

· 临床研究 ·

人机交互 CT 影像 AI 识别定位技术在 C1 型桡骨远端骨折的初步应用

成永忠^{1,2}, 尹晓冬¹, 刘飞¹, 邓新恒², 王朝鲁^{1,3}, 崔书克^{2,4}, 李永耀¹, 闫威¹

(1. 中国中医科学院望京医院, 北京 100102; 2. 南阳市中医院, 河南 南阳 473000; 3. 南阳市中医骨伤生物力学重点实验室, 河南 南阳 473000; 4. 河南省张仲景经方智能化开发工程技术研究中心, 河南 南阳 473000)

【摘要】 目的: 探讨人机交互智能软件识别定位 C1 型桡骨远端骨折的精准性。方法: 回顾性分析 2023 年 9 月至 2024 年 3 月收治的 14 例 C1 型桡骨远端骨折患者的 CT 数据, 其中男 3 例, 女 11 例, 年龄 27~82 岁, 随机编号后, 由 1 名高年资骨科医师在院内影像系统上阅片并测量每例患者的尺偏角、桡骨高度、掌倾角、关节内台阶、关节内间隙等, 依据桡骨远端骨折复位标准, 分为复位组、非复位组。随后将数据依次导入人机交互智能软件, 由 1 名低年资骨科医师识别分析, 并测量出同人工测量同样的指标, 依据同样标准分组后发现与人工测量信息一致(均复位组 6 例、非复位组 8 例, 且组内数据两者一致)。继续在软件中对非复位数据进行骨骼分割、骨折识别等处理, 并生成包含骨折识别信息的诊断报告 8 份。最后针对需要复位的 6 例数据, 由高年资医师和低年资医师分别在院内影像系统和软件中识别分析, 分别判断出每例数据中需要复位的骨折块, 由另 2 名高年资骨科医师核实两者所识别的骨块一致后, 再进行骨块位移信息测量; 两者在各自系统中分别测量出每 1 骨块在 X 轴(内外)、Z 轴(前后)、Y 轴(上下)上的位移、旋转角度等信息, 同时软件组对数据进行骨折识别, 并生成包含所有骨块位移信息、骨折识别信息的诊断报告 6 份。两者分别将各自数据录入数据表中。**结果:** 依据桡骨远端骨折复位标准, 两组均得出 6 例复位、8 例非复位数据, 且分组数据一致; 经配对样本 *t* 检验, 人工和软件测量 14 例数据的尺偏角、桡骨高度、关节内台阶、掌倾角、关节内间隙等比较, 差异均无统计学意义($P>0.05$); 在骨折识别方面, 软件识别出 10 例 C 型骨折, 4 例数据识别为 B 型; 6 例复位数据, 每例数据两种测量方式均分割出 2 个骨块, 每组 12 个骨块, 经判定发现所识别骨块一致, 经配对样本 *t* 检验发现, 人工和软件测量骨块 X、Y、Z 轴位移、旋转角度等比较, 差异均无统计学意义($P>0.05$)。**结论:** 人机交互 CT 影像 AI 识别定位软件在测量 C1 型桡骨远端骨折解剖学参数方面效能与人工测量近似。

【关键词】 桡骨远端骨折; 人机交互; 计算机断层扫描; AI 识别定位

中图分类号: R274.9

DOI: 10.12200/j.issn.1003-0034.20240601

Preliminary application of human-computer interaction CT imaging AI recognition and positioning technology in the treatment of type C1 distal radius fractures

CHENG Yong-zhong^{1,2}, YIN Xiao-dong¹, LIU Fei¹, DENG Xin-heng², WANG Chao-lu^{1,3}, CUI Shu-ke^{2,4}, LI Yong-yao¹, YAN Wei¹
(1. Wangjing Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China; 2. Nanyang City Traditional Chinese Medicine Hospital, Nanyang 473000, Henan, China; 3. Nanyang City Traditional Chinese Medicine Orthopedic Biomechanics Key Laboratory, Nanyang 473000, Henan, China; 4. ZHANG Zhongjing Prescription Intelligent Development Engineering Technology Research Center of Henan Province, Nanyang 473000, Henan, China)

ABSTRACT Objective To explore the accuracy of human-computer interaction software in identifying and locating type C1 distal radius fractures. **Methods** Based on relevant inclusion and exclusion criteria, 14 cases of type C1 distal radius fractures between September 2023 and March 2024 were retrospectively analyzed, comprising 3 males and 11 females (aged from 27 to 82 years). The data were assigned randomized identifiers. A senior orthopedic physician reviewed the films and measured the ulnar deviation angle, radial height, palmar inclination angle, intra-articular step, and intra-articular gap for each case on the hospital's imaging system. Based on the reduction standard for distal radius fractures, cases were divided into reduction group and non-reduction group. Then, the data were sequentially imported into a human-computer interaction intelligent software,

基金项目: 中国中医科学院科技创新工程(编号: CI2021A02008); 首都临床特色诊疗技术研究及转化应用项目(编号: Z221100007422075); 中国中医科学院望京医院高水平中医医院建设项目中医药临床循证研究专项(编号: WJYY-XZKT-2023-14)

Fund program: China Academy of Chinese Medical Sciences Innovation and Technology Development Project (No. CI2021A02008)

通信作者: 闫威 E-mail: yw285858404@sina.com

Corresponding author: YAN Wei E-mail: yw285858404@sina.com

where a junior orthopedic physician analyzed the same radiological parameters, categorized cases, and measured fracture details. The categorization results from the software were consistent with manual classifications (6 reduction cases and 8 non-reduction cases). For non-reduction cases, the software performed further analyses, including bone segmentation and fracture recognition, generating 8 diagnostic reports containing fracture recognition information. For the 6 reduction cases, the senior and junior orthopedic physicians independently analyzed the data on the hospital's imaging system and the AI software, respectively. Bone segments requiring reduction were identified, verified by two senior physicians, and measured for displacement and rotation along the X (inward and outward), Z (front and back), and Y (up and down) axes. The AI software generated comprehensive diagnostic reports for these cases, which included all measurements and fracture recognition details. **Results** Both the manual and AI software methods consistently categorized the 14 cases into 6 reduction and 8 non-reduction groups, with identical data distributions. A paired sample *t*-test revealed no statistically significant differences ($P>0.05$) between the manual and software-based measurements for ulnar deviation angle, radial ulnar bone height, palmar inclination angle, intra-articular step, and joint space. In fracture recognition, the AI software correctly identified 10 C-type fractures and 4 B-type fractures. For the 6 reduction cases, a total of 24 bone fragments were analyzed across both methods. After verification, it was found that the bone fragments identified by the two methods were consistent. A paired sample *t*-tests revealed that the identified bone fragments and measured displacement and rotation angles along the X, Y, and Z axes were consistent between the two methods. No statistically significant differences ($P>0.05$) were found between manual and software measurements for these parameters. **Conclusion** Human-computer interaction software employing AI technology demonstrated comparable accuracy to manual measurement in identifying and locating type C1 distal radius fractures on CT imaging.

