

CT HU 值判断小儿泌尿系结石成分的应用探讨



全文二维码

覃锋¹ 何天衢² 赵天望² 王智² 李创业² 易婷³ 孙小文¹ 刘畅¹
李艳芳² 邹志敏³

¹ 南华大学衡阳医学院儿科学院湖南省儿童医院泌尿外科, 长沙 410007; ² 中南大学湘雅医学院附属儿童医院泌尿外科, 长沙 410007; ³ 中南大学湘雅医学院附属儿童医院放射科, 长沙 410007

通信作者: 赵天望, Email: yw508@ sina. com

【摘要】 目的 探讨小儿泌尿系结石 CT 豪恩斯菲尔德单位(hounsfield unit, HU)在结石成分判断中的应用价值。 **方法** 本研究为回顾性研究, 以 2009 年 4 月至 2022 年 4 月在湖南省儿童医院诊断为泌尿系结石符合入选标准的 422 例患儿为研究对象, 基于术后结石成分分析结果将患儿分为 4 组: 草酸钙结石组($n=273$)、尿酸结石组($n=89$)、鸟粪石组($n=38$)、胱氨酸结石组($n=22$)。收集所有患儿的尿 pH 值、结石核心 HU 值、结石外围 HU 值、结石平均 HU 值、HU 密度(Hounsfield units density, HUD)等, 进行统计学分析。 **结果** 4 组患儿中结石外围 HU 值对比, 尿酸结石组为 399 ± 158 、草酸钙结石组为 529 ± 223 、鸟粪石组为 556 ± 312 、胱氨酸结石组为 566 ± 154 , 尿酸结石组较草酸钙结石组、鸟粪石组、胱氨酸结石组均小, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。4 组中结石平均 HU 值对比, 尿酸结石组为 425 ± 166 、草酸钙结石组为 585 ± 251 、鸟粪石组为 597 ± 326 、胱氨酸结石组为 589 ± 155 , 尿酸结石组较草酸钙结石组、鸟粪石组、胱氨酸结石组均小, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。4 组中结石核心 HU 值对比, 尿酸结石组为 476 ± 201 、草酸钙结石组为 697 ± 324 、鸟粪石组为 681 ± 371 , 尿酸结石组较草酸钙结石组和鸟粪石组均小, 差异均有统计学意义($P < 0.05$)。4 组中 HUD 对比, 草酸钙结石组为 65 ± 27 、尿酸结石组为 39 ± 16 、鸟粪石组为 54 ± 25 、胱氨酸结石组为 41 ± 17 , 草酸钙结石组较尿酸结石组、鸟粪石组、胱氨酸结石组均大, 差异均有统计学意义($P < 0.05$); 尿酸结石组较鸟粪石组小, 差异有统计学意义($P < 0.05$)。4 组中尿 pH 值对比, 胱氨酸结石组 $6.5(6.0, 7.13)$, 草酸钙结石组 $6.0(6.0, 6.5)$, 尿酸结石组 $6.0(6.0, 6.5)$; 胱氨酸结石组较草酸钙结石组和尿酸结石组均大, 差异均有统计学意义($P < 0.001$)。经计算受试者工作特征曲线下面积(area under curve, AUC), 草酸钙结石组与非草酸钙结石组 HUD 的 AUC 为 0.755, 灵敏度为 0.722, 特异度为 0.705, 最佳截断值为 48; 非尿酸结石组与尿酸结石组的核心 HU 值 AUC 为 0.700, 灵敏度为 0.607, 特异度为 0.764, 最佳截断值为 566; 胱氨酸结石组与非胱氨酸结石组中位尿 pH 值 AUC 为 0.704, 灵敏度为 0.682, 特异度为 0.657, 最佳截断值为 6.25。 **结论** 通过 CT HU 值测量, 可以为判定草酸钙结石和尿酸结石成分提供参考; 结石核心 HU 值小于 566 时, 提示尿酸结石; HUD 大于等于 48 时, 提示草酸钙结石。

【关键词】 结石成分; 判断; 外科手术; 儿童

基金项目: 湖南省儿童泌尿生殖疾病临床医学研究中心(2021SK4017); 湖南省卫健委重点资助课题(202204054938)

DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202304043-008

Application of computed tomography Hounsfield unit in the determination of urinary stone composition in children

Qin Feng¹, He Tianqu², Zhao Yaowang², Wang Zhi², Li Chuangye², Yi Ting³, Sun Xiaowen¹, Liu Chang¹, Li Yanfang², Zou Zhimin³

¹ Department of Pediatric Urology, Hunan Children's Hospital, School of Pediatrics, Hengyang Medical College, University of South China, Changsha 410007, China; ² Department of Urology, Children's Hospital, Xiangya

School of Medicine, Central South University, Changsha 410007, China; ³ Department of Radiology, Children's Hospital, Xiangya School of Medicine, Central South University, Changsha 410007, China

Corresponding author: Zhao Yaowang, Email: yw508@sina.com

【Abstract】 Objective To explore the application value of CT Hounsfield unit (HU) of urinary calculi in the determination of stone composition in children. **Methods** For this retrospective study, between April 2009 and April 2022, 422 children of urinary tract calculi were recruited as research subjects. Based upon the results of postoperative stone composition analysis, they were assigned into 4 groups of calcium oxalate calculus, uric acid calculus, struvite and cystine calculus. Urinary pH value, HU value in stone core, HU value in stone periphery, average HU value and Hounsfield unit density (HUD) of stone were statistically examined. **Results** The HU value in the periphery of uric acid calculus group (399 ± 158), calcium oxalate calculus group (529 ± 223), struvite group (556 ± 312), cystine calculus group (566 ± 154), uric acid calculus group was lower than calcium oxalate calculus group, struvite group and cystine calculus group, the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The average HU value of uric acid calculus group (425 ± 166), calcium oxalate calculus group (585 ± 251), struvite group (597 ± 326), cystine calculus group (589 ± 155), uric acid calculus group was lower than calcium oxalate calculus group, struvite group and cystine calculus group, the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The HU value in the core of the uric acid calculus group was (476 ± 201), the calcium oxalate calculus group was (697 ± 324), and the struvite group was (681 ± 371). The HU value in the core of the uric acid calculus group was lower than that of the calcium oxalate calculus group and the struvite group, and the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The HUD of the calcium oxalate calculus group (65 ± 27), uric acid calculus group (39 ± 16), struvite group (54 ± 25), cystine calculus group (41 ± 17), calcium oxalate calculus group was higher than uric acid calculus group, struvite group and cystine calculus group, the differences were statistically significant ($P < 0.05$). The HUD of uric acid calculus group was lower than that of struvite group, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). The urine pH value of cystine calculus group was 6.5 (6.0, 7.13), calcium oxalate calculus group was 6.0 (6.0, 6.5), and uric acid calculus group was 6.0 (6.0, 6.5). The urine pH value of cystine calculus group was higher than that of calcium oxalate calculus group and uric acid calculus group, and the differences were statistically significant ($P < 0.001$). The area under curve (AUC) of HUD of calcium oxalate calculus and non-calcium oxalate calculus groups was 0.755 with a sensitivity of 0.722, a specificity of 0.705 and an optimal cut-off value of 48. Non-uric acid core calculus in uric acid calculus group had an AUC of 0.700 with a sensitivity of 0.607, a specificity of 0.764 and an optimal cutoff value of 566. AUC of median urinary pH value in cystine calculus and non-cystine calculus groups was 0.704 with a sensitivity of 0.682, a specificity of 0.657 and an optimal cutoff value of 6.25. **Conclusions** Measurement of CT HU value may provide references for determining the composition of calcium oxalate and uric acid calculi. When HU value of stone core is below 566, it hints at uric acid calculus. Calcium oxalate calculus is suggested when HUD is 48 or above.

