

# 计算机辅助骨科手术技术将改善股骨颈骨折治疗

王军强<sup>1,2</sup>, 樊瑜波<sup>1</sup>

(1.北京航空航天大学生物医学工程学院,北京 100191; 2.北京积水潭医院创伤骨科,北京 100035)

关键词 机器人手术; 外科手术,计算机辅助; 股骨颈骨折

DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2018.02.001

Results of treatment for femoral neck fracture will be improved by computer assisted orthopaedic surgery WANG

Jun-qiang\* and FAN Yu-bo. \*College of Biomedical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China

KEYWORDS Robotic surgical procedures; Surgery, computer-assisted; Femoral neck fractures; surgery

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(2): 99-102 www.zggszz.com



(王军强教授)

股骨颈骨折在 50 岁以下人群中的发生率约 2%，大约 90% 的股骨颈骨折患者是 50 岁以上人群，骨质疏松已经成为股骨颈骨折的首要原因，骨科医生在关注高能量损伤导致的青壮年股骨颈骨折的同时，更应该清醒的认识到股骨颈骨折是老年人的多发病和常见病<sup>[1]</sup>。如何改善日趋严重的

老龄化人口结构下的股骨颈骨折治疗，是每一位创伤骨科医生必须面临的挑战<sup>[2]</sup>。大部分股骨颈骨折患者需接受手术治疗，非手术治疗只适用于伤前无法行走、神经失能、有明显手术禁忌或者临终患者。复位内固定和人工髋关节置换是股骨颈骨折治疗的主要方法，尽管目前手术技术有很大提高，但骨折不愈合及股骨头坏死仍是目前股骨颈骨折治疗的难题<sup>[3-6]</sup>。据统计，非移位股骨颈骨折不愈合的发生率平均为 5%、股骨头坏死的发生率平均为 10%，移位股骨颈骨折不愈合的发生率平均为 30%、股骨头坏死的发生率平均为 25%，术后只有大约 50% 的患者能恢复原先的功能水平，怎样才能提高治疗效果，已成为临床最为关注的问题<sup>[7]</sup>。计算机辅助骨科手术技术 (computer assisted orthopaedic surgery, CAOS) 是在计算机图像处理技术对骨科医学影像进行数字化处理基础上，以导航手术设备和外科机器人实施术中干预，开展精准微创治疗的技术。国际上，CAOS 技术已经开展 20 余年，汇聚了骨科、机器人、影像导

航、人工智能等多领域多学科的高精尖技术，可以极大减少术中透视次数、提高手术精度，日益成为骨科微创治疗的重要手段<sup>[8]</sup>。近年来，CAOS 在股骨颈骨折手术治疗方面已有长足进展，与传统手术相比较，更加精准、微创、安全。

## 1 基于医学大数据的智能化分析或将解决如何正确选择股骨颈骨折的治疗方式

一般认为，对于无移位的股骨颈骨折和年轻患者 (<65 岁) 的移位股骨颈骨折选择骨折复位内固定手术，对于老年患者 (>65 岁) 的移位股骨颈骨折选择人工关节置换手术。但是，年龄和骨折移位程度只是影响选择何种治疗的重要依据，还要结合骨质、患者全身情况、职业要求以及治疗者的经验和技巧等多因素考量。在临床工作中对于一个高龄 (>75 岁) 无移位的股骨颈患者一定要骨折复位内固定吗？对于一个年轻的骨折移位严重、骨折不愈合和股骨头坏死风险非常高的患者也一定不能进行人工关节置换吗？如果施行骨折内固定，会不会有内固定失效的风险？如果施行人工关节置换，选择全髋还是半髋、骨水泥型还是非骨水泥型？这些疑问经常困扰临床医生对股骨颈骨折治疗方式的选择。如何面对股骨颈骨折的多因素进行临床决策呢？人工智能领域中的智能运算和机器学习技术以并行计算、大数据及更深层次算法为基础，完成对数据、问题的智能化分析。如果能够对多中心股骨颈骨折治疗的医学大数据进行智能分析和深度学习，就有可能建立人工智能的临床决策系统，个体化正确选择股骨颈骨折的治疗方式。Kukar 等<sup>[9]</sup>早在 1996 年就以机器学习的方法建立对股骨颈骨折移位分型、年龄、骨折图像等多因素进行数据识别和建模，通过不断的录入更多股骨颈骨折患者的相关医学数据进行运算，预测股骨颈骨折的预后。Gregersen 等<sup>[10]</sup>在丹麦数据保护局