KEYWORDS Distal radius fracture; Human-Computer interaction; Computed tomography(CT); AI-powered geolocation identification

桡骨远端骨折(distal radius fractures, DRF)是成人中最常见的骨折,在老年人中仅次于腕部骨折,其发病率为 0.35%,在青壮年人群中,发病率为 0.18%,且呈逐年上升趋势^[1]。C 型 DRF 损伤相对较重,往往伴关节面塌陷、桡骨短缩或尺、桡偏移位,在治疗上要求关节面解剖复位,或者达到关节面移位 $<2.0\text{ mm}$ 、桡骨短缩 $<5.0\text{ mm}$ 及背侧成角 $<20^\circ$ ^[2]。针对 C 型 DRF,治疗前对于骨折影像的精准识读至关重要,可帮助医师判断损伤严重程度、获得骨折位移信息等,以进一步规划治疗方案、实现精准复位,最终提升疗效。但目前术前阅读影像中存在困境,因常规 X 线检查中二维和三维虚拟无法共同对 CT 提供的图像进行分离和处理,术前医师无法明确评估患者的骨折信息,这将严重影响术中医生的相关操作,造成骨折并发症的发生,延长术后的康复时间^[3]。同时,近年来多项研究^[4-5]证实,在骨折阅片中结合人工智能技术,可提高医师诊断效能,降低诊断时间,减少误诊率、漏诊率等。但以上研究均是针对骨折的人工智能(artificial intelligence, AI)识别检测,对 AI 识别定位技术的研究存在空白。笔者开发出人机交互 CT 影像 AI 识别定位软件,可识别骨折信息,同时以模拟复位的方式定位骨块空间坐标、生成位移数据。现选择 C1 型 DRF 开展此项技术测试研究,探讨其识别定位 C1 型 DRF 的精准性,为规划复位方案提供一定指导。

1 资料与方法

1.1 病例选择

纳入标准:有明确外伤史;伤后 2 周内行腕关节

CT 检查;符合 AO-C1 型 DRF 的诊断标准^[6](桡骨远端完全关节内骨折,其中关节内骨折简单、干骺端骨折简单)。排除标准:图像伪影太重而影响诊断;由于扫描层厚、扫描技术等原因导致图像灰度值过低而影响诊断;存在骨质破坏或骨肿瘤;存在先天性骨骼发育不良或畸形。

1.2 临床资料

回顾性分析 2023 年 9 月至 2024 年 3 月在中国中医科学院望京医院放射科行腕关节 CT 检查的 14 例 AO-C1 型 DRF 患者 Dicom 格式 CT 数据。其中男 3 例,女 11 例,年龄 27~82 岁。本研究经由医院伦理审查委员会批准(伦理批号:WJEC-KT-2022-040-P002)。

1.3 院内影像阅片系统

本研究使用的装载在中国中医科学院望京医院放射科工作站上的影像阅片系统为岱嘉医疗影像存储与传输系统软件(A-site,版本号 V4.0),和岱嘉 UniReport 放射科及内科系统信息管理软件(版本号 V2.0),可实现常规 X 线、CT、MR 数据的读取、识别、测量并出具诊断报告等。

1.4 人机交互智能软件

本次研究所使用的人机交互 CT 影像 AI 识别定位软件由我团队基于 3D slicer 框架以 Python、C++ 等语言开发,已获计算机软件著作权证书(软件著作权登记名称:DRFCT 影像 AI 识别诊断系统 V1.0;登记号:2024SR0261308)。软件可识别 Dicom 格式的 CT 数据,数据导入后可进行位移及角度测量、目标骨分割、骨折识别、骨块模拟复位、生成诊断报告等,

可 360°无死角、全方位观察骨块状况,辅助医师术前诊断及规划(图 1-图 10)。

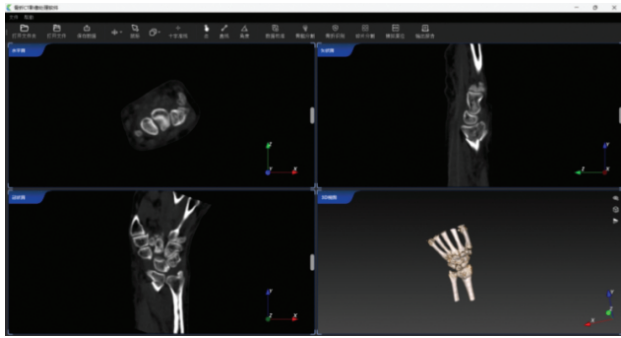


图 1 数据导入界面

Fig.1 Data import interface

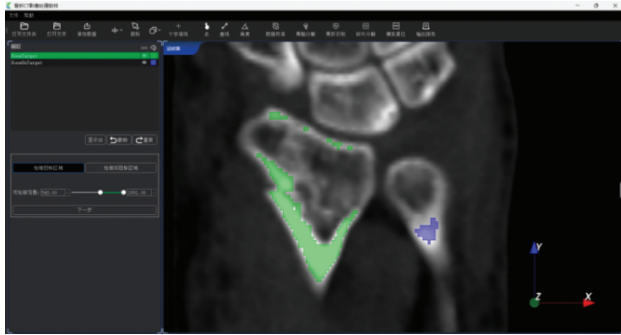


图 2 自动分割渲染桡骨

Fig.2 Automatic segmentation of the radius in rendering

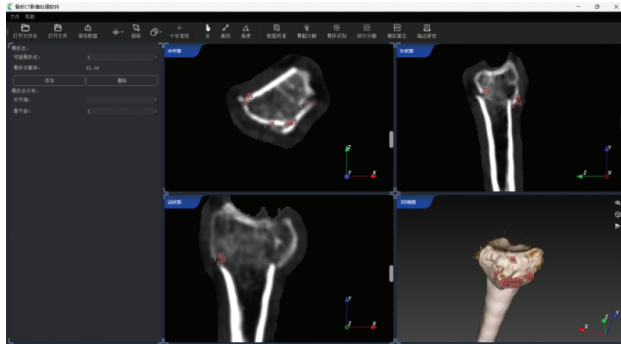


图 3 骨折点识别

Fig.3 Identification of fracture points

1.5 观察项目与方法

1.5.1 观察项目 (1)DRF 复位指标。依据 DRF 复位标准^[7-8](表 1),对 14 例 CT 数据测量评判骨折复位与否的相关指标。①尺偏角。即正位像上桡骨纵轴垂线和桡骨远端关节面切线的成角。②掌倾角。即侧位像中桡骨干中轴的垂线与掌、背侧缘连线所呈的角度。③桡骨高度。即桡骨茎突高度,正位像上垂直于桡骨干纵轴且分别通过桡骨茎突尖端、月骨窝尺侧角的两条平行线之间的距离。④关节内台阶。取桡

