

Impact of pre-settled adaptive statistical iterative reconstruction Veo on radiation dose and image quality of chest CT scanning: Chest model and clinical study

YAN Lihui, CHEN Fei, YAO Lizheng*, LI Xin

(Department of Radiology, Affiliated Yancheng Hospital of Southeast University Medical College, Yancheng 224001, China)

[Abstract] **Objective** To explore the impact of pre-settled generation adaptive statistical iterative reconstruction Veo (ASiR-V) on chest CT radiation dose and image quality. **Methods** The chest model and 120 patients (divided into 6 groups, each $n=20$) were scanned by GE Revolution CT under the condition of pre-settled ASiR-V weights for 0, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% respectively. The tube voltage was 120 kV, the tube current was automated mAs (Smart mA10-500) technology, the noise index was 11. The dose-length product of each chest model group and patients group were record, the effective dose (ED) of each group was calculated and compared. The image quality among groups through combining the objective CT and standard deviation (SD) values of different organizations (lung tissue, the soft tissue near by spine, the aorta and vertebral body) in chest model and the image subjective rating of patients were compared, and the subjective score of patients' images was also compared among groups. **Results** With the increase of pre-settled ASiR-V, the ED of chest model and patients reduced as a logarithmic fitting, there are no obvious changes of the CT value and image noise SD value of different organizations in model. The subjective score of mediastinal and pulmonary window was begin to decline at 40% weighted ASiR-V. The subjective score of mediastinal and pulmonary window descend obviously at 60% weighted ASiR-V compare to 40% ($P<0.05$). ED of pre-settled 40% weighted ASiR-V reduced to 57.21% compared to that of 0 weighted ASiR-V. **Conclusion** The pre-settled ASiR-V can reduce the radiation dose, and does not affect the objective image quality at the same time. The pre-settled 40% weighted ASiR-V has the highest clinical application value due to the radiation dose can be obviously reduced with ensuring the image quality, which can meet the demand of diagnosis.

[Key words] Chest; Tomography, X-ray computed; Adaptive statistical iterative reconstruction Veo; Radiation dose; Image quality

DOI:10.13929/j.1003-3289.201611063

前置自适应统计迭代重建技术对胸部 CT 辐射剂量和图像质量的影响:体模与临床研究

颜利辉, 陈 飞, 姚立正*, 李 新

(东南大学医学院附属盐城医院影像科, 江苏 盐城 224001)

[摘 要] **目的** 探讨前置基于多模型的自适应统计迭代重建(ASiR-V)技术对胸部 CT 辐射剂量和图像质量的影响。**方法** 采用 GE Revolution CT 对胸部仿真体模和 120 例胸部 CT 平扫患者(分为 6 组, 每组 20 例)分别设定前置 ASiR-V 权重为 0、20%、40%、60%、80%、100% 进行扫描。管电压 120 kV, 管电流采用自动毫安(Smart mA 10-500)技术, 噪声指

[第一作者] 颜利辉(1976—), 女, 江苏盐城人, 硕士, 副主任医师。研究方向: 胸部影像诊断。E-mail: 1061077693@qq.com

[通信作者] 姚立正, 东南大学医学院附属盐城医院影像科, 224001。E-mail: ycsyylz@163.com

[收稿日期] 2016-11-10 **[修回日期]** 2017-01-15

数设为 11。记录胸部体模及各组患者扫描的剂量长度乘积,计算并比较各组有效剂量(ED)。以胸部体模不同组织结构(肺组织、脊柱旁软组织、主动脉和椎体)的 CT 值和标准差(SD)作为客观指标,结合对各组患者的图像主观评分,比较图像质量的组间差异。**结果** 随着前置 ASiR-V 权重的增加,体模及患者的 ED 均呈对数降低,体模不同组织 CT 值、图像噪声均未见明显改变。ASiR-V 权重为 40% 时纵隔窗和肺窗的主观评分开始下降;60% 时纵隔窗和肺窗图像主观评分相对 40% 时出现明显下降($P < 0.05$)。ASiR-V 权重为 40%, ED 降至 ASiR-V 权重为 0 时的 57.21%。**结论** 前置 ASiR-V 可以降低辐射剂量,同时又不影响图像客观指标;前置 ASiR-V 权重为 40% 时,图像仍可保证临床诊断需求,且辐射剂量明显降低,临床应用价值最高。

[关键词] 胸部;体层摄影术,X 线计算机;基于多模型的自适应统计迭代重建;辐射剂量;图像质量

[中图分类号] R814.2;R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2017)03-0468-05