(Danish Data Protection Agency)支持下,对 2007 年至 2010 年的 322 例 65 岁以上、接受骨折复位、3 枚空心钉固定股骨颈骨折患者采集性别、年龄、骨折分型、BMI 等多因素数据,进行数据分析,目的是能预测股骨颈骨折内固定失效而再手术的风险。研究结果发现 322 例有 29%的再手术率,骨质情况和骨折移位程度是最重要的预测指标。张英泽<sup>[11]</sup>设计了成人股骨颈骨折术式选择量化评分表,综合考虑患者年龄、性别、骨折类型、是否存在骨质疏松及其严重程度(骨密度)、生活能力、内科合并症等因素,进行量化评分,根据评分为患者提供规范合理的个体化治疗。总之,对于股骨颈骨折的治疗,在临床实践中不能单纯根据患者年龄选择手术方式,应当根据患者的年龄、全身情况、精神状况、骨质疏松情况、骨折类型及时间、复位的质量及患者的要求,选择合适的治疗方法<sup>[12]</sup>。目前,趋向一致的股骨颈骨折治疗方式的选择:无移位股骨颈骨折和有移位股骨颈骨折的年轻患者应行骨折复位内固定术,老年移位股骨颈骨折患者适宜人工髋关节置换<sup>[13]</sup>。

## 2 计算机辅助骨科手术技术可提高股骨颈骨折复位内固定手术精度并减少术中透视次数

对于青壮年患者和生理状态很差的高龄患者,可以采用闭合复位空心螺钉内固定治疗。闭合精准复位股骨颈骨折是内固定手术成功的关键,有助于降低术后骨折不愈合和股骨头缺血坏死等并发症的发生率。部分股骨颈骨折不能精准闭合复位的,应该果断选择切开复位,多次闭合复位会加大髋关节囊内压,增加股骨头坏死风险<sup>[14]</sup>。日本学者已经开发了股骨颈骨折闭合复位机器人,该机器人加装于骨科牵引床尾,依据机器人工作站对骨折图像的分析,计算骨折的移位程度和方向,然后机器人通过患足进行自动化定量牵引,该机器人系统在实验室中得到很好验证,但尚未应用于临床<sup>[15]</sup>。目前股骨颈骨折内固定多采用 3 根空心钉固定,空心钉在股骨颈内的空间构型要遵循平行分散和三点固定原则,平行分散即 3 根空心钉尽可能互相平行,并且分散开来、紧密贴附股骨颈的皮质下。三点固定即空心钉的骨皮质入点、空心钉经过的股骨颈后内方股骨距支撑点、空心钉尖端位于股骨头软骨下 5 cm 内的顶点形成一条直线,将股骨头与股骨干髁端紧密连接。3 枚螺钉的置入顺序有所讲究。第 1 枚螺钉应当是倒三角形的尖端,沿着股骨距;第 2 枚螺钉应是倒三角形底边靠后,沿着股骨颈置入;第 3 枚螺钉,倒三角形底边靠前,在骨折张力侧。最远端螺钉入点不应太低于股骨小转子,以免造成股骨转子下骨折。规范标准的空心钉固定需要在术中透视下徒手完成,对术者的

手术技巧要求较高<sup>[16]</sup>。研究表明,股骨颈骨折内固定手术并发症的发生率为 21%~46%<sup>[17]</sup>。传统徒手操作需要术中反复多次透视,增加医患放射损伤风险。Liebergall 等<sup>[18]</sup>应用光电导航手术系统进行股骨颈骨折空心钉内固定,与徒手操作对比,空心钉空间构型的平行分散度明显优于徒手组,螺钉穿出股骨头及股骨头坏死塌陷的发生率明显低于徒手组。Boiadjev 等<sup>[19]</sup>研发了自动化电钻机器人,可以保证螺钉钉道末端刚刚置于股骨头表面软骨下 5 mm,防止螺钉穿透关节面进入关节。北京积水潭医院联合北京航空航天大学成功研制了我国首台完全自主知识产权的骨科机器人,机器人采用基于两幅术中 X 线透视影像的双平面手术定位方法,实现手术定位技术的重大突破,精度 0.8 mm,经皮螺钉内固定治疗股骨颈骨折术中透视次数由 54.3 次降为 8.8 次,空心螺钉空间构型优于徒手操作组和应用光电导航手术组<sup>[20]</sup>。导航和手术机器人技术能够最大限度减少股骨颈骨折内固定的术中透视次数、极大提高空心螺钉置放的精准度。除上述骨折内固定方式外,股骨颈骨折内固定还需要根据 Pauwels 分型采用其他内固定手术,Pauwels 分型可以评估骨折的稳定性,并预测骨折固定后骨折的稳定性程度。股骨颈骨折线和水平面交角 $<30^\circ$ ,为 I 型,交角在 $30^\circ\sim 50^\circ$ 为 II 型,交角 $>50^\circ$ 为 III 型。Pauwels I 型骨折的内在稳定性最好,Pauwels I 型和 II 型骨折可以通过 3 枚平行空心钉固定;III 型骨折的内在稳定性较差,其在年轻股骨颈骨折的患者中较为多见。通常 III 型股骨颈骨折治疗更为困难,内固定失败率,骨折不愈合,畸形愈合和股骨头坏死的概率也更高。Pauwels III 型骨折在临床治疗中仍是个难题。骨折线的形态使得该骨折剪切力极高,极容易导致后期的内固定失败和畸形愈合,目前研究表明,角度锁定解剖钢板或髓内针固定生物力学稳定性最好。股骨颈基底部分碎性骨折是股骨颈骨折中较为特殊类型,采取 DHS 固定可获得比 3 枚空心螺钉更好的强度<sup>[21-23]</sup>。