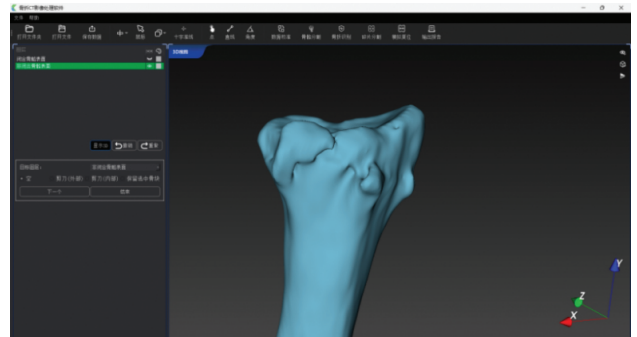


图 4 生成骨折模型

Fig.4 Generating a fracture model

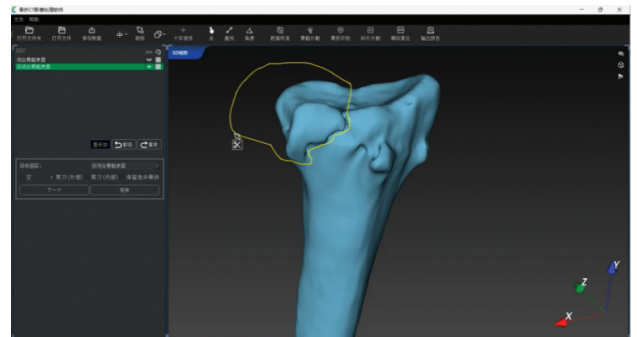


图 5 骨块分割

Fig.5 Bone segmentation

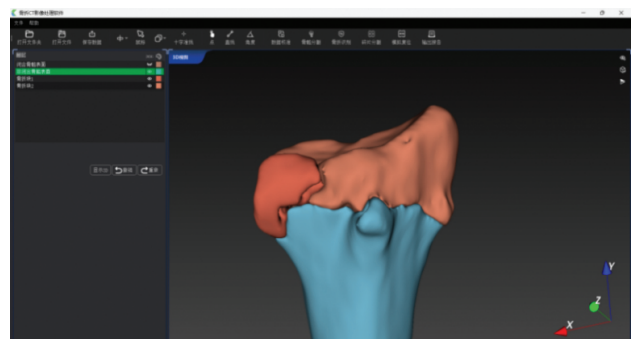


图 6 骨块分割后

Fig.6 Bone segmentation afterward

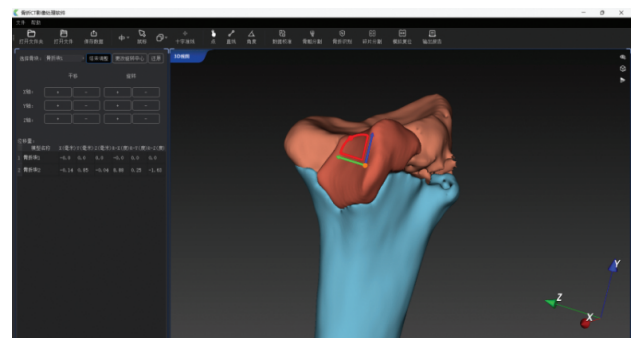


图 7 单窗口复位操作

Fig.7 Single window reset operation

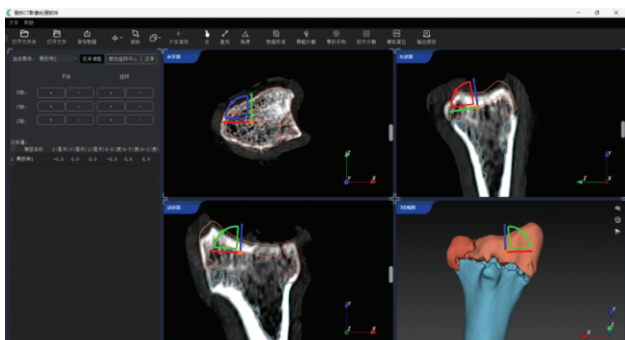


图 8 多窗口模拟复位

Fig.8 Multi-window simulation reset

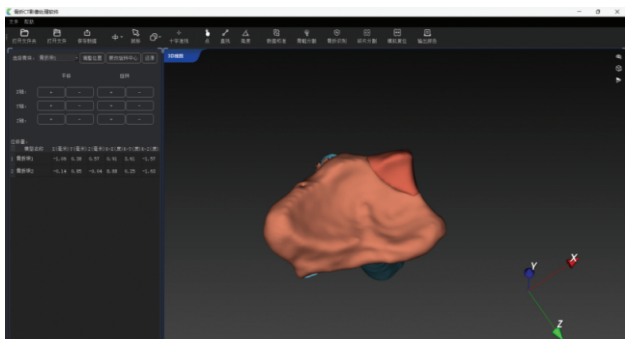


图 9 复位后关节面状态

Fig.9 Joint surface state after reset

骨折检测报告

一、骨折检查

检测结果:检测到骨折点共 213 个,其中,关节面骨折点 76 个,骨干部骨折点 137 个。骨折类型为 C 型骨折。[⊖]

二、骨折碎片检查

检测结果:[⊖]

共分割出 2 个碎片。偏移信息如下:[⊖]骨折块 1:X 方向移动:-1.06 mm,Y 方向移动:0.38 mm,Z 方向移动:0.57 mm,X 方向旋转:0.91°,Y 方向旋转:3.61°,Z 方向旋转:-1.57°;骨折块 2:X 方向移动:-0.14 mm,Y 方向移动:0.85 mm,Z 方向移动:-0.04 mm,X 方向旋转:8.88°,Y 方向旋转:0.25°,Z 方向旋转:-1.63°

图 10 生成诊断报告

Fig.10 Generates diagnostic report

表 1 桡骨远端骨折复位标准^[7-8]

Tab.1 Standard for reduction of distal radius fractures

测量指标	正常值	可接受标准
桡骨高度	12 mm	缩短<5 mm
尺偏角	23°	改变<5°
掌倾角	11°	背倾角<5°或与对侧相差<20°以内
关节内台阶	关节面连续	台阶<2 mm
关节内间隙	关节面连续	间隙<2 mm

