

✧ 心脏、血管影像学

Transluminar contrast attenuation gradient and modified transluminar contrast attenuation gradient corrected coronary opacification in grading diagnosis of coronary artery stenosis

KAN Xiaojing, GE Yinghui*, LIU Xiaojing, ZHANG Jiliang,
XIE Ruigang, WANG Pengming

(Department of Radiology, Henan Provincial People's Hospital, Henan University
People's Hospital, Zhengzhou 450003, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the value of transluminar contrast attenuation gradient (TAG) and modified TAG-corrected coronary opacification (MTAG-CCO) in the grading of coronary artery stenosis. **Methods** CCTA data of 133 patients (302 stenosis vessels) with coronary artery stenosis (stenosis group) and 53 patients (130 vessels) without coronary artery stenosis (control group) were analyzed retrospectively. Vessels in stenosis group were divided into 5 subgroups: Subgroup 1, diameter stenosis (DS) < 25%; subgroup 2, 25% ≤ DS < 49%; subgroup 3, 49% ≤ DS < 69%; subgroup 4, 69% ≤ DS < 99%; subgroup 5, DS ≥ 99%. TAG and MTAG-CCO values were measured and compared, respectively. **Results** TAG of stenosis group ($-[18.20 \pm 7.42]$ HU/10 mm) was lower than that of control group ($-[12.39 \pm 4.40]$ HU/10 mm; $Z = 9.389.00$, $P < 0.001$), and MTAG-CCO of stenosis group ($-[0.027 \pm 0.011]/10$ mm) was lower than that of control group ($-[0.014 \pm 0.005]/10$ mm; $Z = 4.555.50$, $P < 0.001$). TAG and MTAG-CCO values in subgroups of stenosis group were significantly different compared with those in control group (all $P < 0.05$). TAG value of subgroup 1 and 2 was higher than that of subgroup 4 and 5 (all $P < 0.05$). MTAG-CCO value of subgroup 1 and 2 was higher than that of subgroup 3, 4 and 5, while of subgroup 3 was higher than that of subgroup 5 (all $P < 0.05$). However, there was no significant difference of TAG nor MTAG-CCO values among other subgroups (all $P > 0.05$). **Conclusion** TAG and MTAG-CCO are helpful to grading of coronary artery stenosis.

[Key words] Coronary stenosis; Tomography, X-ray computed

DOI:10.13929/j.1003-3289.201712097

管腔内对比度衰减梯度和改良校正的管腔内对比度衰减梯度分级诊断冠状动脉狭窄

阚晓婧, 葛英辉*, 刘霄静, 张继良, 谢瑞刚, 王鹏铭
(河南省人民医院 河南大学人民医院影像科, 河南 郑州 450003)

[摘要] **目的** 观察管腔内对比度衰减梯度(TAG)和改良校正的管腔内对比度衰减梯度(MTAG-CCO)分级诊断冠状动脉狭窄的价值。**方法** 回顾性分析 133 例(302 支狭窄血管)冠状动脉狭窄患者(狭窄组)和 53 例(130 支血管)无冠状动脉狭窄患者(对照组)的冠状动脉 CTA(CCTA)资料。对狭窄组行冠状动脉造影,并将其分为 5 个亚组:1 级亚组,狭窄