辐射剂量和图像质量是临床 CT 检查中最为关注的两个重点,如何在保证图像质量的基础上尽可能减少辐射剂量,成为目前研究^[1-3]的热点。其中最主要和普遍应用的一种方法是在扫描时采用低辐射剂量的扫描条件,并在重建图像时利用迭代重建技术对图像质量进行补偿。迭代重建是目前 CT 图像重建的最主要算法之一^[4],用于图像后处理,可降低图像噪声。基于多模型的自适应统计迭代重建(adaptive statistical iterative reconstruction Veo, ASiR-V)技术^[5]可在扫描前(前置)通过设置不同的权重,达到不同的效果。本研究基于仿真胸部体模的客观数据结合临床患者图像的主观评分,探讨前置 ASiR-V 技术对胸部 CT 辐射剂量和图像质量的影响。

1 材料与方 法

1.1 一般资料 体模组:仿真男性胸部体模(Multi-purpose Chest Phantom N1 “LUNGMAN”, Kyoto Kagaku, Tokyo, Japan),该体模双臂上举,与胸部 CT 扫描患者体位保持一致,其仿真软组织及骨骼的 X 线衰减性能与人体组织等效。患者组:收集 2016 年 5 月—2016 年 7 月我院接受胸部 CT 平扫的患者 120 例,其中男 68 例,女 52 例,年龄 22~85 岁,平均(51.1±18.3)岁,体质量指数(body mass index, BMI)22.8~24.5 kg/m²,随机分为 6 组,每组 20 例,各组 BMI 差异无统计学意义。本研究获得我院伦理委员会批准,患者均知情同意。

1.2 仪器与方法 采用 GE Revolution CT 256 排、16 cm 宽体 CT 探测器,在预设噪声指数(NI)为 11 的条件下分别对仿真体模和患者进行扫描。扫描参数:管电压 120 kV,管电流采用自动毫安秒(Smart mA10-500)技术,扫描范围由胸廓入口至膈肌水平。对于体模,分别设定前置 ASiR-V 权重为 0、20%、40%、60%、80%、100% 进行 6 次扫描。对于患者,每组分别设定前置 ASiR-V 权重为 0、20%、40%、60%、80%、100%。记录各组扫描的剂量长度乘积并计算有

效剂量(effective dose, ED), $ED = DLP \times W$,其中 $W = 0.017^{[2]}$,单位为 mSv。

1.3 图像评价 包括客观评价和主观评分;由 2 名影像科高年资医师共同商讨决定。

1.3.1 客观评价 在胸部体模 CT 轴位图像上肺区(胸锁关节层面)、中肺区(气管分叉层面)及下肺区(左下肺静脉层面)各取一幅图像,见图 1。分别选取肺组织、脊柱旁软组织、主动脉和椎体放置 ROI(圆形,大小 100~120 mm²)。记录各 ROI 的 CT 值和 SD 值(图像噪声),各组织的 CT 值和 SD 值取 3 层的平均值。

1.3.2 主观评价 采用 GE AW 4.6 后处理工作站。对各组患者图像采用随机排序方式并隐藏扫描参数及相关患者信息。图像分别以肺窗(窗宽 1 000 HU,窗位 -600 HU)和纵隔窗(窗宽 350 HU,窗位 50 HU)显示。主观评价主要内容包括肺窗所显示的支气管血管束,纵隔窗所显示的纵隔及胸壁结构的对比度、清晰度及噪声。以此分别对肺窗和纵隔窗图像质量进行评分^[6]:1 分为图像质量差(噪声大,伪影重,组织结构显示不清),完全不能用于临床诊断;2 分为图像质量较差(噪声较大,组织结构显示欠清),不能完全达到诊断要求;3 分为图像质量中等(噪声较小,组织结构显示尚清),基本达到临床诊断要求;4 分为图像质量良好(噪声小,组织结构显示较清楚)可以达到临床诊断要求;5 分为图像质量优(噪声极小,组织结构显示清晰),完全满足临床诊断要求。 ≥ 3 分为图像可用于临床诊断。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 20.0 统计分析软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,计数资料以中位数(四分位数)[$M(Q1, Q3)$]表示。对 ED、CT 值及 SD 值随 ASiR-V 权重变化而改变的规律采用线性或曲线拟合,以 R^2 值作为统计量。对图像主观评分比较采用 Mann-Whitney U 秩和检验,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