骨远端关节面内上下中断处台阶最大值。^⑤关节内间隙。取桡骨远端关节面分离处间隙最大值。

(2)骨折信息。软件依据其 AI 算法,对导入 CT 数据自动识别,并得出骨折相关信息,包含骨折点数量(关节部骨折点、骨干部骨折点)、骨折分型等。

(3)骨折块位移信息。对于需要复位的数据,两组识别判断出需要复位的骨折块后,测量出每一骨折块位移信息,包含每一骨折块在 X 轴(内外)、Y 轴(上下)、Z 轴(前后)上的位移距离、旋转角度等,其中负号(-)代表位移或旋转方向相反。

1.5.2 方法 (1)复位指标测量。①人工测量。14 例 CT 数据随机编号后,由 1 名高年资骨科医师在院内影像系统上依次阅片,测量尺偏角、掌倾角、桡骨高度、关节内台阶、关节内间隙等指标,依据 DRF 复位标准,将 14 例数据分为复位组(6 例)、非复位组(8 例),并将所有数据录入数据表。②人机交互软件测量。将 14 例数据按编号依次导入软件中,由 1 名低年资骨科医师使用软件测量,结合其点标记、平移等功能(图 11-图 17),综合测量出与上述人工测量同样的数据;并依据上述复位标准,将 14 例数据分为复位组(6 例)、非复位组(8 例),8 例不需要复位数据在测量后继续在软件中进行骨骼分割、骨折识别等操作,最终生成包含骨折点数量、骨折分型的诊断报告,并将所有数据录入数据表中。两组测量后发现,软件与人工所得分组信息一致,故进入下一步复位组测量研究。



图 11 定位桡骨茎突最高点

Fig.11 Locating the highest point of the radial styloid process

(2)复位组中骨折块位移信息测量。①人工测量。6 例需要复位数据保留原有编号,从 14 例数据中挑选出来,由 1 名高年资骨科医师在院内影像系统上按编号依次对 6 例数据阅读识别,判断出每例数据中需要复位的骨折块后,测量并记录每个骨块在 X 轴(内外)、Z 轴(前后)、Y 轴(上下)上的位移距离、旋转角度等信息,将所有数据录入数据表中。②人机交互软件测量。将需要复位的 6 例 CT 数据按编号依次导入软件中,由 1 名低年资骨科医师操作软件进行识别分析,按照软件操作流程先后行数据校准、

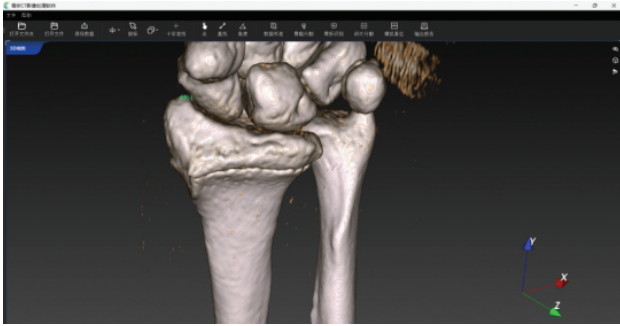


图 12 桡骨茎突最高点的三维验证
Fig.12 3D verification of the highest point of the radial styloid process

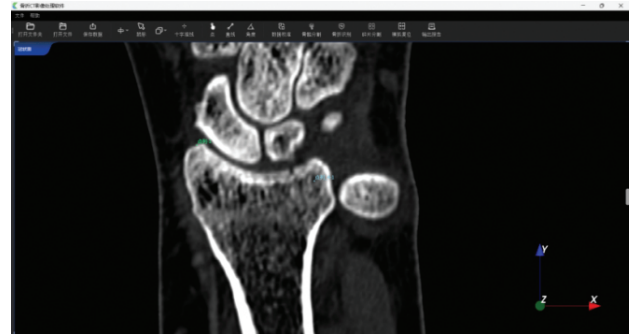


图 16 完成“点平移”至同一层面
Fig.16 Completing the "point translation" to the same plane



图 13 定位中心参考点
Fig.13 Locating the center reference point



图 17 完成测量
Fig.17 Completed measurement

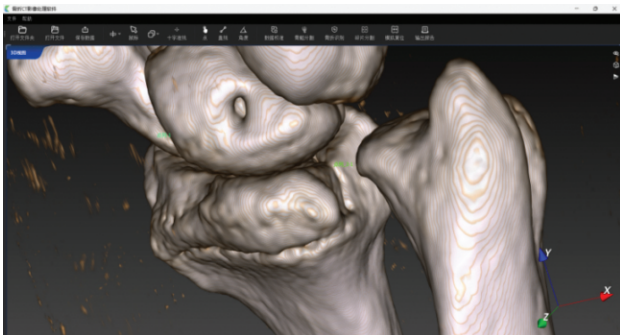


图 14 中心参考点的三维验证
Fig.14 3D verification of the central reference point

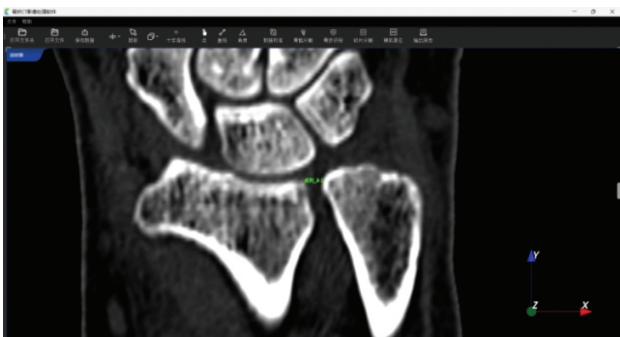


图 15 新标记点覆盖中心参考点
Fig.15 New marker points overlaying the center reference point

骨骼分割、骨折识别、碎片分割等,最终分割出每例数据中需要复位的骨折块,经 2 名高年资骨科医师确认与人工组分割的骨折块数目、大小一致后,对每例数据中骨折块行模拟复位操作,复位完毕后系统自动测量出骨折块位移信息,即骨折块距正常解剖位置在 X 轴(内外)、Z 轴(前后)、Y 轴(上下)上的位移、旋转角度等数值,最终生成包含骨折点数量、骨折分型及上述指标的诊断报告,并将所有数据录入数据表中。

1.6 统计学处理

采用 SPSS 26.0 统计软件进行数据整理和分析。符合正态分布的定量资料如 14 例 CT 数据的尺偏角、掌倾角、桡骨高度、关节内台阶、关节内间隙及 6 例复位数据中骨折块在 X 轴(内外)、Z 轴(前后)、Y 轴(上下)上的位移、旋转角度等数据均采用均数加减标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组内比较采用配对设计定量资料 *t* 检验。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 复位指标测量结果