【Key words】 Stone Composition; Judgment; Surgical Procedures, Operative; Child

Fund program: Hunan Provincial Clinical Medical Research Center for Pediatric Urogenital Diseases (2021SK4017); Key Project of Health Commission of Hunan Province (202204054938)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202304043-008

尿石症是小儿泌尿外科常见疾病,病因主要包括遗传代谢异常、生理畸形及尿路感染等,临床症状表现为肾绞痛、血尿、反复尿路感染、尿痛、排尿困难等^[1]。目前,小儿泌尿系结石的手术治疗方法主要包括体外冲击波碎石术、经皮肾镜碎石取石术、输尿管镜碎石取石术^[2]。刘李等^[3]报道,小儿泌尿系结石成分主要包括草酸钙结石(最多见)、尿酸结石、鸟粪石(感染性结石)、胱氨酸结石、混合性

结石等,且较成人更易复发^[4]。鉴于CT是诊断小儿泌尿系结石灵敏度最高的影像学方法,Rodríguez-Plata等^[5]和舒露^[6]分别研究报道,可以通过CT豪恩斯菲尔德单位(hounsfield unit, HU)预测结石成分,为泌尿系结石患者的诊疗提供依据。本研究旨在探讨小儿泌尿系结石CT HU值在结石成分判断中的应用价值。

资料与方法

一、研究对象

本研究为回顾性研究,以 2009 年 4 月至 2022 年 4 月在湖南省儿童医院诊断为泌尿系结石的患儿为研究对象。病例纳入标准:①首次在本院行碎石取石手术治疗;②术前在本院行 CT 影像学检查;③术中或术后获取结石标本,且术后结石成分单一。排除标准:①结石长径(结石在横断面上最大横截面积的最长尺寸) ≤ 3 mm;②某种单一结石成分类型病例总数 <10 例(如黄嘌呤结石 5 例)。根据上述标准,最终纳入本研究的泌尿系结石患儿共 422 例。本研究经过湖南省儿童医院伦理委员会审核批准(HCHLL-2022-137),患儿父母均知情同意。

二、数据的收集

CT HU 值测量:患儿治疗前均接受了泌尿系 CT 扫描影像学检查[检查设备:飞利浦 64 排螺旋 CT(型号:PHILIPS CT Brilliance),使用 3 mm 薄层厚度。进入医疗影像系统(picture archiving and communication system, PACS),在 CT 平扫骨窗界面,结石长径大于 3 mm 认为有临床诊断意义。由 CT 扫描图像中结石长径层面的感兴趣区(region of interest, ROI)测量结石的 CT HU 值。在结石长径中心测量一次,标记为结石核心 HU 值;在结石长径外围分别测量两次,测量的 HU 值平均数标记为结石外围 HU 值;结石平均 HU 值 = $\frac{(\text{结石核心 HU 值} + \text{结石外围 HU 值})}{2}$; HU 密度

(hounsfield units density, HUD) = $\frac{\text{结石平均 HU 值}}{\text{结石长径}}$ 。

CT HU 值测量评估采取单盲设定,由两名经验丰富的放射科医师独立进行。

采用智能结石分析仪(型号:SUN-3G,济南鼎舜医疗器械有限公司)进行结石成分分析。红外光谱结石成分分析流程:①首先将结石标本用蒸馏水洗干净,放入 70℃~100℃烤箱内烘干待用;②将结石样本研磨成粉末;③将纯溴化钾进行干燥处理,取 200 mg 干燥溴化钾与 1 mg 结石粉末样本混合,在玛瑙研钵中碾压成粉末充分混合;④将结石标本置于压片机中制备成半透明状检测片;⑤将检测片植入光谱槽中扫描,自动分析出结石成分。根据结石成分分析结果,将所有患儿分为 4 组:草酸钙结石组、尿酸结石组、鸟粪石组、胱氨酸结石组。草酸钙结石包括一水草酸钙和(或)二水草酸钙;尿酸结石

包括无水尿酸、尿酸氢铵、一水尿酸;鸟粪石即感染性结石,包括磷酸铵镁和(或)碳酸磷灰石。

三、统计学处理

采用 SPSS 25.0 进行统计学分析。对服从正态分布的计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示;对多个符合正态分布的样本均数两两比较使用 Dunnett-*t* 检验进行方差分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。计数资料以频数、构成比表示,不满足正态分布的变量资料使用 $[M(Q_1, Q_3)]$ 表示;多组间两两比较采用多样本的秩和检验(Kruskal-Wallis Dunn test),基于两两比较的秩次,显著性水平设定为 $P < 0.008$ 为差异有统计学意义。采用受试者工作特征曲线(receiver operating curve, ROC)分别计算各组参数截断值、ROC 曲线下面积(area under curve, AUC)等。

