVI 技术结合骨科机器人和单纯采用骨科机器人行空心钉内固定治疗股骨颈骨折的临床疗效, 指出目前创伤骨科手术机器人主要依靠 C 形臂 X 线机的拍摄和影像学资料进行术前规划以

及术中配准, 但在实际操作中通过二维 X 线要实现精确配准非常困难, 而配准这一步骤也是导致机器人手术时间延长的主要原因, 因此提出采用 RTVI 技术改良配准步骤, 结果显示 RTVI+ 骨科手术机器人组的配准透视次数、手术时间、术中共透视次数显著优于单纯骨科手术机器人组。

## 3 数字骨科技术在股骨颈骨折领域研究的展望

### 3.1 编写指南规范骨科机器人等技术在股骨颈骨折中的应用

目前骨科机器人在股骨颈骨折领域开展的研究较多, 在临床实践中, 骨科机器人的使用尚无明确的标准, 什么类型的股骨颈骨折适合开展机器人手术? 开展股骨颈骨折机器人手术的禁忌有哪些? 手术指征如何把握? 骨科机器人作为一项前沿的医疗技术, 其安全性和合理性尤为重要。目前, 国内蒋协远和王军强<sup>[18]</sup>为骨科机器人手术的临床应用做出了规范, 但机器人技术发展迅猛, 因此也期待指南和专家共识的不断更新和及时发布。

### 3.2 骨科机器人技术在股骨颈骨折领域研究的多样性有待加强

目前, 骨科机器人在股骨颈骨折领域的研究集中在机器人辅助空心钉或 FNS 治疗股骨颈骨折这一主题, 其他主题的研究非常少。中国现在已逐步进入老龄化社会, 未来老年群体相关疾病的发病率将快速上升, 可以预见股骨颈骨折的患者数量也将迅速增加。老年患者不稳定型股骨颈骨折指南多推荐人工关节置换, 目前机器人辅助人工关节置换治疗老年股骨颈骨折的研究相对较少。此外骨科手术机器人除了通道螺钉的定位以外, 创伤骨科领域尚有骨折复位机器人, 但股骨颈骨折相关的骨折复位机器人鲜有报道, 也期待未来该领域涌现出更加多样的研究。

### 3.3 更多数字骨科技术在股骨颈骨折领域的应用

数字骨科技术是囊括了包括骨科手术机器人在内的多种技术, 但目前国内以骨科机器人技术发展最为成熟。诸如 AR、VR 影像技术以及骨科增材制造技术在股骨颈骨折领域的研究相对较少。数字影像技术是人类视野的数字化延伸, 与骨科手术机器人相得益彰, 本期娄伟钢等<sup>[3]</sup>的研究就是一个典型的范例。既往 X 线和 CT 等影像技术的出现, 带动了医学诊断和治疗的飞跃, 相信在未来以 AR、VR 等技术为代表的数字影像学技术, 也将带领骨科迎来新的发展阶段。此外人工智能技术近年来快速发展, 人工智能技术很可能是带领下一个工业革命的关键技术。人工智能技术在医学的应用尚处空白, 至少从现在来看, 人工智能在骨科手术的自动规划和自动

操作上具有非常广阔的发展前景<sup>[19-20]</sup>。

总之,随着人工智能等计算机先进技术的发展,智能化技术驱动的数字骨科技术将逐渐成为研究热点,相信随着数字骨科技术的不断发展,股骨颈骨折的治疗也将朝着智能化、精准化和微创化的方向不断前进。