(1)人工测量结果。①尺偏角。14 例数据中,尺偏角 $13.2^\circ \sim 34.5^\circ$,其中最小值 13.2° 不符合复位标准,其余均在复位标准内。②桡骨高度。14 例数据中,桡骨高度 $6.4 \sim 17.1$ mm,其中最小值 6.4 mm 不符

合复位标准,其余均在复位标准内。③关节内台阶。14 例数据中,关节内台阶 0~2.5 mm,其中最大值 2.5 mm 不符合复位标准,其余均在复位标准内。④掌倾角。14 例数据中,掌倾角 0.6°~20°;其中 1 例数据由于关节面背倾,故测得背倾角为 12.1°,除出现背倾角的数据外,其余均在复位标准内。⑤关节内间隙。14 例数据中,关节内间隙 1.0~2.9 mm,其中 5 例数据间隙≥2.0 mm 不符合复位标准,其余均在复位标准内。见表 2。

表 2 桡骨远端骨折 14 例患者人工测量复位指标测量结果
Tab.2 Measurement results of manual reduction indicators in 14 patients with distal radius fractures

患者序号	尺偏角/°	桡骨高度/mm	关节内台阶/mm	掌倾角/°	背倾角/°	关节内间隙/mm	复位分组
1	33.5	15.4	1.3	2.1		1.3	非复位
2	28.1	13.2	2.5	2.9		2.6	复位
3	34.5	17.1	1.5	0.6		1.1	非复位
4	13.2	6.4	1.3	背倾 12.1		1.9	复位
5	25.9	13.8	1.2	5.8		1.2	非复位
6	20.4	10.6	0	2.3		1.0	非复位
7	26.6	12.3	1.2	1.2		1.1	非复位
8	30.6	12.2	0	3.6		1.1	非复位
9	24.8	10.6	1.0	4.1		2.0	复位
10	19.9	9.2	1.7	20.0		2.4	复位
11	19.4	8.3	1.7	10.0		1.3	非复位
12	25.1	11.7	1.6	3.2		1.2	非复位
13	20.6	8.7	1.3	7.3		2.4	复位
14	22.6	11.3	1.3	4.2		2.9	复位

(2)人机交互软件测量结果。①尺偏角。14 例数据中,尺偏角 16.0°~34.9°,其中最小值 16.0°不符合复位标准,其余均在复位标准内。②桡骨高度。14 例数据中,桡骨高度 6.8~15.9 mm,其中最小值 6.8 mm 不符合复位标准,其余均在复位标准内。③关节内台阶。14 例数据中,关节内台阶 0.3~2.6 mm,其中 3 例数据台阶值>2 mm 不符合复位标准,其余均在复位标准内。④掌倾角。14 例数据中,掌倾角 1.0°~17.1°,其中 1 例数据由于关节面背倾,故测得背倾角为 9.8°。除出现背倾角的数据外,其余均在复位标准内。⑤关节内间隙。14 例数据中,关节内间隙 0.6~4.2 mm,其中 6 例间隙>2 mm 不符合复位标准,其余均在复位标准内。见表 3。

综合以上测量结果,5 项指标中若有一项不符合复位标准,则判定为该数据需做复位处理,两组均分离出 6 例需要复位数据、8 例不需要复位数据,分组后发现组内数据一致。

表 3 桡骨远端骨折 14 例患者软件识别复位指标测量结果
Tab.3 Measurement results of repositioning indicators in 14 patients with distal radius fracture by the software

患者序号	尺偏角/°	桡骨高度/mm	关节内台阶/mm	掌倾角/°	背倾角/°	关节内间隙/mm	复位分组
1	34.0	15.9	1.3	12.3		1.2	非复位
2	29.0	11.4	1.4	12.2		2.6	复位
3	29.3	14.5	0.3	13.2		0.9	非复位
4	16.0	6.8	1.7	背倾 9.8		2.2	复位
5	26.4	12.9	1.2	3.3		1.1	非复位
6	23.6	10.1	0.9	14.5		0.6	非复位
7	22.4	10.3	0.9	11.4		1.1	非复位
8	34.9	14.1	1.5	17.1		1.5	非复位
9	22.8	9.9	2.6	2.4		3.1	复位
10	28.1	12.1	2.1	5.1		4.2	复位
11	26.2	11.1	1.6	9.4		1.6	非复位
12	29.6	11.5	0.6	4.2		1.0	非复位
13	29.4	12.9	2.1	1.0		2.2	复位
14	24.3	10.6	1.1	1.1		3.1	复位

2.2 人机交互软件识别骨折信息结果

利用软件识别功能,每例数据均会得出包含骨折点数量及骨折分型的诊断报告,骨折点识别结果基于软件算法自动得出,其中关节面骨折点数量 0~416,整体数据变化幅度较大,无明显规律;骨干部骨折点数量 7~467,整体数据波动较大。分型检测方面,14 例数据,准确识别出 10 例 C 型骨折,4 例识别为 B 型。复位组 6 例,准确识别为 C 型骨折的仅 3 例;非复位组 8 例,1 例误识别为 B 型骨折。见表 4。

2.3 复位组中 12 个骨折块位移信息测量结果

复位组 6 例数据,每例数据人工与软件均识别出 2 个骨折块,符合 DRF 影像学特点,经判定人工与软件识别的骨折块一致,共计 12 个需测量骨折块。

(1)人工测量结果。①X 轴位移。1.0~4.5 mm,除最大位移骨块外,其余所有骨块位移<3 mm。②X 轴旋转角度。3.5°~33.5°,整体数据波动较大。③Y 轴位移。1~2.5 mm,其中 5 个骨块位移均为 2.5 mm,其余骨块位移均<2 mm。④Y 轴旋转角度。2.7°~17.2°,除最大旋转角度骨块外,其余骨块旋转角度均<12°,其中 10 个骨块旋转角度<10°。⑤Z 轴位移。0.2~4.1 mm,除最大位移骨块外,其余骨块位移均在 0~3 mm 范围内。⑥Z 轴旋转角度。0°~20.6°,整体数据散在分布、波动明显。见表 5。

(2)人机交互软件测量结果。①X 轴位移。0.06~1.61 mm,除 3 个骨块外,其余所有骨块位移在 1.0 mm 以内,整体波动范围较小。②X 轴旋转角度。0.91°~37.17°,整体数据波动较大。③Y 轴位移。0.38~

表 4 桡骨远端骨折 14 例患者软件识别骨折信息结果
Tab.4 Results of software identification of fracture information in 14 patients with distal radius fractures

