

低管电压扫描技术在CT泪囊造影成像中的应用研究

朱蕾, 刘云福, 康天良, 张永县, 许庆刚, 王永哲, 牛延涛

引用本文:

朱蕾, 刘云福, 康天良, 等. 低管电压扫描技术在CT泪囊造影成像中的应用研究[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2021, 41(3): 212–216.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.03.010>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

人工智能图像优化技术在低剂量胸部CT检查中的初步应用研究

Impact of artificial intelligence imaging optimization technique on image quality of low-dose chest CT scan
中华放射医学与防护杂志. 2020, 40(9): 722–727 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2020.09.013>

基于不同体质量指数CT尿路成像辐射剂量控制

Radiation dose control for CT urography based on different body mass index
中华放射医学与防护杂志. 2020, 40(1): 64–70 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2020.01.012>

第三代双源CT低剂量扫描在新型冠状病毒肺炎筛查中的应用

Application of chest low-dose CT screening of Corona Virus Disease 2019 with a third-generation dual-source scanner
中华放射医学与防护杂志. 2020, 40(10): 783–788 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2020.10.009>

定位像扫描参数对胸部CT影像质量和辐射剂量影响的模体研究

The influence of scout scanning parameters on image quality and radiation dose of chest CT: a phantom study
中华放射医学与防护杂志. 2021, 41(3): 217–221 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.03.011>

基于第3代双源CT双低检查技术在肺栓塞成像的临床应用研究

Clinical study of pulmonary embolism CT imaging using the third generation dual-source CT with low tube voltage and low contrast dosage
中华放射医学与防护杂志. 2020, 40(9): 712–716 <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2020.09.011>

低管电压扫描技术在 CT 泪囊造影成像中的应用研究

朱蕾 刘云福 康天良 张永县 许庆刚 王永哲 牛延涛

首都医科大学附属北京同仁医院放射科 100730

通信作者: 牛延涛, Email: ytniu163@163.com

【摘要】 目的 探讨低管电压扫描方案在 CT 泪囊造影成像中的可行性。**方法** 采用拟人头颈部模体,将对比剂(碘海醇)与盐水 1:3 混合液置于模体鼻翼一侧模拟泪囊。分别采用 80、100、120 和 140 kV 对模体进行扫描,每种管电压选择相应的 mAs 使设备显示的容积 CT 剂量指数($CTDI_{vol}$)分别为 10、15、20、25、30、35 和 40 mGy。结合对每组图像的客观评价,以临床扫描参数 120 kV/180 mAs 的对比度噪声比(CNR)为基准,得出相同 CNR 时的最低剂量扫描参数 80 kV/240 mAs。前瞻性收集 2019 年 11 月至 2020 年 7 月来北京同仁医院收治的 62 例泪囊 CT 扫描患者,按随机数表法分为常规管电压组(120 kV/180 mAs)和低管电压组(80 kV/240 mAs),每组各 31 例。测量两组图像的 CT 均值、噪声(SD)及对比噪声比(CNR)作为图像质量客观评价指标,主观评价由两位高年资主治医师采用双盲法进行 5 分制评价。**结果** 模体研究中相同管电压下, $CTDI_{vol}$ 增加 CNR 也增加,两者呈正相关($r=0.985、0.965、0.971、0.972, P<0.05$);相同 CNR 下,管电压越低,辐射剂量越低;临床扫描参数 120 kV/180 mAs 的 CNR 为 27.8,而 80 kV 在相同 CNR 时对应的是 240 mAs;临床研究中常规管电压组和低管电压组的 $CTDI_{vol}$ 分别为 31.2 和 12.8 mGy,低管电压组较常规管电压组降低了约 59%。两组图像泪囊区 CT 值、眶内脂肪区 CT 值与噪声差异均有统计学意义($t=-3.476、2.601、-5.704, P<0.05$),两组图像的 CNR 差异无统计学意义($P>0.05$)。两名观察者间的一致性良好($Kappa>0.75$),两组图像主观评分差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 使用低管电压技术扫描可以获得满意的泪囊 CT 图像质量,同时有效降低辐射剂量。

【关键词】 CT 泪囊造影; 辐射剂量; 低管电压

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.03.010

Study of the application of low tube potential scanning in dacryocystography CT

Zhu Lei, Liu Yunfu, Kang Tianliang, Zhang Yongxian, Xu Qinggang, Wang Yongzhe, Niu Yantao

Department of Radiology, Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University, Beijing 100730, China