## 3 导航手术系统和手术机器人极大提高了人工关节假体置放位置的精准性和手术操作的安全性

老年移位股骨颈骨折患者适宜人工髋关节置换。骨折移位、伴有同侧髋关节退行性改变的患者可选择全髋关节置换术,但目前即使没有髋关节退变的骨折患者,也可以行全髋关节置换,有逐渐扩大趋势,因为人工全髋关节置换术与人工半髋关节置换术相比,疼痛缓解更多、功能改善更佳,死亡率没有差别,但术后脱位率略高<sup>[7]</sup>。骨水泥型半髋置换术与非骨水泥型半髋置换术比较,骨水泥型 Harris 评分较高<sup>[24]</sup>。双极人工股骨头置换与单极人工股骨头置

换相比,短期和中期随访的死亡率和髋关节功能评分无差异,但长期随访发现双极型人工股骨头对髋臼磨损轻微、脱位率低,可降低再手术率<sup>[25]</sup>。人工髋关节置换术的关键是确保关节假体置放位置的准确,尤其是髋臼假体置放位置、股骨颈的截骨,肱骨近端髓腔的扩髓,髋臼的打磨。Lewinnek 等<sup>[26]</sup>较早提出髋臼假体置放安全区(safe zone)概念,髋臼假体外翻角范围为(40±10)°,前倾角范围为(15±10)°。髋臼假体置放位置不佳是全髋关节置换术后脱位的主要原因,传统手术技术不能确保髋臼假体的精准植入,只能依据术中工具和患者体位的测量,相关文献报道,36%髋臼假体没有安放在安全区<sup>[27]</sup>。髋臼在打磨时,传统手术技术不能确保髋臼始终围绕髋臼旋转中心打磨髋臼,还偶有磨穿髋臼现象。股骨近端髓腔为了尽量匹配假体柄植入,也存在术中股骨近端劈裂的风险。光电导航手术系统可以在术中实时监测定位髋臼假体的置放方向,指引术中截骨及髋臼打磨的方向,预估假体置换后的关节活动范围。2009 年至 2015 年,全球有 4 项 Meta 研究,上千例的导航辅助人工全髋关节置换与徒手操作比较,髋臼的置放位置、偏心距、下肢长度大多优于传统手术,术后并发症和传统手术没有明显差别。上述系列研究表明,导航手术系统可以极大提高人工关节置放的精准性<sup>[28-31]</sup>。近年来,手术机器人应用于人工髋关节置换日益成熟,比较有代表性的是半自动骨科机器人 MAKOpasty System(Stryker, Orlando, FL, USA),MAKO 机器人可以按照光电导航的规划和指引,依靠具有图像边界反馈功能的机械臂辅助骨科医生进行髋臼的打磨、股骨颈的截骨,如果术中机械臂的操作超过了图像的边界范围,机械臂的力反馈装置就会停止机械臂运行,保证手术安全<sup>[32]</sup>。全自动骨科机器人 ROBODOC 自从在 2008 年取得 FDA 认证后,目前已经在全球开展了 20 000 余例手术,ROBODOC 可以在手术医生的指令下,按照髋关节术前 CT 完成髋臼位置、股骨髓腔大小的术中 3D 规划和演示,完全依靠机器人的机械臂进行程序化的髋臼打磨、截骨、股骨髓腔扩髓。一项长达 14 年随访的全自动机器人辅助人工全髋置换术,采用和徒手传统关节置换手术进行随机对照研究,发现在术后功能评分量表比较方面,机器人组和传统手术组没有明显差异,但在假体置放位置和双下肢长度方面优于传统手术组,没有严重的术后并发症发生<sup>[33]</sup>。以导航和机器人代表的计算机辅助骨科手术技术将越来越多应用于人工髋关节置换手术,提高手术的精准性和安全性。