患者序号	关节面骨折点	骨干部骨折点	总骨折点	骨折分型	复位组别
1	16	50	66	C 型	非复位组
2	0	59	59	B 型	复位组
3	101	179	280	C 型	非复位组
4	3	75	78	C 型	复位组
5	76	233	309	C 型	非复位组
6	0	7	7	B 型	非复位组
7	160	76	236	C 型	非复位组
8	63	467	530	C 型	非复位组
9	76	137	213	C 型	复位组
10	0	26	26	B 型	复位组
11	416	204	620	C 型	非复位组
12	295	207	502	C 型	非复位组
13	0	15	15	B 型	复位组
14	17	85	102	C 型	复位组

表 5 桡骨远端骨折患者 12 个骨块人工位移信息测量结果
Tab.5 Results of measuring the information of artificial positioning of 12 bone fragments in distal radius fracture patients

患者序号	骨块编号	X 轴位移/mm	X 轴旋转角度/°	Y 轴位移/mm	Y 轴旋转角度/°	Z 轴位移/mm	Z 轴旋转角度/°
2	1	-4.5	20.6	2.5	-17.2	1.4	-6.5
	2	-2.6	7.0	2.5	-6.1	4.1	8.8
4	3	-2.9	33.5	2.5	8.9	2.6	-3.2
	4	-2.3	16.7	1.3	-5.0	1.5	-6.0
9	5	-1.0	3.8	1.2	4.1	0.6	-2.5
	6	-1.3	16.3	1.2	5.8	-0.6	-7.7
10	7	1.7	10.3	2.5	-7.4	-2.5	-4.4
	8	-2.1	25.8	2.5	-4.6	-3.0	-17.7
13	9	2.3	3.5	1.5	-6.3	1.1	12.3
	10	1.6	11.3	1.6	-3.8	0.2	0
14	11	2.0	12.6	1.9	11.1	-2.0	-20.6
	12	1.5	24.5	1.0	-2.7	1.0	-1.9

注:-为位移或旋转方向相反。下同

6.52 mm,除最大位移骨块外,其余所有骨块位移在 0~3.63 mm 范围内,整体数据变化不大。④Y 轴旋转角度。0.25°~22.71°,整体数据波动较大。⑤Z 轴位移。0.01~4.88 mm,除最大位移骨块外,其余所有骨块位移在 0~3.33 mm 内,其中 7 个骨块位移在 1 mm 以内,整体数据集中分布、波动较小。⑥Z 轴旋转角度。0.23°~14.58°,整体数据波动较大。见表 6。

表 6 桡骨远端骨折患者 12 个骨块软件识别位移信息测量结果

Tab.6 Measurement of displacement information of 12 bone fragments in the distal radius fracture patients using software group positioning method

患者序号	骨块编号	X 轴位移/mm	X 轴旋转角度/°	Y 轴位移/mm	Y 轴旋转角度/°	Z 轴位移/mm	Z 轴旋转角度/°
2	1	-0.44	14.16	1.11	-22.71	0.89	-4.76
	2	-0.09	1.61	0.84	-3.85	1.77	1.17
4	3	-0.77	18.84	2.77	6.54	4.88	-1.32
	4	-0.39	19.84	2.43	-0.29	1.74	-4.15
9	5	-1.06	0.91	0.38	3.61	0.57	-1.57
	6	-0.14	8.88	0.85	0.25	-0.04	-1.63
10	7	1.61	11.02	1.67	-15.96	-1.73	-5.21
	8	-1.35	37.17	6.52	-1.86	-3.33	-12.92
13	9	0.35	11.17	1.91	-4.54	0.81	10.96
	10	0.06	12.62	0.77	-0.99	0.01	-0.23
14	11	0.22	16.44	3.63	9.58	-0.79	-14.58
	12	0.70	16.81	1.44	-6.76	0.59	-1.00

2.4 人工与人机交互软件指标测量结果比较

(1) 人工组与人机交互软件组复位指标测量结果比较。经配对样本 *t* 检验发现,人工组和软件组测量尺偏角、桡骨高度、关节内台阶、掌倾角、关节内间隙的比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表 7。

表 7 桡骨远端骨折 14 例患者人工与软件复位指标测量比较

Tab.7 Comparison of manual and software indicators for radiological reduction of distal radius fractures of 14 patients

复位指标	软件	人工	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
尺偏角($\bar{x}\pm s$)/°	26.86±4.91	24.66±5.87	1.945	0.074
桡骨高度($\bar{x}\pm s$)/mm	11.72±2.28	11.49±2.87	0.436	0.670
关节内台阶($\bar{x}\pm s$)/mm	1.38±0.62	1.26±0.64	0.514	0.616
掌倾角($\bar{x}\pm s$)/°	8.36±5.38	5.67±5.27	1.163	0.266
关节内间隙($\bar{x}\pm s$)/mm	1.89±1.05	1.68±0.66	1.313	0.212

(2) 人工组与人机交互软件组骨折块位移信息测量结果比较。经配对样本 *t* 检验发现,人工组和软件组测量 X 轴位移、X 轴旋转角度、Y 轴位移、Y 轴旋转角度、Z 轴位移、Z 轴旋转角度的比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。见表 8。

3 讨论

3.1 人机交互智能软件测量 C1 型 DRF 复位指标

3.1.1 多指标综合测量可精准判断 DRF 损伤程度
在 C 型 DRF 中,C1 型属于损伤相对较轻的类型,其关节面可能存在矢状面或冠状面的一条骨折线,将

表 8 桡骨远端骨折患者 12 个骨块人工与软件位移信息测量比较

Tab.8 Comparison of artificial and software displacement information measurement in 12 bone fragments of distal radius fracture patients

指标	软件	人工	t 值	P 值
X 轴位移(x±s)/mm	-0.11±0.80	-0.63±2.34	0.959	0.358
X 轴旋转角度(x±s)/°	14.12±9.43	15.49±9.27	-0.642	0.534
Y 轴位移(x±s)/mm	2.03±1.70	1.85±0.62	0.388	0.705
Y 轴旋转角度(x±s)/°	-3.08±8.99	-1.93±8.00	-0.960	0.358
Z 轴位移(x±s)/mm	0.45±2.01	0.37±2.10	0.252	0.806
Z 轴旋转角度(x±s)/°	-2.94±6.55	-4.12±9.24	1.101	0.294