[基金项目] 河南省医学科技攻关项目(201702160)、河南省科技厅立项(172102310520)。

[第一作者] 阚晓婧(1981—),女,河南洛阳人,博士,主治医师。研究方向:心胸、血管影像学。E-mail: 15890089993@163.com

[通信作者] 葛英辉,河南省人民医院 河南大学人民医院影像科,450003。E-mail: cjr.geyinghui@vip.163.com

[收稿日期] 2017-12-18 **[修回日期]** 2018-05-23

程度 $<25\%$;2级亚组, $25\%\leq$ 狭窄程度 $<49\%$;3级亚组, $49\%\leq$ 狭窄程度 $<69\%$;4级亚组, $69\%\leq$ 狭窄程度 $<99\%$;5级亚组,狭窄程度 $\geq 99\%$ 。测量并比较组间及亚组间 TAG、MTAG-CCO 值。结果 狭窄组 TAG 值 $[-(18.20\pm 7.42)\text{HU}/10\text{ mm}]$ 低于对照组 $[-(12.39\pm 4.40)\text{HU}/10\text{ mm}; Z=9.389.00, P<0.001]$, MTAG-CCO 值 $[-(0.027\pm 0.011)/10\text{ mm}]$ 亦低于对照组 $[-(0.014\pm 0.005)/10\text{ mm}; Z=4.555.50, P<0.001]$ 。狭窄组各亚组 TAG 及 MTAG-CCO 值与对照组比较差异均有统计学意义(P 均 <0.05)。1级、2级亚组 TAG 值高于4级、5级亚组(P 均 <0.05)。1级、2级亚组 MTAG-CCO 值高于3级、4级、5级亚组,3级亚组 MTAG-CCO 值高于5级亚组(P 均 <0.05),其余亚组间 TAG 及 MTAG-CCO 值差异均无统计学意义(P 均 >0.05)。结论 TAG 及 MTAG-CCO 均有助于分级诊断冠状动脉狭窄。

[关键词] 冠状动脉狭窄;体层摄影术,X线计算机

[中图分类号] R543.3; R814.42 [文献标识码] A [文章编号] 1003-3289(2018)08-1182-05

冠状动脉狭窄程度为是否需要临床干预的主要依据^[1]。冠状动脉 CTA (coronary CTA, CCTA) 诊断冠状动脉狭窄的敏感度和特异度均高于“金标准”冠状动脉造影 (invasive coronary angiography, ICA)^[2-3],但受限于空间分辨率低及各种伪影,不能准确反映解剖学意义上的冠状动脉狭窄分级。CT 管腔内对比度衰减梯度 (transluminal contrast attenuation gradient, TAG) 以及 TAG-校正的管腔内对比度 (TAG-corrected coronary opacification, TAG-CCO) 都是基于 CCTA 探讨冠状动脉解剖学狭窄分级的新方法^[4],TAG 是指截面管腔内某点的对比度 (HU) 与从冠状动脉起始处到该点的距离之间的梯度;TAG-CCO 是截面管腔内某点的对比度 (HU) 与同层面校正血管 (降主动脉) 的比值,由此可进一步计算与从冠状动脉起始处到该点的距离之间的线性回归系数。本研究探讨 TAG 及改良 TAG-CCO (modified TAG-CCO, MTAG-CCO) 对冠状动脉狭窄分级的诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2015 年 12 月—2017 年 1 月于我院接受 CCTA、ICA 检查并证实为冠状动脉狭窄的 133 例患者 (狭窄组),男 92 例,女 41 例,年龄 36~81 岁,平均 (51.4 ± 11.1) 岁。纳入标准:①拟诊或确诊冠状动脉粥样硬化性心脏病,并接受 CCTA、ICA 检查,2 种检查时间间隔在 1 周内;② CCTA 图像清晰,无明显错层和伪影。排除标准:①冠状动脉主要分支变异或发育异常;②冠状动脉主要分支存在纵深型心肌桥;③同层面校正血管存在病变 (不包含主动脉轻度狭窄);④既往心脏手术史 (含心包手术)。收集同期 53 例无冠状动脉硬化性心脏病表现,于我院接受 CCTA 检查且无冠状动脉狭窄的患者为对照组,男 36 例,女 17 例,年龄 35~68 岁,平均 (49.2 ± 8.8) 岁。排除标准:①心电图检查结果为阳性;②冠状动脉主要分支变异或发育异常;③既往心脏手术史 (含心包手术)。

1.2 仪器与方法 所有患者 CT 检查前均未服用硝

酸甘油。采用 Siemens Somatom Definition Flash 双源 CT 机,对于心率超过 90 次/分者控制心率后再行检查。嘱患者仰卧,先获得胸部屏气定位像,扫描范围为气管杈下方 1 cm 至心脏膈面。随后行 CCTA 扫描,采用双筒高压注射器以 4.5~5.0 ml/s 流率注射 370 mgI/ml 碘对比剂 60~70 ml,再以同等流率追加生理盐水 40 ml。采用前瞻性或回顾性心电门控扫描,管电压 120 kV,管电流 380~420 mA,探测器准直 128 $\times$ 0.6 mm,球管转速 0.28 s/rot,螺距与心率自动匹配 (0.2~0.43),扫描时间 4~8 s,层厚 3 mm,层间隔 3 mm。应用对比剂示踪法启动扫描,在主动脉根部层面选择 ROI,监测 CT 值,触发阈值为 90 HU。