结 果

本研究纳入的 422 例患儿中,年龄范围为 4 ~ 204 个月,平均年龄为 67.4 个月;男性 284 例(67.3%),女性 138 例(32.7%);草酸钙结石组 273 例,尿酸结石组 89 例,鸟粪石组 38 例,胱氨酸结石组 22 例,占比分别为 65%、21%、9%、5%。

4 组患儿结石外围 HU 值和结石平均 HU 值:尿酸结石组较草酸钙结石组、鸟粪石组、胱氨酸结石组均小($P < 0.05$)。4 组结石核心 HU 值:尿酸结石组较草酸钙结石组和鸟粪石组小($P < 0.05$)。4 组 HUD:草酸钙结石组较尿酸结石组、鸟粪石组、胱氨酸结石组大($P < 0.05$);尿酸结石组较鸟粪石组小($P < 0.05$)。4 组中位尿 pH 值:胱氨酸结石组较草酸钙结石组和尿酸结石组大($P < 0.001$)。见表 1。

草酸钙结石组与非草酸钙结石组 HUD 的 AUC 为 0.755,灵敏度为 0.722,特异度为 0.705,最佳截断值为 48;非尿酸结石组与尿酸结石组的核心 HU 值 AUC 为 0.700,灵敏度为 0.607,特异度为 0.764,最佳截断值为 566;胱氨酸结石组与非胱氨酸结石组中位尿 pH 值 AUC 为 0.704,灵敏度为 0.682,特异度为 0.657,最佳截断值为 6.25。详见图 1 至图 3、表 2 至表 4。

讨 论

小儿泌尿系结石的成分与其临床治疗、预后有关,不同的结石成分、大小、位置均会直接关系到患儿的治疗效果。小儿泌尿系结石成分包括草酸钙

结石、尿酸结石、鸟粪石、胱氨酸结石、混合性结石等。2022 年,刘李等^[3]报道了 592 例儿童泌尿系结石成分分析结果,单一结石成分以草酸钙结石、尿酸氢铵为主,分别占 63.7%、14.3%。本研究中单一结石成分的草酸钙结石、尿酸结石、鸟粪石、胱氨酸结石分别占 65%、21%、9%、5%,与文献报道结果相符。邢滇霞^[7]于 2017 年报道,胱氨酸结石在体外冲击波碎石取石中难度最大,草酸钙结石的碎石难度相对较大,鸟粪石的碎石难度最低。鉴于 CT 影像学检查是诊断泌尿系结石最敏感的方法,不仅快速、精准、全面,还可通过 CT HU 值的测量预测患儿结石成分。因此在泌尿系结石患儿的治疗过程中,术前通过 CT 扫描识别结石成分类型,选择合适的治疗方法,对改善患儿的治疗效果有重要意义。

本研究发现,草酸钙结石组 HUD 高于尿酸结石组、鸟粪石组、胱氨酸结石组;尿酸结石组的结石外围 HU 值、结石核心 HU 值、结石平均 HU 值、HUD 均低于其他三组。当 HUD 大于等于 48 时,提示草酸钙结石;当结石核心 HU 值小于 566 时,提示尿酸结石;当尿 pH 值大于等于 6.25 时,提示胱氨酸结石;排除其他结石成分后,其余结石成分类型提示为鸟粪石。这与 Altan 等^[8]研究报道草酸钙结石核心 CT HU 值、外围 CT HU 值、平均 CT HU 值和 HUD 的样本均数均高于胱氨酸结石和鸟粪石的结果有一定差别。在区分胱氨酸结石和鸟粪石时,CT HU 值、HUD 比较均无明显差异,需要引入尿 pH 值

等参数。依据胱氨酸结石组与非胱氨酸结石组 ROC 曲线分析结果,当尿 pH 值截断值设定在(6.25)时,灵敏度、特异度、准确度较高,对于区分胱氨酸结石和非胱氨酸结石有一定的参考意义。这一发现与 Altan 等^[8]报道的鸟粪石组的尿 pH 值中位数高于胱氨酸组有差别,胱氨酸结石患儿治疗过程中需要碱化尿液。临床工作中还需参考患儿的血常规、C 反应蛋白、降钙素原、尿常规白细胞数、尿培养等感染性指标,进一步区分胱氨酸结石和鸟粪石。