Corresponding author: Niu Yantao, Email: ytniu163@163.com

【Abstract】 Objective To investigate the feasibility of the application of low tube potential scanning in dacryocystography CT. **Methods** The mixture of iohexol and saline with the ration of 1:3 as the dacryocyst was set on the nose wing of the head-neck phantom. The phantom was scanned at 80, 100, 120, 140 kV with appropriate mAs to set the volume CT dose index ($CTDI_{vol}$) at 10, 15, 20, 25, 30, 35 or 40 mGy. All the images were objectively evaluated to find out the optimal scanning parameters of 80 kV/240 mAs with the same contrast-to-noise ratio (CNR) of conventional scanning condition of 120 kV/180 mAs. A total of 62 patients who conducted dacryocystography CT in Beijing Tongren Hospital from November 2019 to July 2020 were prospectively selected. They were randomly divided equally into conventional scanning group with 120 kV/180 mAs and low tube potential group with 80 kV/240 mAs. The CT number, noise (SD) and contrast-to-noise ratio (CNR) of the two groups were measured as the objective evaluation indicators of image quality. The subjective evaluation was performed by two senior radiologists using a double-blind method and a 5-scale system evaluation. **Results** For the phantom study, the CNR was positively correlated with $CTDI_{vol}$ under the same tube potential ($r=0.985, 0.965, 0.971, 0.972, P<0.05$). With the same CNR, the radiation dose decreased with lower tube potential. Under the conventional scanning parameters of 120 kV/180 mAs, the CNR was 27.8. At the same CNR, the optimal scanning parameters were 80 kV/240 mAs. For the clinical study, the $CTDI_{vol}$ of conventional scanning group and low tube potential group were 31.2 and 12.8 mGy respectively, 59% decreased in low tube

potential group. There were statistically significant differences in CT number of dacryocyst area, CT number of orbital fat area and noise between the two groups ($t = -3.476, 2.601, -5.704, P < 0.05$). There was no statistically significant difference in CNR between 2 groups ($P > 0.05$). Two observers had a good consistency ($Kappa > 0.75$). There was no statistically significant difference in subjective rating between 2 groups ($P > 0.05$). **Conclusions** Low tube potential scanning could obtain satisfactory image quality in dacryocystography CT at much lower radiation dose.

[Key words] Dacryocystography CT; Radiation dose; Low tube potential
DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2021.03.010

泪道疾病是眼科常见疾病之一，主要包括炎症、外伤、肿瘤及各种先天性发育异常等。CT 泪囊造影检查作为评估泪道解剖结构和病理改变的重要检查方法，在泪囊病变的诊治中发挥着重要价值^[1]。当前 CT 泪囊造影检查技术按照鼻窦非肿块性病变检查技术扫描^[2]，眼晶状体作为辐射敏感器官不可避免的要包含在扫描范围内。因此，在确保图像质量的前提下，如何有效降低辐射剂量，已经成为临床研究热点^[3]。目前，国内少见关于泪囊 CT 辐射剂量优化的相关报道。低 kV 扫描是降低 CT 辐射剂量的重要手段之一^[4]。本研究旨在应用低管电压技术对泪囊进行 CT 成像，探讨该方案对影像质量和辐射剂量的影响。

资料与方法

1. 实验材料及设备：头颈部拟人模体 711-HN (美国 CIRS 公司，图 1)，300 mgI/ml 碘海醇注射液 (北京北陆药业)，0.9% 氯化钠注射液，直径为 5 mm 的塑料软管。所有患者均在 uCT760 螺旋 CT 机 (中国联影公司) 上完成，图像在联影 uWS-CT 后处理工作站上进行测量与分析。

2. 模体研究

(1) 模体扫描：将碘海醇注射液 1 ml 与生理盐水以 1 : 3 比例混合后，注入直径 5 mm 的塑料软管，模拟泪囊置于头颈部模体鼻翼一侧。首先，采用临床常用的 120 kV/180 mAs 对模体进行扫描，然后分别采用 80、100、120 和 140 kV 对头颈部模体进行扫描，每组管电压进行 7 次扫描，每次扫描选择的 mAs 使设备显示的容积 CT 剂量指数 (CTDI_{vol}) 分别为 10、15、20、25、30、35 和