在 Siemens Syngo. via 图像工作站处理所有原始数据。采用单扇区重建,有效重建层厚 0.75 mm,重建间隔 0.5 mm,矩阵 512 $\times$ 512,选择最佳时相进行重建。将二次重建后的成像数据输入 GE AW 4.5 工作站,以 Volume Viewer-Cardiac 软件进行后处理及测量。

1.3 TAG 及 TAG-CCO 测量 由 2 名高年资医师共同选择 ROI,避开严重钙化区域,意见不一时请上级医师指导后再次测量达成一致。

1.3.1 TAG 测量 ①使用 Auto Coronary Analysis 程序获得血管分析 (vessel analysis, VA) 图像;②从每支冠状动脉分支起始处至远端血管截面积 $<2.0\text{ mm}^2$ 处,每间隔 5 mm 在血管截面上以血管中轴为中心勾画 ROI,记录 ROI 内平均 CT 值 (图 1),以线性回归模型确定 TAG,单位“HU/10 mm”。

1.3.2 MTAG-CCO 测量 基于 TAG 原理,测量每个 TAG 点同层面改良校正血管的平均 CT 值 (图 1):左前降支 (left anterior descending branch, LAD)、左回旋支 (left circumflex branch, LCX) 的改良校正血管为升主动脉+右冠状动脉 (right coronary artery, RCA),RCA 改良校正血管为升主动脉+降主动脉。改良的校正冠状动脉管腔内对比度 (modified

corrected coronary opacification, MOCO)=冠状动脉平均 CT 值/同层面校正血管(血管组合)平均 CT 值。以线性回归模型确定 MTAG-CCO, 单位为“/10 mm”。

1.4 ICA 检查 采用 Philips Integriss Allura FD10 (1250 mA)型心血管造影机,常规右侧股动脉或桡动脉入路,分别进行选择性左、右冠状动脉造影。由 2 名心内科医师根据文献[5]方法,采用 ICA 图像分析评估冠状动脉狭窄程度。

1.5 分组 根据 ICA 结果将狭窄组分为 5 个亚组^[5]。1 级亚组:狭窄程度<25%;2 级亚组:25%≤狭窄程度<49%;3 级亚组:49%≤狭窄程度<69%;4 级亚组:69%≤狭窄程度<99%;5 级亚组:狭窄程度≥99%(血管闭塞)。单支血管多处狭窄时,以管腔最重狭窄程度入组。记录狭窄所在冠状动脉分支(LAD、LCX 或 RCA)。

1.6 统计学分析 采用 SPSS 22.0 统计分析软件,对数据进行正态分析(Kolmogorov-Smirnov 检验)和方差齐性(Levene 检验)检验,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,对正态分布者采用两独立样本 *t* 检验,对非正态分布者采用 Mann-Whitney *U* 检验比较 2 组间 TAG 及 MTAG-CCO 值差异;以 Kruskal-wallis 检验比较狭窄组各亚组与对照组 TAG 及 MTAG-CCO 值差异,两两比较采用多重比较(自助比较不同组间分布)方法。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 狭窄组 133 例患者共 302 支狭窄血管,其中 LAD 102 支(102/302, 33.77%),LCX 99 支(99/302, 32.78%),RCA 101 支(101/302, 33.44%);1~5 级亚组分别有 58 支(58/302, 19.21%)、62 支(62/302, 20.53%)、69 支(69/302, 22.85%)、65 支(65/302, 21.52%)和 48 支(48/302, 15.89%)血管,见表 1。

表 1 狭窄组各亚组狭窄血管分布情况[%(支)]

亚组	LAD	LCX	RCA
1 级亚组(<i>n</i> =58)	36.21(21/58)	25.86(15/58)	37.93(22/58)
2 级亚组(<i>n</i> =62)	27.42(17/62)	35.48(22/62)	37.10(23/62)
3 级亚组(<i>n</i> =69)	30.43(21/69)	37.68(26/69)	31.88(22/69)
4 级亚组(<i>n</i> =65)	35.38(23/65)	38.46(25/65)	26.15(17/65)
5 级亚组(<i>n</i> =48)	41.67(20/48)	22.92(11/48)	35.42(17/48)

2.2 TAG、MTAG-CCO 值比较 狭窄组 TAG 值 $[-(18.20 \pm 7.42) \text{ HU}/10 \text{ mm}]$ 低于对照组 $[-(12.39 \pm 4.40) \text{ HU}/10 \text{ mm}; Z = 9.389.00, P < 0.001]$,MTAG-CCO 值 $[-(0.027 \pm 0.011)/10 \text{ mm}]$