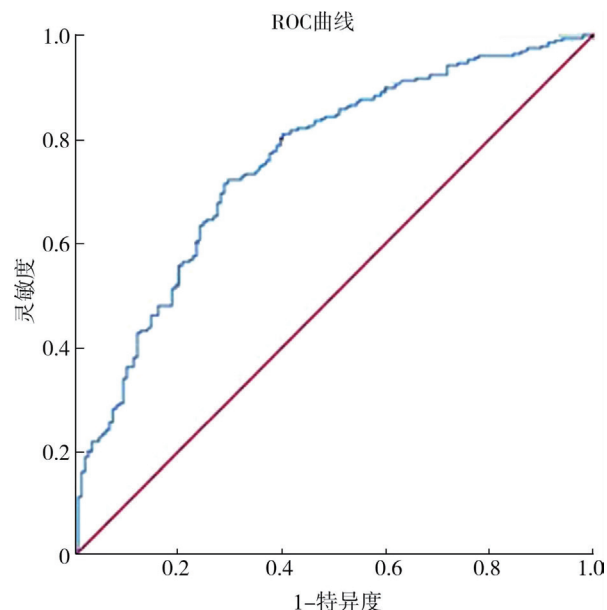


图 1 草酸钙结石与非草酸钙结石 HUD 参数的 ROC 曲线下面积
Fig. 1 Area under the ROC curve for HUD parameter of calcium oxalate and non-calcium oxalate calculi

表 1 4 组不同成分泌尿系结石患儿 CT HU 值、尿 pH 值比较

Table 1 Comparing four groups of different calculus composition with CT HU value and urinary pH

变量	结石外围 HU 值 ($\bar{x} \pm s$)	结石平均 HU 值 ($\bar{x} \pm s$)	结石核心 HU 值 ($\bar{x} \pm s$)	HUD ($\bar{x} \pm s$)	中位尿 pH 值 $M(Q_1, Q_3)$
草酸钙结石组($n=273$)	529 \pm 223	585 \pm 251	697 \pm 324	65 \pm 27 ^d	6.0(6.0, 6.5)
尿酸结石组($n=89$)	399 \pm 158 ^a	425 \pm 166 ^b	476 \pm 201 ^c	39 \pm 16 ^e	6.0(6.0, 6.5)
鸟粪石组($n=38$)	556 \pm 312	597 \pm 326	681 \pm 371	54 \pm 25	6.0(6.0, 6.5)
胱氨酸结石组($n=22$)	566 \pm 154	589 \pm 155	637 \pm 187	41 \pm 17	6.5(6.0, 7.1) ^f
F/H 值	$F=684.196$	$F=668.044$	$F=561.221$	$F=365.906$	$H=17.969$
P 值	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注 HUD:豪恩斯菲尔德单位,密度;多个符合正态分布的样本均数两两比较使用 Dunnett- t 检验进行方差分析,检验水准 $\alpha=0.05$;非正态分布尿 pH 中位值多组间两两比较,采用秩和检验(Kruskal-Wallis Dunn test),检验水准 $\alpha=0.008$;^a 表示尿酸结石组与其余三组相比 $P<0.05$; ^b 表示尿酸结石组与其余三组相比 $P<0.05$; ^c 表示尿酸结石组与草酸钙结石组、鸟粪石组相比 $P<0.05$; ^d 表示草酸钙结石组与其余三组相比 $P<0.05$; ^e 表示尿酸结石组与鸟粪石组相比 $P<0.05$; ^f 表示胱氨酸结石组与草酸钙结石组和尿酸结石组相比 $P<0.001$

表 2 HUD 鉴别草酸钙结石成分诊断价值分析

Table 2 Diagnostic value of HUD in the identification of calcium oxalate calculus

变量	HUD				
	AUC	截断值	准确度	灵敏度	特异度
草酸钙结石比非草酸钙结石	0.755	48	0.715	0.722	0.705

注 HUD:豪恩斯菲尔德单位,密度; AUC:曲线下面积

表 3 结石核心 HU 值鉴别非尿酸结石成分诊断价值分析

Table 3 Core HU diagnostic values for identifying uric acid calculus compositions