#### 参考文献

- [1] 蒋守海,张传开,贾方腾,等. 机器人系统辅助下闭合复位空心钉内固定治疗股骨颈骨折[J]. 中国骨伤,2024,37(2):119-123. JIANG S H,ZHANG C K,JIA F T, et al. Treatment of femoral neck fracture with closed reduction and cannulated screw internal fixation assisted by robot system[J]. China J Orthop Traumatol,2024,37(2):119-123. Chinese.
- [2] 王曦竹,陈依民,韩巍,等. 骨科机器人辅助股骨颈动力交叉钉系统治疗股骨颈骨折[J]. 中国骨伤,2024,37(2):114-119. WANG X Z,CHEN Y M,HAN W, et al. Clinical observation on the treatment of femoral neck fractures iwith orthopedic robot assisted femoral neck dynamic cross fixation system[J]. China J Orthop Traumatol,2024,37(2):114-119. Chinese.
- [3] 娄伟钢,陈剑明,汪帅伊,等. 实时追踪和虚拟成像技术辅助创伤骨科手术机器人治疗股骨颈骨折[J]. 中国骨伤,2024,37(2):124-128. LOU W G,CHEN J M,WANG S Y, et al. Study on the efficacy of RTVI technology - assisted trauma orthopedic surgery robot for femoral neck fractures[J]. China J Orthop Traumatol,2024,37(2):124-128. Chinese.
- [4] 赵兴龙,申建军,冯康虎,等. 骨科机器人辅助下 F 钉技术与倒三角平行钉内固定治疗不稳定型股骨颈骨折的比较[J]. 中国骨伤,2024,37(2):129-134. ZHAO X L,SHEN J J,FENG K H, et al. Comparison of the efficacy of TiRobot Orthopaedic robot assisted F screw technique and inverted triangle parallel nail internal fixation in the treatment of unstable femoral neck fractures[J]. China J Orthop Traumatol,2024,37(2):129-134. Chinese.
- [5] XU D,LOU W G,LI M, et al. Current status of robot -assisted surgery in the clinical application of trauma orthopedics in China: a systematic review[J]. Health Sci Rep,2022,5(6):e930.
- [6] SCHUIJT H J,HUNDERSMARCK D,SMEEING D P J, et al. Robot-assisted fracture fixation in orthopaedic trauma surgery: a systematic review[J]. OTA Int,2021,4(4):e153.
- [7] WANG J,HAN W,SU Y G, et al. Comparison of robot-assisted percutaneous cannulated screws versus open reduction and internal fixation in calcaneal fractures[J]. Orthop Surg,2023,15(3):724-730.
- [8] 刘莹,沈杰,刘波,等. 骨科机器人辅助手术治疗腕舟骨骨折的临床疗效观察[J]. 北京生物医学工程,2023,42(3):283-286,304. LIU Y,SHEN J,LIU B, et al. Clinical observation of orthopedic robot-assisted surgery for carpal scaphoid fracture[J]. Beijing Biomed Eng,2023,42(3):283-286,304. Chinese.
- [9] WAN L,ZHANG X Y,WU D L, et al. Application of robot positioning for cannulated screw internal fixation in the treatment of femoral neck fracture:retrospective study[J]. JMIR Med Inform,2021,9(1):e24164.
- [10] WANG X D,LAN H,LI K N. Treatment of femoral neck fractures with cannulated screw invasive internal fixation assisted by orthopaedic surgery robot positioning system[J]. Orthop Surg,2019,11(5):864-872.
- [11] CHENG Q H,LI P B,LU T T, et al. Computer-assisted cannulated screw internal fixation versus conventional cannulated screw internal fixation for femoral neck fractures;a systematic review and meta-analysis[J]. J Orthop Surg Res,2021,16(1):687.
- [12] 张德华,邹海兵,韩大栋,等. 个体化 3D 打印髌臼假体在 Papprosky III 型髌臼侧骨缺损重建中的应用[J]. 中国骨与关节损伤杂志,2023,38(6):603-606. ZHANG D H,ZOU H B,HAN D D, et al. Application of individualized 3D printed acetabular prosthesis in reconstruction of Papprosky III acetabular lateral bone defect[J]. Chin J Bone Joint Injury,2023,38(6):603-606. Chinese.
- [13] 孙博,李冀,王静悦,等. 3D 打印导航模板辅助空心螺钉内固定治疗中青年股骨颈骨折的应用价值及对功能结局的影响:一项前瞻性单中心随机对照研究[J]. 中华骨与关节外科杂志,2022,15(4):269-275. SUN B,LI J,WANG J Y, et al. Application value and effect on functional outcomes of 3D printed navigation template to assist hollow nail internal fixation in treatment of femoral neck fracture in middleaged and young patients:a prospective single-center randomized controlled trial[J]. Chin J Bone Joint Surg,2022,15(4):269-275. Chinese.
- [14] 王清泽,罗明星,曾帅,等. 3D 打印经皮手术导板在股骨颈骨折闭合复位空心螺钉内固定术中的应用[J]. 中国骨伤,2023,36(3):209-215. WANG Q Z,LUO M X,ZENG S, et al. Application of 3D printing percutaneous guide plate in closed reduction and cannulated screw internal fixation of femoral neck fracture[J]. China J Orthop Traumatol,2023,36(3):209-215. Chinese.
- [15] BEAUPRE GARY S. Effect of fracture gap on stability of compression plate fixation: a finite element study[J]. J Orthop Res Off Publ Orthop Res Soc,2011,29(1):152;authorreply153.
- [16] 赵万鹏,林峰,卢清萍,等. 三维重建及有限元分析预测股骨头坏死塌陷[J]. 中国生物医学工程学报,2005,24(6):784-787. ZHAO W P,LIN F,LU Q P, et al. 3D reconstruction and FEA in the prediction of osteonecrosis collapse of the femoral head[J]. Chin J Biomed Eng,2005,24(6):784-787. Chinese.
- [17] BELAÏD D,GERMANEAU A,VENDEUVRE T, et al. Varus malalignment of the lower limb increases the risk of femoral neck fracture:a biomechanical study using a finite element method[J]. Injury,2022,53(6):1805-1814.
- [18] 蒋协远,王军强. 机器人辅助创伤骨科手术技巧[M]. 北京:人民卫生出版社,2023. JIANG X Y,WANG J Q. Robot-assisted surgical techniques in orthopedic trauma[M]. Beijing:People's Medical Publishing House,2023. Chinese.
- [19] KUO R Y L,HARRISON C,CURRAN T A, et al. Artificial intelligence in fracture detection:a systematic review and meta-analysis[J]. Radiology,2022,304(1):50-62.
- [20] LISACEK-KIOSOGLIOUS A B,POWLING A S,FONTALIS A, et al. Artificial intelligence in orthopaedic surgery[J]. Bone Joint Res,2023,12(7):447-454.