亦低于对照组 $[-(0.014 \pm 0.005)/10 \text{ mm}; Z = 4.555.50, P < 0.001]$ 。狭窄组各亚组 TAG 及 MTAG-CCO 值与对照组比较差异均有统计学意义(P 均 <0.05);亚组间两两比较:1 级、2 级亚组 TAG 值高于 4 级、5 级亚组(P 均 <0.05),1 级、2 级亚组 MTAG-CCO 值高于 3 级、4 级、5 级亚组,3 级亚组 MTAG-CCO 值高于 5 级亚组(P 均 <0.05),其余亚组间 TAG 及 MTAG-CCO 值差异均无统计学意义(P 均 >0.05);见表 2、图 2。

表 2 2 组 TAG 及 MTAG-CCO 值比较($\bar{x} \pm s$)

组别	TAG(HU/10 mm)	MTAG-CCO(/10 mm)
狭窄组		
1 级亚组	-16.02 ± 7.33	-0.019 ± 0.007
2 级亚组	-16.21 ± 6.06	-0.022 ± 0.008
3 级亚组	-17.72 ± 7.26	$-0.030 \pm 0.015^{* \#}$
4 级亚组	$-19.72 \pm 7.35^{* \#}$	$-0.033 \pm 0.011^{* \#}$
5 级亚组	$-22.04 \pm 7.79^{* \#}$	$-0.037 \pm 0.009^{* \# \Delta}$
对照组	-12.39 ± 4.40	-0.014 ± 0.005
H 值	88.17	227.12
P 值	<0.0001	<0.0001

注: *: 与 1 级亚组相比, $P < 0.05$; #: 与 2 级亚组相比, $P < 0.05$; Δ: 与 3 级亚组相比, $P < 0.05$

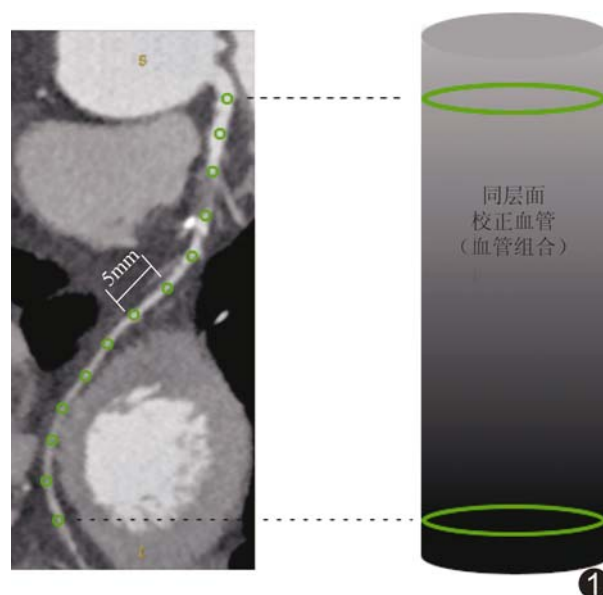


图 1 TAG 及 MTAG-CCO 测量选点示意图

3 讨论

CCTA 诊断冠状动脉狭窄程度的准确率较高,但仍有 $<25\%$ 的患者与 ICA 不一致^[5],部分患者由于心律不齐或其他原因可致 CCTA 错误评价冠状动脉狭窄分级。Steigner 等^[4]发现截面管腔内对比度(HU)与该截面与冠状动脉起始处距离之间存在梯度,且狭