尽管近年来对股骨颈骨折治疗研究取得较大进

展,但值得研究的问题仍较多,诸如骨折后手术时机的选择、早期并发症的控制、理想的内固定器材、人工关节的开发、骨水泥技术及股骨头坏死的发病机制等,有待进一步深入研究。伴随着计算机辅助骨科手术技术的进步,人工智能和手术机器人技术将会极大改变股骨颈骨折的治疗,改善手术效果。

#### 参考文献

- [1] Filipov O. Epidemiology and social burden of the femoral neck fractures[J]. J IMAB, 2014, 20(4): 516-517.
- [2] Stevens JA, Rudd RA. The impact of decreasing U.S. hip fracture rates on future hip fracture estimates[J]. Osteoporos Int, 2013, 24(10): 2725-2728.
- [3] 张立志, 高杰, 张志成, 等. 人工髋关节置换和空心钉内固定治疗高龄患者股骨颈骨折的临床疗效对比[J]. 中国骨伤, 2018, 31(2): 103-110.  
ZHANG LZ, GAO J, ZHANG ZC, et al. Comparison of clinical effects of artificial hip replacement and cannulated screw fixation for the treatment of femoral neck fractures in elderly patients[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(2): 103-110. Chinese with abstract in English.
- [4] 胡翔, 刘保健, 温孝明, 等. 闭合复位加压空心螺钉内固定治疗中青年股骨颈骨折疗效观察[J]. 中国骨伤, 2018, 31(2): 111-114.  
HU X, LIU BJ, WEN XM, et al. Clinical observation of closed reduction and compression cannulated screw fixation for the treatment of femoral neck fracture in young and middle-aged patients[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(2): 111-114. Chinese with abstract in English.
- [5] 林振恩, 郑竑, 陈学生, 等. 改良闭合复位技术治疗股骨颈骨折疗效分析[J]. 中国骨伤, 2018, 31(2): 115-119.  
LIN ZE, ZHENG H, CHEN XS, et al. Analysis of curative effect of traditional Chinese bone setting manipulation for the treatment of femoral neck fracture[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(2): 115-119. Chinese with abstract in English.
- [6] 李英周, 叶锋, 万蕾, 等. 改良经皮加压钢板治疗 Pauwels III 型股骨颈骨折的疗效分析[J]. 中国骨伤, 2018, 31(2): 120-123.  
LI YZ, YE F, WAN L, et al. Treatment of Pauwels type III femoral neck fractures with modified percutaneous compression plate[J]. Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2018, 31(2): 120-123. Chinese with abstract in English.
- [7] Zi-Sheng A, You-Shui G, Zhi-Zhen J, et al. Hemiarthroplasty vs primary total hip arthroplasty for displaced fractures of the femoral neck in the elderly: a meta-analysis[J]. J Arthroplasty, 2012, 27(4): 583-590.
- [8] Nolte LP, Beutler T. Basic principles of CAOS[J]. Injury, 2004, 35(Suppl 1): A6-16.
- [9] Kukar M, Kononenko I, Silvester T. Machine learning in prognosis of the femoral neck fracture recovery[J]. Artif Intell Med, 1996, 8(5): 431-351.
- [10] Gregersen M, Kroghshede A, Brink O, et al. Prediction of reoperation of femoral neck fractures treated with cannulated screws in elderly patients[J]. Geriatr Orthop Surg Rehabil, 2015, 6(4): 322-327.
- [11] 张英泽. 股骨颈骨折治疗方案选择策略与进展[J]. 中国骨伤,