图 1 头颈部拟人模体 711-HN
Figure 1 Head-neck phantom 711-HN

40 mGy (表 1)，其他参数使用临床常用鼻窦 CT 扫描条件，螺距 0.775，旋转速度 0.8 s/圈，视野 180 mm × 180 mm，准直宽度 20 mm，重建矩阵 512 × 512，重建层厚 1 mm，层间隔 0.8 mm，骨算法重建核，窗宽/窗位 2 000/200 HU，扫描范围眼眶上缘至上颌骨下缘^[3]。记录每次扫描的 CTDI_{vol}，所有图像均传至工作站进行处理，并计算 CNR，以获得相同影像质量下的辐射剂量最低的优化扫描参数。

(2) 客观评价：在头颈部模体中鼻甲断面图像的塑料软管内和模体眶内固定位置处设定 10 mm² 的感兴趣区 (ROI)，测量 CT 均值和噪声 (SD)，见图 2。采用公式 1 计算对比噪声比 (CNR)^[5]：

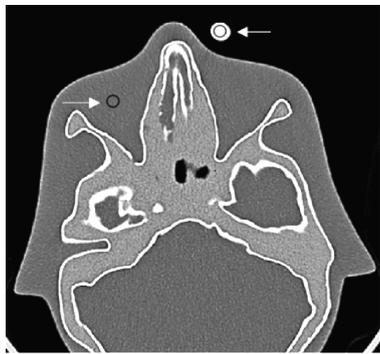
$$CNR = (CT_{\text{泪囊}} - CT_{\text{眶内脂肪}}) / SD_{\text{眶内脂肪}} \quad (1)$$

(3) 统计学处理：采用 SPSS 23.0 软件进行统计分析。CNR 与辐射剂量之间的关系采用 Pearson 相关分析， $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

表 1 头颈部模体 CT 扫描不同 kV 对应不同容积 CT 剂量指数的管电流 (mAs)

Table 1 Tube current of different kV corresponding to different volume CT dose index in head-neck phantom CT scanning (mAs)

管电压 (kV)	10 mGy	15 mGy	20 mGy	25 mGy	30 mGy	35 mGy	40 mGy
80	183	275	365	458	550	641	688
100	94	141	187	234	281	328	375
120	58	86	115	144	173	202	230
140	39	59	79	99	118	138	158



注：箭头所指为 10 mm² 的感兴趣区 (ROI)

图 2 头颈部模体横断面 CT 图像中模拟泪囊与眶内 ROI

Figure 2 ROI in orbital region and simulating dacryocyst in head-neck phantom axial view

3. 临床研究

(1) 一般资料：前瞻性收集 2019 年 11 月至 2020 年 7 月来北京同仁医院就诊、主诉溢泪、泪道冲洗证明其阻塞、临床诊断为慢性泪囊炎行 CT 泪囊造影检查的患者 62 例，年龄 29~81 岁。纳入标准：中鼻甲前端附着部起始平面的泪囊横径 ≥ 4 mm 并且显影均匀的泪囊腔患者。排除标准：①对碘对比剂过敏者。②妊娠和哺乳期妇女。③未满 18 岁儿童患者。④伴全身严重疾病及精神疾病、认知障碍患者。所有患者按随机数表法分为常规管电压组和低管电压组两组，每组 31 例，常规管电压组男性 5 例，女性 26 例，年龄平均 (50.93 \pm 14.45) 岁；低管电压组男性 4 例，女性 27 例，年龄平均 (52.51 \pm 13.23) 岁。两组患者年龄、性别差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。本研究经医院伦理委员会审定，所有患者签署了知情同意书。

(2) 扫描方法及参数：先对患者泪道进行冲洗清洁，向泪道内注入碘海醇 (300 mg/ml) 对比剂 1 ml。检查后再次进行泪道冲洗，去除泪道内残留的对比剂。常规管电压组为临床对照组，采用临床常用参数 120 kV/180 mAs，低管电压组扫描参数采用第一步模体实验结果得出的低剂量扫描参数 80 kV/240 mAs。其他扫描参数同模体实验。

(3) 图像处理及分析：对所获得图像进行轴位和冠状位重组，层厚 2 mm，层间隔 2 mm，轴位重组基线平行于听眶下线，冠状位重组基线垂直于硬腭^[2]。

客观评价：对所有横断面图像选取中鼻甲前端附着处起始部分平面进行测量，此层面位于泪囊中下部分，泪囊在此平面显示最大横切面，在泪囊区域与眶内脂肪区域设定 10 mm² 的 ROI，测