关节面分为两个骨块。有学者^[9]将其定性为不稳定性骨折,认为保守治疗发生再移位风险高,建议直接手术治疗。笔者认为,治疗方案的选择应该首先基于对伤后影像的细致阅读,以判断损伤严重程度,并考虑患者年龄、身体条件等因素后综合决定。而究竟选择保守还是手术、DRF 后哪些解剖学指标应该被干预往往缺少量化资料支撑。FERNANDEZ^[10]和张文财等^[11]均认为桡骨短缩、掌倾角、尺偏角、关节面不平整是需要关注的因素。这些指标均是体现桡骨远端解剖形态的基本参数,骨折时往往发生改变,也是判断骨折复位与否的重要参考,其中哪个指标对于关节功能预后影响较大仍存在争议。而发生 DRF 时,往往多因素共同作用,共同对日后关节功能恢复产生影响,很少出现单一因素起决定作用的情况,因此在选择治疗方案和判定预后时也应该综合考虑。多指标综合测量可精准判断 DRF 损伤程度,有助于医师合理选择治疗方案,最终利于获得良好临床疗效。

3.1.2 软件创新性测量方法可保证结果精准性

以往对于 DRF 相关复位指标的测量,均是以标准的正侧位 X 线片为基准,X 线的特点在于只有一张影像,所有的测量标志点或线在一个影像层面上标注,测量比较方便。而本次研究选择 CT 数据作为基本资料,由于 CT 由多层影像组成,因此阅片时可以观测到比 X 线片更加详尽的信息,在此基础上能保证精准定位测量标志点,但问题在于可能所标注的点或者线不在同一层面,给测量带来困难。笔者使用软件测量时,灵活运用其“点标记”功能,对点与点之间映射、覆盖,来达到在同一层面测量的效果。

以尺偏角测量为例,通过多层阅片,选择桡骨茎突最高点层面定位该点(图 11),定位后回到三维界面上验证定位点的准确性(图 12),随后在桡骨远端尺侧缘定位中心参考点(月骨切迹掌背侧角之间连线的中点),见图 13,再次回到三维层面验证

(图 14),此时取一标记点覆盖中心参考点(图 15),保持此点位置不动而同时将影像窗口移动至桡骨茎突最高点所在层面,点击将该点标出,此时即相当于完成“点平移”而与桡骨茎突标志点处于同一层面(图 16),最后完成测量(图 17)。掌倾角的测量方式与其相似,而桡骨高度在尺偏角测量基础上得出。对于关节内间隙和台阶,由于 CT 可多视角、多层阅片,对于关节部位的观测非常清晰,故可多层综合判断、比较后测出相关数值。

从测量的结果来看,人工组与人机交互软件组在尺偏角、桡骨高度、关节内台阶和关节内间隙方面数据整体差异不大,分析其原因,因 CT 测量尺偏角宜取冠状面窗口,在冠状面中桡骨茎突标志较为明显而容易精确标记,而桡骨远端尺侧缘基本水平、前后落差不大,因此选取桡骨茎突最高点层面测量,则数据可接近真实尺偏角,且同一数据两组测量的结果相近。而桡骨高度测量在尺偏角测量基础上进行,关节内台阶和间隙均是寻找各二维层面内最大值,故以上数据软件与人工测量相近。两者测量掌倾角的数值差异较大,究其原因,还是因为测量方法不同,软件使用上述的标记点和覆盖点移动功能测量,而人工组是选择 CT 最大象限层面测量,但由于骨折后有时伴有背侧移位骨块的影响,同时桡骨远端由茎突向尺侧缘移行时上下落差较大。因此在矢状面中寻找桡骨远端掌背侧缘最大象限层面时所受干扰较多,因此结果变异较大,但结合复位指标评定标准,两组掌倾角除 1 例因关节面背倾出现背倾角外,其余均在复位标准范围内。在是否需要复位评定方面,除一例数据因尺偏角、桡骨高度、背倾角均不符合复位标准外,其余数据均是因为关节面不平整程度超过标准,两组在复位评定方面表现一致,最终复位分组信息亦相同。最终经统计分析发现,两组各项指标测量结果无明显差异。

由以上可知,结合 CT 影像的特点和软件的测量功能,可以尽可能地减少软件测量的误差,后经统计分析验证了软件可以达到同人工测量近似的效能。但同时软件测量中仍需注意的是:对于测量标志点的定位一定要准确,此点是测量的基础所在,可通过 CT 多层阅片准确标注,并通过三维层面验证定位点的准确性;在覆盖点和平移点的过程中,操作要精细、稳重,尽可能避免产生过大的位置变动而影响测量的结果。

3.2 人机交互智能软件测量骨折块位移信息

骨折治疗的关键在于复位,对于需要复位的 6 例数据而言,术前精确识别定位骨块,判断骨块数量、位移和旋转角度等应居于首位。传统方式是依靠

医师肉眼识别 X 线、CT 中的骨折块信息,形成感性认识后,再结合临床经验进行术前规划。但由于缺少骨块位移的精确信息,难以精准的定位骨块的空间坐标、并实现精准复位方案的规划。

人工交互智能软件的出现提供了新的解决思路,基于其智能算法,其识别测量骨折块位移信息功能创新性的采用了模拟复位的方式来实现。Dicom 格式的 CT 数据导入软件后,将自动识别出桡骨区域(图 2),随后经过人工操作做必要的轮廓修整后,进行骨折点自动识别(图 3)。识别后生成骨折模型(图 4),以人机交互方式对模型中骨折块进行分割、剥离(图 5),最终生成包含全部骨折块的可复位模型(图 6)。依次选择骨折块进行模拟复位,复位时一方面依据 DRF 复位标准,并结合上一步复位指标测量的结果,着力恢复骨折后丢失的正常角度、高度;同时结合临床经验,针对于 C 型关节内骨折,着力恢复关节面的平整。操作时使用旋转坐标轴拖动骨块进行 X、Y、Z 轴 6 个方向的移动和旋转,直至达到理想位置。同时,软件允许单窗口(图 7)和多窗口(图 8)同时复位操作显示,可更全面显示复位状态。最终复位完毕后(图 9),系统自动测量出骨折块在 X、Y、Z 轴的位移、旋转角度等数值,并生成诊断报告(图 10)。

在复位组每例数据中,人工组和软件组均识别出 2 个骨块,此与 C1 型 DRF 损伤特点相符,经评定后认为两组识别骨块一致,侧面验证了软件骨块分割功能的精确性。同时,对每一骨块在 X 轴(内外)、Y 轴(上下)、Z 轴(前后)上的位移、旋转角度测量方面,人工组与软件组表现不尽相同,究其原因,还是因为两者测量的方法不同,人工组只能依靠肉眼识别,并手工测量位移、角度等,在 CT 层面上需要仔细寻找到确切骨块的层面后进行测量;而软件组基于其算法以模拟复位方式进行测量,当骨块复位完毕即自动得出相关数据,所以存在一定区别。但两组均值比较发现,在 X、Y、Z 轴位移方面,两组差值均未超过 1 mm,数据非常接近;在 X 轴、Y 轴、Z 轴旋转角度方面,虽然两组差值均 $>1.0^\circ$,但最大差值仅为 1.37° 。最终经统计分析发现,两组在测量所有骨块 X、Y、Z 轴位移和旋转角度的结果方面无明显差异。