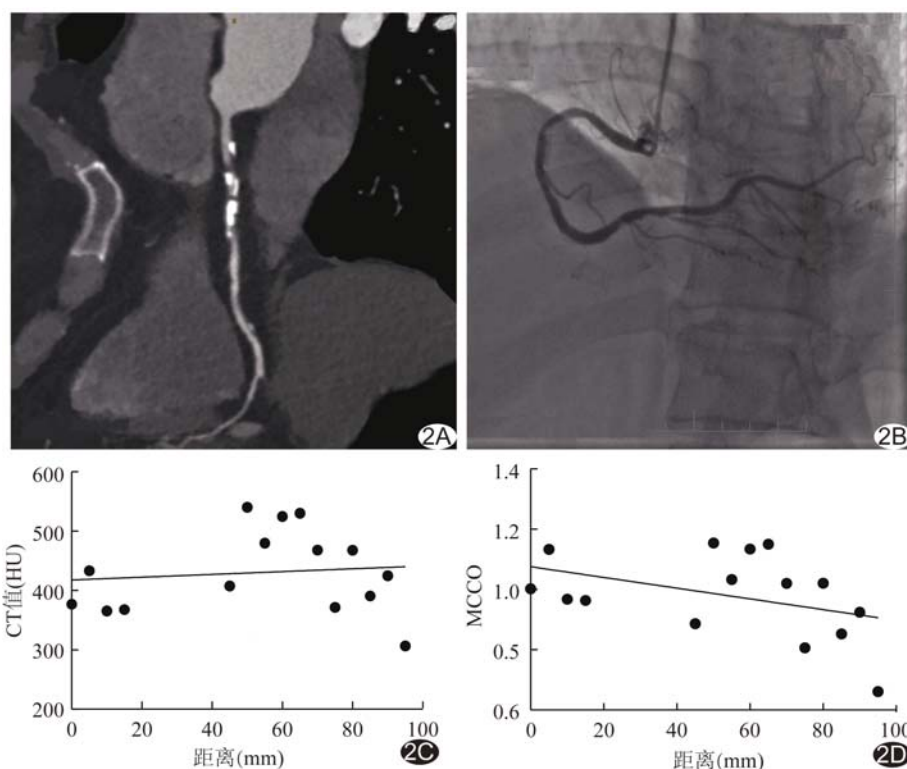


图2 TAG和MTAG-CCO评价冠状动脉狭窄分级 A、B. CCTA(A)和ICA(B)显示RCA管壁钙斑形成,管腔狭窄(狭窄程度为87%); C、D. 该支RCA的TAG和MTAG-CCO值分别为2.35 HU/10 mm和-0.018/10 mm

窄与正常冠状动脉的梯度差异显著,表现为狭窄的冠状动脉管腔内对比度随距离增加而降低,从而形成负梯度;但由于CCTA扫描时相的差异性,TAG结果可能存在偏倚,需要校正以获得更加准确的梯度。既往研究^[6-7]发现TAG及TAG-CCO有助于冠状动脉狭窄程度分级。本研究分析TAG-CCO改良LAD、LCX和RCA的校正血管,以期获得更为优化的结果。

本研究中,狭窄组133例患者共302支狭窄血管,其中LAD 102支,在5级亚组中较多;LCX 99支,RCA 101支。狭窄组中TAG和MTAG-CCO值随血管狭窄严重程度的增加而减小,与既往研究^[6,8]结果一致。正常情况下TAG和MTAG-CCO均呈负梯度(图2C),其可能原因如下:TAG的影响因素较多,包括时相差异性^[9-11]、对比剂剂量、冠状动脉的管径^[12]等,可导致TAG测量不准确;而MTAG-CCO通过改良可校正该趋势,使正梯度成为负梯度(图2D)。狭窄组各亚组间两两比较,1级与2级亚组、3级与4级亚组、4级与5级亚组间TAG及MTAG-CCO值差异均

无统计学意义,且1级与3级、2级与3级TAG值差异亦均无统计学意义(P 均 >0.05);可能原因是TAG及MTAG-CCO难以鉴别血流动力学相近的狭窄病变^[13]。

本研究的局限性:样本量较小,结果可能存在偏倚;今后将联合其他技术^[14-16]对MTAG-CCO进行多中心、大样本观察。

[参考文献]

- [1] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组,中国医师协会心血管内科医师分会血栓防治专业委员会,中华心血管病杂志编辑委员会. 中国经皮冠状动脉介入治疗指南(2016). 中华心血管病杂志, 2016, 44(5):382-400.
- [2] 王怡宁,金征宇,孔令燕,等. 64层螺旋CT冠状动脉成像初步研究. 中华放射学杂志, 2006, 40(8):797-801.
- [3] 王怡宁,金征宇,孔令燕,等. 64层与16层螺旋CT冠状动脉成像比较. 中国医学科学院学报, 2006, 28(1):26-31.
- [4] Steigner ML, Mitsouras D, Whitmore AG, et al. Iodinated contrast opacification gradients in normal coronary arteries imaged with prospectively ECG-gated single heart beat 320-detector row computed tomography. Circ Cardiovasc Imaging, 2010, 3(2):179-186.
- [5] Leipsic J, Abbara S, Achenbach S, et al. SCCT guidelines for the interpretation and reporting of coronary CT angiography: A report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2014, 8(5):342-358.
- [6] Choi JH, Koo BK, Yoon YE, et al. Diagnostic performance of intracoronary gradient-based methods by coronary computed tomography angiography for the evaluation of physiologically significant coronary artery stenoses: A validation study with fractional flow reserve. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2012, 13(12):1001-1007.
- [7] Stuijzand WJ, Danad I, Rajmakers PG, et al. Additional value of transluminal attenuation gradient in CT angiography to predict hemodynamic significance of coronary artery stenosis. JACC Cardiovasc Imaging, 2014, 7(4):374-386.
- [8] Choi JH, Min JK, Labounty TM, et al. Intracoronary transluminal attenuation gradient in coronary CT angiography for determining coronary artery stenosis. JACC Cardiovasc Imaging,