量 CT 均值和 SD，并用公式 1 计算 CNR。

主观评价：上述两组图像分别隐藏扫描参数和信息后，由两位高年资主治医师采用双盲法对 CT 图像质量进行评价，评分标准^[6]：1 分为解剖结构及病灶模糊，不能诊断；2 分为解剖结构及病灶显示不清楚，细节不足以被发现；3 分为解剖结构及病灶基本可以满足诊断；4 分为解剖结构和细节及病灶较清楚，能够评价；5 分为解剖细节及病灶清晰，能够简单明了地评价。其中 5 分图像质量最好，其余图像质量依次降低。图像质量评分达 3 分以上均能满足诊断要求，即不影响病灶的观察和诊断。

(4) 统计学处理：采用 SPSS 23.0 软件进行统计分析。数据采用 $\bar{x}\pm s$ 表示。计量资料的比较经正态性检验符合正态分布，对两组所测泪囊区 CT 值、眶内脂肪 CT 值、眶内脂肪噪声 CT 值、CNR 的结果比较采用独立样本 t 检验，主观评价指标采用秩和检验。主观评价两名观察者间的一致性采用 Kappa 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 模体研究

(1) 管电压下 CNR 与 CTDI_{vol} 的关系：4 组管电压 80、100、120、140 kV 下 CNR 与 CTDI_{vol} 两者呈正相关 ($r=0.985$ 、 0.965 、 0.971 、 0.972 ， $P<0.05$)。相同管电压时，CNR 随着 CTDI_{vol} 的增加而增加；相同 CNR 时，辐射剂量随着管电压的降低而降低。

(2) 低管电压组扫描参数的确定：使用临床扫描参数 120 kV/180 mAs 所得图像的 CNR 为 27.8，CTDI_{vol} 为 31.2 mGy；80 kV 在相同的 CNR 时其对应的有效管电流量为 240 mAs，CTDI_{vol} 为 12.8 mGy。

2. 临床研究

(1) 客观评价：常规管电压组和低管电压组图像泪囊区 CT 值、眶内脂肪区 CT 值与眶内脂肪区噪声值差异均有统计学意义 ($t=-3.476$ 、 2.601 、 -5.704 ， $P<0.05$)，低管电压组的脂肪区 CT 值低于常规管电压组，泪囊区 CT 值和脂肪区噪声均高于常规管电压组；两组图像的 CNR 值差异无统计学意义 ($P>0.05$)，见表 2。

(2) 主观评价：两名评价者间的一致性良好 ($Kappa>0.75$)，两组的图像质量评分全部 ≥ 3 分，均能满足诊断要求，常规管电压组和低管电压组

表 2 临床研究两组慢性泪囊炎患者 CT 图像质量客观评价比较 ($\bar{x}\pm s$)Table 2 Comparison of objective evaluation of CT image quality between two groups of patients with chronic dacryocystitis in clinical research ($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	泪囊区 CT 值 (HU)	脂肪区 CT 值 (HU)	脂肪区噪声 (HU)	CNR
常规管电压组	31	4 708.75±2 138.74	-112.19±22.39	65.11±19.85	78.27±34.99
低管电压组	31	7 253.41±3 546.86	-132.81±38.84	95.39±22.52	81.77±43.17
<i>t</i> 值		-3.476	2.601	-5.704	-0.356
<i>P</i> 值		0.001	0.012	0.000	0.251

注: CNR. 对比噪声比

图像主观评分为 4.87 ± 0.38 和 4.83 ± 0.41 , 差异无统计学意义 ($P>0.05$), 两组的 CT 泪囊造影检查图像见图 3。



注: 箭头所指为右眼泪囊显影

图 3 慢性泪囊炎患者不同管电压的 CT 泪囊造影图像

A. 常规管电压; B. 低管电压

Figure 3 Dacryocystography CT images of two patients with chronic dacryocystitis under different tube potential A. Conventional group; B. Low tube potential group

讨 论

低 kV 扫描是降低 CT 辐射剂量的重要手段之一^[4], 在临床中已经广泛应用。如何在保持图像质量一致的前提下确定低 kV 的扫描参数少见文献报道。本研究先利用模体实验, 以使用临床扫描参数的模体图像质量作为基准, 进而确定低 kV 的扫描参数, 然后将低 kV 扫描参数应用于临床, 验证与常规扫描参数图像质量的一致性。

降低辐射剂量会引起噪声的增加, 作为评价图像质量的 CNR, 增加对比度可以抵消噪声的增加, 使得图像质量保持一致性。管电压决定 X 射线的能量, 能量越低, 物质的 X 射线衰减系数越高, 组织对比越强, 对比度增加。在 CT 泪囊造影成像中, 观察的重点是对比剂与周围组织的对比, 而低 kV 却可以增加对比剂与周围组织的对比, 因此在进行 CT 泪囊造影检查时使用低 kV 降低辐射剂量成为可能。