变量	结石核心 HU 值				
	AUC	截断值	准确度	灵敏度	特异度
非尿酸结石比尿酸结石	0.700	566	0.639	0.607	0.764

注 AUC:曲线下面积; HUD:豪恩斯菲尔德单位

表 4 尿 pH 值鉴别胱氨酸结石成分诊断价值分析

Table 4 Diagnostic value of urinary pH for identifying cystine calculi ingredients

变量	尿 pH 值				
	AUC	截断值	准确度	灵敏度	特异度
胱氨酸结石比非胱氨酸结石	0.704	6.25	0.675	0.682	0.657

注 AUC:曲线下面积

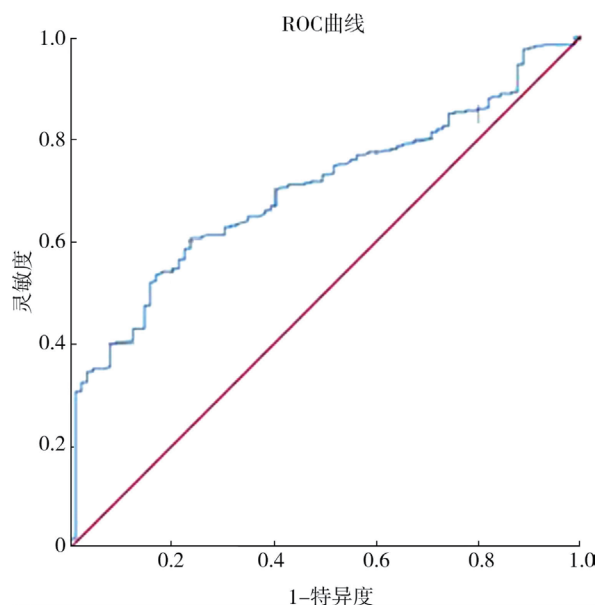


图 2 非尿酸结石与尿酸结石的结石核心 HU 值参数 ROC 曲线下面积

Fig. 2 Area under the ROC curve of HU value parameters in core of non-uric acid and uric acid calculi

对于鸟粪石(感染性结石)患儿,因结石大部分发生在肾脏,生长速度快,常迅速填满肾盂和肾大盏,从而导致患儿肾功能丧失,易并发严重感染,结石复发率和致死率均较高^[9]。Schnabel 等^[10]认为,抗感染治疗对于感染性结石的防治具有重要的作用,未经治疗的感染性结石是泌尿外科微创手术的禁忌。术前通过 CT HU 值等参数判断患儿结石成分,如为感染性结石,则采取积极干预措施,在围手术期使用抗生素进行抗感染治疗,术中相对缩短手术时间,保持较低的肾盂内灌注压,从而减少围手术期全身炎症反应、脓毒血症、肾功能衰竭、感染性休克等感染相关并发症的发生^[11]。胱氨酸结石主要是由于胱氨酸尿症所致,具有遗传特异性,也被称为遗传性结石。赵天望等^[12]研究报道,胱氨酸结石患儿术后复发率极高,且胱氨酸结石质韧,体

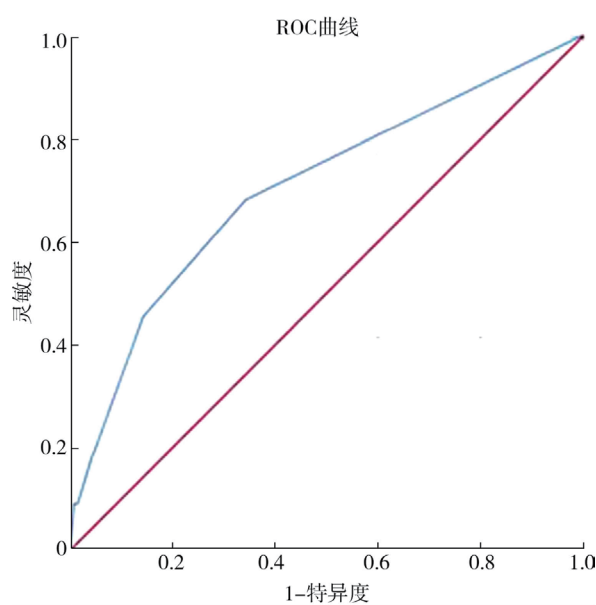


图 3 胱氨酸结石与非胱氨酸结石尿 pH 值参数 ROC 曲线下面积

Fig. 3 Area under the ROC curve of urinary pH parameters between cystine and non-cystine calculi