- 2011,4(11):1149-1157.
- [9] Chow BJ, Kass M, Gagné O, et al. Can differences in corrected coronary opacification measured with computed tomography predict resting coronary artery flow? J Am Coll Cardiol, 2011,57(11):1280-1288.
- [10] Kim HJ, Kim SM, Choi JH, et al. Influence of scan technique on intracoronary transluminal attenuation gradient in coronary CT angiography using 128-slice dual source CT: Multi-beat versus one-beat scan. Int J Cardiovasc Imaging, 2017,33(6):937-946.
- [11] Wong DT, Ko BS, Cameron JD, et al. Transluminal attenuation gradient in coronary computed tomography angiography is a novel noninvasive approach to the identification of functionally significant coronary artery stenosis a comparison with fractional flow reserve. J Am Coll Cardiol, 2013,61(12):1271-1279.
- [12] Park EA, Lee W, Park SJ, et al. Influence of coronary artery diameter on intracoronary transluminal attenuation gradient during CT angiography. JACC Cardiovasc Imaging, 2016,9(9):1074-1083.
- [13] Wei J, Berman DS, Li D. Coronary plaque burden regression and high-risk plaque reversal: Potential biomarkers for secondary prevention? Trends Cardiovasc Med, 2016,26(2):162-164.
- [14] 彭玲,朱芳,邓重信,等.斑点追踪技术评估冠状动脉心脏病患者冠状动脉狭窄程度.中国医学影像技术,2018,34(3):354-357.
- [15] 马跃,侯阳,李东玉,等.建立及评价适于血流储备分数 CT 成像模拟的小型猪慢性冠状动脉狭窄模型.中国医学影像技术,2018,34(2):166-170.
- [16] 赵莹莹,黄朴忠,李焱,等.经胸冠状动脉超声血流动力学参数评价冠状动脉狭窄程度.中国医学影像技术,2015,31(8):1194-1197.

《中国医学影像技术》杂志 2019 年征订启事

《中国医学影像技术》杂志于 1985 年创刊,是由中国科学院主管,中国科学院声学研究所主办的国家级学术期刊。刊号:ISSN 1003-3289,CN 11-1881/R。曾获百种中国杰出学术期刊,现为中国精品科技期刊、中国科技核心期刊、中国科学引文数据库核心期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、荷兰《医学文摘》收录源期刊、英国《科学文摘》收录源期刊、俄罗斯《文摘杂志》收录源期刊、WHO《西太平洋区医学索引》(WPRIM)来源期刊、《日本科学技术振兴机构中国文献数据库》(JSTChina)收录期刊。

《中国医学影像技术》杂志是临床医学影像学与影像医学工程及理论研究相结合的综合性学术期刊,刊登放射、超声、核医学、介入治疗、影像技术学、医学物理与工程学等方面的基础研究及临床实验研究的最新成果。以论文质量优、刊载信息量大、发刊周期短为其特色,是我国影像医学研究探索和学术交流的良好平台。

《中国医学影像技术》为月刊,160 页,大 16 开本,彩色印刷。单价 26 元,全年定价 312 元。订户可随时向当地邮局订阅,邮发代号 82-509;亦可向编辑部直接订阅,免邮寄费(欢迎通过银行转账,附言栏请注明订阅杂志名称)。

联系电话:010-82547903 传真:010-82547903

E-mail:cjmit@mail.ioa.ac.cn 网址:www.cjmit.com

编辑部地址:北京市海淀区北四环西路 21 号大猷楼 502 室 邮编:100190

银行账户名:《中国医学影像技术》期刊社 账号:110907929010201

开户行:招商银行北京分行清华园支行 联系人:田苗