目前, CT 低剂量扫描技术的策略主要包括增大螺距、降低管电流或管电压以及引入降噪重建技术等^[7]。本研究采用降低管电压的方法降低辐

射剂量, 相比于其他线性降辐射方法 (如降低管电流等), 扫描时使用较低管电压降低辐射剂量的幅度要大^[4], 且能保持图像质量的一致性。

本研究根据对照组临床常规扫描条件的 CNR 为标准, 获得与之相同图像质量的低剂量实验组的扫描条件, 使受检者的辐射剂量降低了约 59%, 与以往研究结果基本相符^[8], 低于非正常低辐射剂量水平^[9], 两组图像客观评分 CNR 无差异。但是, 由于泪囊造影 CT 检查过程中盐水冲洗与泪液分泌等因素影响, 每个人对药物稀释程度不同, 导致临床实验中两组客观测量的 CT 值与 CNR 的标准差差异很大。在图像质量主观评分中, 虽然常规管电压组图像总分高于低管电压组图像, 但两组图像评分无明显差异, 均达到诊断要求, 认为实验组完全满足临床需求。

本研究存在局限性: ①未将软组织窗纳入比较, 这主要是由于临床 CT 泪囊造影检查主要用于观察邻近骨解剖与术前相关规划^[10], 软组织窗使用不多, 但对于泪囊肿物等特殊患者应加入软组织窗共同评价。②临床操作中注入对比剂为原液, 注药前先用盐水对泪道进行冲洗, 注射对比剂时会有泪液混合, 对比剂会有不同比例的稀释, 为贴合临床操作, 也为避免由于对比剂原液浓度过高导致的线束硬化伪影与晕状伪影对实验测量结果造成影响, 故将模体实验设计对比剂与盐水 1:3 比例进行稀释。本研究未在满足诊断的基础上对碘对比剂的稀释程度进行对比研究, 需要在进一步的研究中加以补充。③根据以往临床研究: 中鼻甲前端附着部起始部位平面位于泪囊中下部分, 泪囊在此平面显示最大横切面, 以此平面进行对比, 临床按以下标准对泪囊进行分类: 横径 < 2 mm 为小泪囊腔, 2~5 mm 为中泪囊腔, >5 mm 者为大泪囊腔^[11]。慢性泪囊炎泪囊横径为 5.485 ± 1.519 , 大于正常眼泪囊横径 4.137 ± 1.264 ^[12]。所以本临床实验只选取此平面泪囊横径 ≥ 4 mm 的患者作为研究对象进行测量分析。④本研究只针对成人进

行研究, 儿童的低剂量扫描还有待进一步研究。

综上所述, 低管电压扫描技术在泪囊 CT 造影成像中可以显著降低受检者辐射剂量, 同时满足诊断需求, 适合在临床实践中使用。

利益冲突 所有作者排名无争议, 作者间无利益冲突, 作者的工作伙伴不存在影响研究结果的财务关系, 在此对研究的独立性和科学性予以保证

志谢 本研究受北航-首医大数据精准医疗高精尖创新中心同仁分中心开放基金 (BHTR-KFJJ-202007); 北京市医院管理中心“登峰”计划专项经费 (DFL20190203); 北京市医管局临床医学发展专项 (扬帆计划) (ZYLX201704) 资助

作者贡献声明 朱蕾参与实验设计, 研究实施、数据整理分析和论文撰写; 刘云福负责提出选题并监督实验进行和论文修改, 康天良协助数据统计分析, 许庆刚和王永哲负责图像质量评价; 张永县和牛延涛指导论文修改