外冲击波碎石通常不易粉碎。如术前相关指标提示为胱氨酸结石,则可选择除体外冲击波碎石以外的治疗方法,进而提高临床治疗效果。

CT HU 值与泌尿系结石成分的相关性研究多以成人作为研究对象,这些研究中使用了结石平均 CT HU 值、最大 CT HU 值、最小 CT HU 值、结石异质性指数、平均结石密度、双能量指数等参数预测结石成分^[13]。因为结石的大小与 CT HU 值呈正相关,为避免结石大小的影响,本研究中同样使用了 HUD 参数^[14]。而通过 CT HU 值参数,很难判断鸟粪石和胱氨酸结石成分,因此引入了尿 pH 值这一参数^[8]。在相关研究中,结石异质性指数、平均结石密度、双能量指数等参数对于预测结石成分很有效,但与结石核心 CT HU 值、外围 CT HU 值、HUD 等相比,并没有突出的优势^[15]。CT 检查诊断泌尿

系结石的灵敏度、特异度都很高,大部分患儿不需要镇静,可快速完成检查,明确病情,且在评估泌尿系结石患儿的急性输尿管结石症状、结石负担、已知泌尿系生殖道畸形和可疑结石症状等方面有明显的优势^[16]。但根据 Lam 等^[17]研究报道,CT 扫描仍存在一定辐射,尽管辐射量较低,但如果反复行 CT 检查,会导致一定的累积辐射暴露,特别是胱氨酸结石患儿,术后易复发。因此,小儿泌尿系结石患儿术后随访中,可优先考虑泌尿系彩超检查。

本研究的局限性在于为单中心研究,样本量有限。同时,结石成分类型按照单一结石成分分组,但并不包括一些罕见的单一结石成分类型(如黄嘌呤结石等)。另外,临床中部分患儿结石成分类型为混合性结石成分,对于此类结石成分的术前判断有待进一步研究。

综上所述,通过 CT HU 值测量,能为判定草酸钙结石和尿酸结石成分提供参考,结石核心 HU 值小于 566 时,提示尿酸结石;HUD 大于等于 48 时,提示草酸钙结石;胱氨酸结石成分和鸟粪石结石成分的进一步判断,需要参考尿 pH 值等参数。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 覃锋、何天衢、赵天望负责研究的设计、实施和起草文章;李创业、易婷、孙小文、刘畅、李艳芳、邹志敏进行病例数据收集和分析;赵天望、王智负责研究设计与酝酿,并对文章知识性内容进行审阅