随前置 ASiR-V 权重的增加,体模和患者 ED 均

表 1 前置 ASiR-V 技术不同权重下各组织的 CT 值、SD 值($\bar{x} \pm s$)

ASiR-V 权重	肺组织		脊柱旁软组织		主动脉		椎体	
	CT 值(HU)	SD 值	CT 值(HU)	SD 值	CT 值(HU)	SD 值	CT 值(HU)	SD 值
0	-988.03±5.04	36.83±2.35	-2.27±0.46	9.40±0.72	32.87±2.51	7.87±1.83	354.80±6.35	12.17±2.25
20%	-985.37±3.01	37.70±2.10	-1.37±0.76	8.20±0.95	32.57±0.49	7.13±1.17	357.63±4.35	12.67±1.95
40%	-986.07±2.07	38.60±1.15	-1.67±0.39	7.83±0.95	32.83±1.27	7.67±1.45	359.83±1.76	12.33±2.87
60%	-983.03±0.67	38.47±1.17	-0.20±0.61	8.60±0.62	33.93±1.84	6.40±0.72	361.60±1.22	12.13±2.39
80%	-983.83±2.76	37.27±3.12	0.03±0.29	8.40±1.50	34.07±0.91	6.47±0.67	361.13±1.70	11.70±2.47
100%	-982.57±0.55	37.80±1.73	-0.17±0.26	6.90±1.25	31.97±1.21	6.50±1.11	358.53±2.99	11.27±2.84

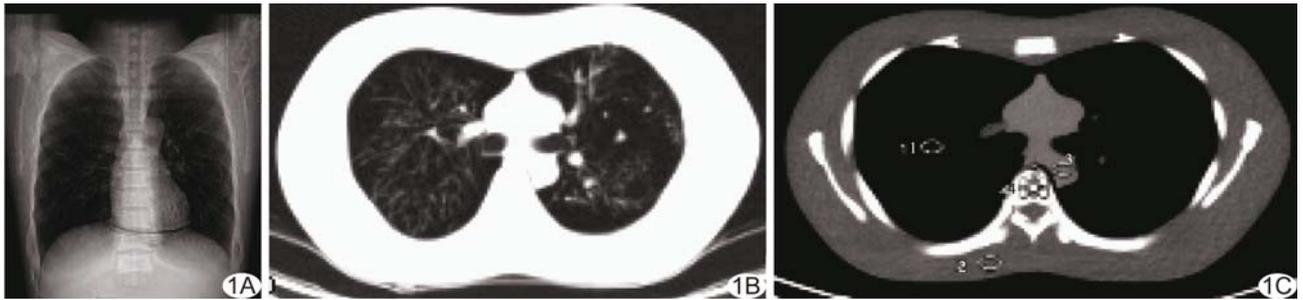


图 1 体模成像 A. 标准胸部体模定位片; B. 胸部体模气管分叉处肺窗; C. 胸部体模气管分叉处纵隔窗。ROI 位点: ①肺组织, ②脊柱旁软组织, ③主动脉, ④椎体

呈对数降低。曲线拟合模型: 体模, $Y = -1.5804 \ln(X) + 2.9646 (R^2 = 0.9955)$; 患者: $Y = -3.0455 \ln(X) + 6.6461 (R^2 = 0.978)$, 见图 2。

随着前置 ASiR-V 权重的增加, 于体模测得的不同组织 CT 值、图像噪声均未见明显改变, 见表 1。

前置 ASiR-V 不同权重时图像主观评分见表 2、3 和图 3。40% 权重时纵隔窗和肺窗的主观评分开始下降, 但与 0、20% 权重时差异无统计学意义。60% 权重时纵隔窗和肺窗图像主观评分相对 40% 权重明显下降 (P 均 < 0.05)。以 ≥ 3 分表示图像可用于临床诊断, 纵隔窗图像在 ASiR-V 权重为 40% 之前, 肺窗图像在 ASiR-V 权重为 80% 之前, 所有患者图像主观评分均 ≥ 3 分。ASiR-V 权重为 40% 和 80% 时, ED 分别降至 ASiR-V 权重为 0 时的 57.21% 和 21.97%。

表 2 纵隔窗和肺窗前置 ASiR-V 不同权重时患者图像的主观评分比较 [$M(Q1, Q3)$]