- 2015, 28(9):781-783.
- ZHANG YZ. Selection strategy and progress on the treatment of femoral neck fractures[J]. *Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma*, 2015, 28(9):781-783. Chinese.
- [12] Liu YJ, Xu B, Li ZY, et al. Quantitative score system for the surgical decision on adult femoral neck fractures[J]. *Orthopedics*, 2012, 35(2):e137-143.
- [13] Tseng FJ, Chia WT, Pan RY, et al. Comparison of arthroplasty vs. osteosynthesis for displaced femoral neck fractures: a meta-analysis[J]. *J Orthop Surg Res*, 2017, 12(1):131.
- [14] Sprague S, Slobogean GP, Scott T, et al. Young femoral neck fractures: are we measuring outcomes that matter[J]. *Injury*, 2015, 46(3):507-514.
- [15] Joung S, Kamon H, Liao H, et al. A robot assisted hip fracture reduction with a navigation system[J]. *Med Image Comput Comput Assist Interv*, 2008, 11(Pt 2):501-508.
- [16] Selvan VT, Oakley MJ, Rangan A, et al. Optimum configuration of cannulated hip screws for the fixation of intracapsular hip fractures: a biomechanical study[J]. *Injury*, 2004, 35(2):136-141.
- [17] Gjertsen JE, Vinje T, Engesaeter LB, et al. Internal screw fixation compared with bipolar hemiarthroplasty for treatment of displaced femoral neck fractures in elderly patients[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2010, 92(3):619-628.
- [18] Liebergall M, Ben-David D, Weil Y, et al. Computerized navigation for the internal fixation of femoral neck fractures[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2006, 88(8):1748-1754.
- [19] Boiadjiev T, Kastelov R, Boiadjiev G, et al. Automatic bone drilling by femoral head structure detection[J]. *Biotech Biotechnol Equip*, 2017, 63(11):891-897.
- [20] Wang JQ, Zhao CP, Su YG, et al. Computer-assisted navigation systems for insertion of cannulated screws in femoral neck fractures: a comparison of bi-planar robot navigation with optoelectronic navigation in a Synbone hip model trial[J]. *Chin Med J (Engl)*, 2011, 124(23):3906-3911.
- [21] Hoshino CM, Christian MW, O'Toole RV, et al. Fixation of displaced femoral neck fractures in young adults: Fixed-angle devices or Pauwel screws[J]. *Injury*, 2016, 47(8):1676-1684.
- [22] Dargan DP, Callachand F, Diamond OJ, et al. Three-year outcomes of intracapsular femoral neck fractures fixed with sliding hip screws in adults aged under sixty-five years[J]. *Injury*, 2016, 47(11):2495-2500.
- [23] Sa M, Mittlmeier T. Joint-preserving treatment of medial femoral neck fractures with an angular stable implant[J]. *Oper Orthop Traumatol*, 2016, 28(4):291-308.
- [24] Vidovi D, Punda M, Darabo N, et al. Regional bone loss following femoral neck fracture: A comparison between cemented and cementless hemiarthroplasty[J]. *Injury*, 2015, 46(Suppl 6):S52-56.
- [25] Jonas SC, Shah R, Al-Hadithy N, et al. Displaced intracapsular neck of femur fractures in the elderly: bipolar hemiarthroplasty may be the treatment of choice; a case control study[J]. *Injury*, 2015, 46(10):1988-1991.
- [26] Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, et al. Dislocations after total hip-replacement arthroplasties[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1978, 60(2):217-220.
- [27] Callanan MC, Jarrett B, Bragdon CR, et al. The John Charnley Award: risk factors for cup malpositioning; quality improvement through a joint registry at a tertiary hospital[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2011, 469(2):319-329.
- [28] Gandhi R, Marchie A, Farrokhvar F, et al. Computer navigation in total hip replacement: a meta-analysis[J]. *Int Orthop*, 2009, 33(3):593-597.
- [29] Moskal JT, Capps SG. Acetabular component positioning in total hip arthroplasty: an evidence-based analysis[J]. *J Arthroplasty*, 2011, 26(8):1432-1437.
- [30] Xu K, Li YM, Zhang HF, et al. Computer navigation in total hip arthroplasty: a meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *Int J Surg*, 2014, 12(5):528-533.
- [31] Liu Z, Gao Y, Cai L. Imageless navigation versus traditional method in total hip arthroplasty: A meta-analysis[J]. *Int J Surg*, 2015, 21:122-127.
- [32] Sugano N. Computer-assisted orthopaedic surgery and robotic surgery in total hip arthroplasty[J]. *Clin Orthop Surg*, 2013, 5(1):1-9.
- [33] Bargar WL, Parise CA, Hankins A, et al. Fourteen year follow-up of randomized clinical trials of active robotic-assisted total hip arthroplasty[J]. *J Arthroplasty*, 2017, pii: S0883-5403(17)30874-4.

(收稿日期: 2018-01-25 本文编辑: 王玉蔓)