参 考 文 献

- [1] Chen Z, Wang J. Diagnostic capability and radiation dose of cone beam CT dacryocystography in different scanning fields of view in healthy volunteers [J]. *Radiol Med*, 2021, 126 (1): 47-54. DOI: 10.1007/s11547-020-01227-6.
- [2] 中华医学会放射学分会头颈学组, 中华医学会影像技术分会辐射防护学组. 头颈部 CT 检查和辐射剂量管理专家共识 [J]. *中华放射学杂志*, 2020, 54 (9): 827-838. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20200424-00608.
Head and Neck Group of Chinese Society of Radiology Chinese Medical Association, Radiation Protection Group Of Chinese Society of Imaging Technology Chinese Medical Association. Expert consensus on head and neck CT examination and radiation dose management [J]. *Chin J Radiol*, 2020, 54 (9): 827-838. DOI: 10.3760/cma.j.cn112149-20200424-00608.
- [3] 贺新, 刘宁. 眼眶 CT 扫描应用第二代双源 CT 低管电压配合 SAFIRE 重建技术的价值分析 [J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2019, 17 (7): 32-34. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2019.07.010.
He X, Liu N. Value of second-generation dual-source CT low voltage and SAFIRE reconstruction technique in orbital CT scanning [J]. 2019, 17 (7): 32-34. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2019.07.010.
- [4] 夏俊, 邓琦, 罗泽斌. 低管电压扫描技术联合低浓度对比剂在肾动脉 CTA 中的研究应用 [J]. *中国临床医学影像杂志*, 2014, 25 (8): 570-573, 586. DOI: 10.3969/j.issn.1008-1062.2014.08.012.
Xia J, Deng Q, Luo ZB. Low dose scanning technology combined with low concentration contrast agent in the renal artery CTA: a preliminary study [J]. *J Chin Clin Med Imaging*, 2014, 25 (8): 570-573, 586. DOI: 10.3969/j.issn.

- 1008-1062.2014.08.012.
- [5] 赵冬青, 杜凡, 王志中, 等. 眼眶能谱 CT 低剂量扫描的参数优化 [J]. *医疗卫生装备*, 2016, 37 (3): 93-96. DOI: 10.7687/j.issn.1003-8868.2016.03.093.
Zhao DQ, Du F, Wang ZZ, et al. Low-dose scanning parameters optimization for orbital gem energy spectrum CT [J]. *Chin Med Equip J*, 2016, 37 (3): 93-96. DOI: 10.7687/j.issn.1003-8868.2016.03.093.
- [6] 曾宪春, 张俊, 韩丹, 等. 多层螺旋 CT 眼眶扫描参数优化的离体标本实验研究 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2013, 21 (7): 497-500. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2013.005.
Zeng XC, Zhang J, Han D, et al. *In vitro* specimen study for parameter optimization of multislice spiral CT orbital scanning [J]. *Chin J Med Imaging*, 2013, 21 (7): 497-500. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2013.005.
- [7] Zhang X, Li S, Liu W, et al. Double-low protocol for hepatic dynamic CT scan: effect of low tube voltage and low-dose iodine contrast agent on image quality [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95 (26): e4004. DOI: 10.1097/MD.0000000000004004.
- [8] Masuda T, Funama Y, Kiguchi M, et al. Radiation dose reduction based on CNR index with low-tube voltage scan for pediatric CT scan: experimental study using anthropomorphic phantoms [J]. *Springerplus*, 2016, 5 (1): 2064. DOI: 10.1186/s40064-016-3715-y.
- [9] 牛延涛, 张永县, 康天良, 等. 成年人 CT 扫描中辐射剂量和诊断参考水平的探讨 [J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2016, 36 (11): 862-867. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.11.013.
Niu YT, Zhang YX, Kang TL, et al. Investigation of radiation dose and diagnostic reference levels in CT scanning for adult patients [J]. *Chin J Radiol Med Prot*, 2016, 36 (11): 862-867. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-5098.2016.11.013.
- [10] Singh S, Ali MJ, Paulsen F. Dacryocystography: from theory to current practice [J]. *Ann Anat*, 2019, 224: 33-40. DOI: 10.1016/j.aanat.2019.03.009.
- [11] 王婷婷, 潘业耀, 周慧, 等. CT 泪囊造影及其临床应用 [J]. *中国眼耳鼻喉科杂志*, 2005, 5 (3): 160-161. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2420.2005.03.010.
Wang TT, Pan YY, Zhou H. Computed tomographic dacryocystography and its clinical use [J]. *Chin J Ophthalmol Otorhinolaryngol*, 2005, 5 (3): 160-161. DOI: 10.3969/j.issn.1671-2420.2005.03.010.
- [12] 孙华, 许思思, 李勇, 等. 碘海醇注射液在 CT 泪道造影中的应用研究 [J]. *中国耳鼻咽喉头颈外科*, 2020, 27 (2): 76-78. DOI: 10.16066/j-1672-7002.2020.02.005.
Sun H, Xu SS, Li Y, et al. Application of inhexol in CT-dacryocystography [J]. *Chin Arch Otolaryngol Head Neck Surgery*, 2020, 27 (2): 76-78. DOI: 10.16066/j-1672-7002.2020.02.005.