ASiR-V	0	20%	40%	60%	80%	100%
纵隔窗	5(5,5)	5(5,5)	5(5,5)	3(3,4)	3(3,3)	3(2,3)
Z 值	-	-	-2.082	-4.844	-0.797	-1.975
P 值	-	-	0.289	< 0.001	0.495	0.091
肺窗	5(5,5)	5(5,5)	5(5,5)	4(4,5)	4(3,4)	3(2,3,25)
Z 值	-	-	-1.778	-2.930	-2.340	-2.990
P 值	-	-	0.429	0.012	0.030	0.004

注: 统计值均为与上一相邻权重时比较

表 3 前置 ASiR-V 不同权重时患者图像的主观评分(例)

ASiR-V 权重	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分
0					
纵隔窗	0	0	0	0	20
肺窗	0	0	0	0	20
20%					
纵隔窗	0	0	0	0	20
肺窗	0	0	0	0	20
40%					
纵隔窗	0	0	0	4	16
肺窗	0	0	0	3	17
60%					
纵隔窗	0	3	11	4	2
肺窗	0	0	1	11	8
80%					
纵隔窗	0	3	14	2	1
肺窗	0	0	8	8	4
100%					
纵隔窗	2	6	11	1	0
肺窗	0	6	9	5	0

3 讨论

因辐射损伤与致癌风险相关, 且近年来胸部 CT 检查在临床运用中的大幅增加, 导致 CT 检查中的辐射剂量成为临床关注的热点^[1-3,7-9]。通常胸部 CT 检查常采用降低管电压、管电流等方法, 在一定程度上降低辐射剂量, 但往往导致图像质量下降, 噪声增加^[10]。

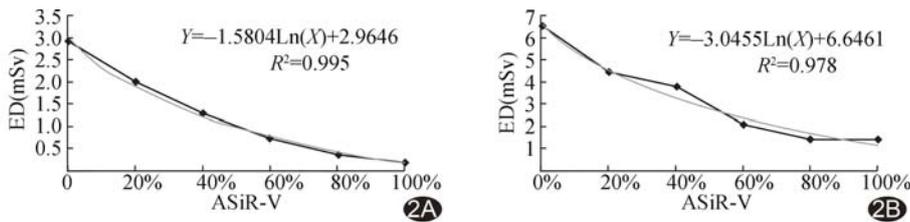


图 2 随着前置 ASiR-V 权重增加,体模(A)和患者(B)ED呈对数下降

因此,如何在保证图像质量的基础上有效降低辐射剂量是目前研究的热点。研究^[11]表明,迭代重建技术可在维持图像质量的基础上有效的降低辐射剂量。ASiR-V 是一种新的迭代重建算法^[5]。以往的迭代重建技术只能应用于扫描后的图像后重建,而 ASiR-V 则可在扫描前就设定权重,以达到降低剂量的效果。本研究采用 ASiR-V 技术在不同权重的情况下,对仿真胸部体模和患者分别进行前置扫描,探讨 ASiR-V 对胸部 CT 辐射剂量和图像质量的影响;另外结合临床患者图像的主观评分,探讨 ASiR-V 在临床中的应用价值。

本研究在胸部扫描中,发现随着前置 ASiR-V 权重的增加,体模和患者 ED 均呈对数降低,同时体模肺组织、脊柱旁软组织、主动脉和椎体的 CT 值以及图像噪声均未见明显改变。提示前置 ASiR-V 技术权重的

增加,并不会影响图像质量,却可以有效降低辐射剂量。然而,ASiR-V 权重并非越高越好,研究^[5-6]表明 ASiR-V 权重增加到一定程度后,纵隔窗图像出现蜡像状伪影,肺内细小解剖结构显示欠佳,结构边缘(如血管壁和支气管)产生台阶样伪影,减弱组织

结构界面的对比,出现模糊效应,主观评分下降。本研究对 120 例患者随机进行不同权重前置 ASiR-V 技术的扫描,发现随着 ASiR-V 权重增加,40%权重时纵隔窗和肺窗的主观评分开始下降,但与权重为 0、20% 比较差异均无统计学意义。60%权重时纵隔窗和肺窗图像主观评分相对 40%权重出现明显下降(P 均 < 0.05),且 ASiR-V 权重为 40%,ED 降至 ASiR-V 权重

综上所述,前置 ASiR-V 可以降低辐射剂量,但不影响图像质量;前置 ASiR-V 权重为 40%时,临床应用价值最高。为 0 时的 57.21%。提示临床在综合考虑辐射剂量与图像质量的情况下,ASiR-V 权重为 40%最为合适。另外,主观评分 ≥ 3 分表示图像可用于临床诊断,纵隔窗图像在 ASiR-V 权重为 40%之前,肺窗图像在 ASiR-V 权重为 80%之前,所有病例图像主观评分均 ≥ 3 分;虽然肺窗 ASiR-V 权重为 60%