参 考 文 献

- [1] Magni G, Unwin RJ, Mochhala SH. Renal tubular acidosis (RTA) and kidney stones: diagnosis and management [J]. Arch Esp Urol, 2021, 74(1): 123-128.
- [2] Kovacevic L. Diagnosis and management of nephrolithiasis in children [J]. Pediatr Clin North Am, 2022, 69(6): 1149-1164. DOI: 10.1016/j.pcl.2022.07.008.
- [3] 刘李, 彭柳成, 李创业, 等. 单中心 592 例儿童泌尿系结石成分分析 [J]. 中华泌尿外科杂志, 2022, 43(9): 701-706. DOI: 10.3760/cma.j.cn112330-20201125-00788. Liu L, Peng LC, Li CY, et al. Analysis of urinary calculi composition of 592 children at a single center [J]. Chin J Urol, 2022, 43(9): 701-706. DOI: 10.3760/cma.j.cn112330-20201125-00788.
- [4] Ye ZQ, Zeng GH, Yang H, et al. The status and characteristics of urinary stone composition in China [J]. BJU Int, 2020, 125(6): 801-809. DOI: 10.1111/bju.14765.
- [5] Rodríguez-Plata IT, Medina-Escobedo M, Basulto-Martínez M, et al. Implementation of a technique based on Hounsfield units and Hounsfield density to determine kidney stone composition [J]. Tomography, 2021, 7(4): 606-613. DOI: 10.3390/tomography7040051.
- [6] 舒露. CT 值在感染性结石中的初步研究及预警 [D]. 遵义: 遵义医科大学, 2020.
- [7] 邢雅霞. 能谱 CT 在体分析泌尿系结石成分与碎石难易程度的关系 [D]. 石河子: 石河子大学, 2017. Xing DX. Energy spectrum CT in vivo analysis of urinary calculi composition and its relationship with grinding difficulties [D]. Shihezi: Shihezi University, 2017.
- [8] Altan M, Çitmak B, Bozaci AC, et al. Predicting the stone composition of children preoperatively by Hounsfield unit detection on non-contrast computed tomography [J]. J Pediatr Urol, 2017, 13(5): 505.e1-505.e6. DOI: 10.1016/j.jpuro.2017.03.013.
- [9] Senocak C, Ozcan C, Sahin T, et al. Risk factors of infectious complications after flexible uretero-renaloscopy with laser lithotripsy [J]. Urol J, 2018, 15(4): 158-163. DOI: 10.22037/uj.v0i0.3967.
- [10] Schnabel MJ, Wagenlehner FME, Schneidewind L. Perioperative antibiotic prophylaxis for stone therapy [J]. Curr Opin Urol, 2019, 29(2): 89-95. DOI: 10.1097/MOU.0000000000000576.
- [11] Tekgül S, Stein R, Bogaert G, et al. European Association of Urology and European Society for Paediatric Urology guidelines on paediatric urinary stone disease [J]. Eur Urol Focus, 2022, 8(3): 833-839. DOI: 10.1016/j.euf.2021.05.006.
- [12] 赵天望, 李创业. 儿童遗传性肾结石的治疗进展 [J]. 临床小儿外科杂志, 2020, 19(8): 666-671. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2020.08.002. Zhao YW, Li CY. Recent advances in the treatment of hereditary nephrolithiasis in children [J]. J Clin Ped Sur, 2020, 19(8): 666-671. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6353.2020.08.002.
- [13] 杨斌, 汪道琦, 周元, 等. CT 和 AI 技术预测泌尿系结石成分的研究进展 [J]. 临床泌尿外科杂志, 2023, 38(2): 139-145. DOI: 10.13201/j.issn.1001-1420.2023.02.013. Yang B, Wang DQ, Zhou Y, et al. Research advances of CT and AI technology in predicting the composition of urinary calculi [J]. J Clin Urol, 2023, 38(2): 139-145. DOI: 10.13201/j.issn.1001-1420.2023.02.013.
- [14] Kachroo N, Jain R, Maskal S, et al. Can CT-based stone impaction markers augment the predictive ability of spontaneous stone passage? [J]. J Endourol, 2021, 35(4): 429-435. DOI: 10.1089/end.2020.0645.
- [15] Yu J, Zhou QC, Lin F, et al. Performance of dual-source CT in calculi component analysis: a systematic review and meta-analysis of 2151 calculi [J]. Can Assoc Radiol J, 2021, 72(4): 742-749. DOI: 10.1177/0846537120951992.
- [16] Zumstein V, Betschart P, Hechelhammer L, et al. CT-calculometry (CT-CM): advanced NCCT post-processing to investigate urinary calculi [J]. World J Urol, 2018, 36(1): 117-123. DOI: 10.1007/s00345-017-2092-7.
- [17] Lam JP, Alexander LF, William HE, et al. In vivo comparison of radiation exposure in third-generation vs second-generation dual-source dual-energy CT for imaging urinary calculi [J]. J Endourol, 2021, 35(11): 1581-1585. DOI: 10.1089/end.2021.0103. (收稿日期: 2023-04-17)

本文引用格式:覃锋, 何天衢, 赵天望, 等. CT HU 值判断小儿泌尿系结石成分的应用探讨 [J]. 临床小儿外科杂志, 2024, 23(1): 40-45. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202304043-008.

Citing this article as: Qin F, He TQ, Zhao YW, et al. Application of computed tomography Hounsfield unit in the determination of urinary stone composition in children [J]. J Clin Ped Sur, 2024, 23(1): 40-45. DOI: 10.3760/cma.j.cn101785-202304043-008.