由以上可知,利用软件模拟复位功能,复位完毕即自动测量出骨折块的位移信息,最终经统计分析验证了软件测量骨折块位移信息可达到与人工近似的效能。但同时软件测量过程中仍需注意的是:骨块分割一定要精准,此举是后续复位操作及测量的基础,应仔细识别骨折模型中骨块情况,可结合软件中体绘制三维显像同步操作;要参照标准进行复位,

同时注意关节面的对合,以保证复位及测量的效果。

3.3 本研究的创新性

本研究的创新性在于:(1)创新性的使用 CT 数据测量 DRF 相关解剖学参数,尤其软件利用其独特的点标记、移位等功能,保证了测量的精准性,为相关问题解决提供了新的思路。(2)软件可自动识别骨折点及骨折分型,为日后提升诊断效率提供了可能。(3)以模拟复位方式测量骨块位移信息,具有开创性,可辅助术前精准规划复位方案,为手术治疗提供保障。

3.4 本研究的局限性

本研究的局限性在于:(1)虽然独创性采用 CT 测量 DRF 相关解剖学参数,但是标准测量建立在 X 线测量基础上,最终结果难免存在一定偏差。(2)软件识别骨折点数据波动较大,在分型识别方面存在一定误诊率,在此方面效能依然不足。(3)软件目前仍以人机交互方式操作,在骨块分割、模拟复位时存在一定的主观性,最终结果可能存在一定偏差,其智能化程度有待提高。(4)本次研究样本量偏小,可能存在一定研究偏倚,后续仍需继续开展大样本研究。

综上所述,人机交互 CT 影像 AI 识别定位软件在测量 C1 型 DRF 解剖学参数方面效能与人工测量近似,其模拟复位功能,可为术前规划复位方案提供一定指导。但其智能化程度仍有待提高,相信后续不断升级完善后能更好地解决临床问题。

利益冲突:不存在利益冲突。

参考文献

- [1] 殷浩,陈光,李燕,等.背侧克氏钉增强 AOC 型桡骨远端骨折尺背侧骨折块稳定性的有限元分析[J].中国组织工程研究,2023,27(31):4921-4925.
YIN H, CHEN G, LI Y, et al. Finite element analysis of dorsal Kirschner wire for enhancing the stability of the dorsal ulnar fracture fragment in AO C type distal radial fractures[J]. Chin J Tissue Eng Res, 2023, 27(31):4921-4925. Chinese.
- [2] 王伟,杨凯平,宋立辉.直血管钳背侧撬拨辅助掌侧入路内固定治疗桡骨远端 C 型骨折的临床疗效[J].实用手外科杂志,2023,37(3):378-380.
WANG W, YANG K P, SONG L H. Treatment of type C fracture of distal radius with dorsal prying with straight vessel forceps and internal fixation via volar approach[J]. J Pract Hand Surg, 2023, 37(3):378-380. Chinese.
- [3] 杨永豪.3D 打印技术解剖型桡骨远端掌侧锁定骨板应用在桡骨远端骨折中治疗效果分析[J].哈尔滨医药,2022,42(5):91-93.
YANG Y H. Analysis of therapeutic effect of anatomical palmar locking bone plate of distal radius with 3D printing technology in distal radius fracture[J]. Harbin Med J, 2022, 42(5):91-93. Chinese.
- [4] DURON L, DUCAROUGE A, GILLIBERT A, et al. Assessment of an AI aid in detection of adult appendicular skeletal fractures by e-

mergency physicians and radiologists; a multicenter cross-sectional diagnostic study[J]. Radiology, 2021, 300(1): 120-129.

[5] COHEN M, PUNTONET J, SANCHEZ J, et al. Artificial intelligence vs. radiologist; accuracy of wrist fracture detection on radiographs[J]. Eur Radiol, 2023, 33(6): 3974-3983.

[6] 王亦聰, 姜保国. 骨与关节损伤[M]. 第 5 版. 北京: 人民卫生出版社, 2012; 885.

WANG Y C, JIANG B G. Fractures and Joint Injuries[M]. 5th ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2012; 885. Chinese.

[7] 中华医学会骨科学分会创伤骨科学组, 中华医学会骨科学分会外固定与肢体重建学组. 中国成人桡骨远端骨折诊疗指南(2023)[J]. 中华创伤骨科杂志, 2023, 25(1): 6-13.

TRAUMATIC ORTHOPEDICS GROUP, SOCIETY OF ORTHOPEDICS, CHINESE MEDICAL ASSOCIATION, GROUP OF EXTERNAL FIXATION AND LIMB RECONSTRUCTION, SOCIETY OF ORTHOPEDICS, CHINESE MEDICAL ASSOCIATION. Chinese guidelines for diagnosis and treatment of adult distal radius fracture (2023)[J]. Chin J Orthop Trauma, 2023, 25(1): 6-13. Chinese.

[8] [美] 保罗·托内塔三世 (Paul Tornetta III). WIESEL 骨科手术学: 创伤外科[M]. 张长青. 上海: 上海科学技术出版社, 2022:

56.

[American] PAUL T III. Operative techniques in orthopaedic trauma surgery 2nd Edition[M]. ZHANG C Q. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2022: 56.

[9] 杜兰翔, 李世梁, 钟良钰, 等. 伴有或无背侧粉碎的 AO-C1 型桡骨远端骨折保守治疗效果观察[J]. 临床医药实践, 2018, 27(12): 911-914.

DU L X, LI S L, ZHONG L Y, et al. Observation the effect of conservative treatment of AO-C1 distal radius fractures with or without dorsal comminution[J]. Proceeding Clin Med, 2018, 27(12): 911-914. Chinese.

[10] FERNANDEZ D L. Should anatomic reduction be pursued in distal radial fractures[J]. J Hand Surg Br, 2000, 25(6): 523-527.

[11] 张文财, 阳晟, 程英雄, 等. 掌侧锁定加压钢板治疗桡骨远端不稳定骨折的回顾性研究[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2010, 25(5): 405-407.

ZHANG W C, YANG S, CHENG Y X, et al. Retrospective study of distal radius fractures treated with a volar locking plate[J]. Chin J Bone Jt Inj, 2010, 25(5): 405-407. Chinese.

(收稿日期: 2024-09-10 本文编辑: 朱嘉)