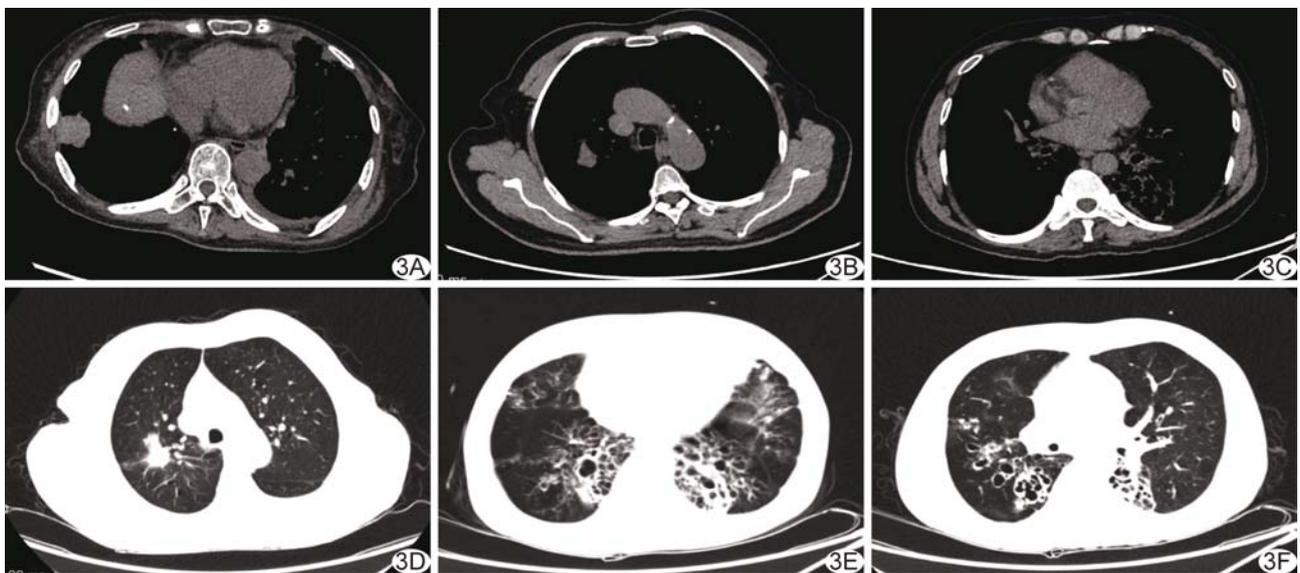


图 3 不同权重时的图像 A~C. ASiR-V 权重为 40%、60%、80%的纵隔窗图像;图 A 示纵隔淋巴结结构清晰,脊柱旁肌组织显示清楚;肺结节病灶内细微结构显示清楚,肺癌周边分叶及组织内结构、与胸膜之间关系能清楚显示;图 B 示右上肺病灶内部结构砂砾样钙化显示欠佳;图 C 示支气管扩张蜂窝样改变,但已出现蜡条样伪影;D~F. ASiR-V 权重为 60%、80%、80%(层厚 1.25 mm 重建)的肺窗图像;图 D 对结节病灶短小毛刺及肺内微结节显示清楚;图 E 肺窗囊柱支气管扩张及周围结构显示能进行临床诊断,对细微结构显示欠佳;图 F 图像细微结构显示清楚(层厚 1.25 mm 重建)

和 80% 时的主观评分与低权重时差异有统计学意义, 但由于肺组织的天然高对比, 80% 权重之前的图像主观评分均可基本满足诊断要求。此时 ASiR-V 权重为 80% 时, ED 可降至 ASiR-V 权重为 0 时的 21.97%。因此, 本研究认为, 体检患者或疑似肺疾病进行筛查的患者(重点看肺窗图像), 可提高 ASiR-V 权重到 80%, 以尽可能降低辐射剂量; 如需观察炎症内部细微结构或结节样病灶周围毛刺等征象时可通过薄层重建进行补充。

[参考文献]

- [1] Macri F, Greffier J, Pereira F, et al. Value of ultra-low-dose chest CT with iterative reconstruction for selected emergency room patients with acute dyspnea. *Eur J Radiol*, 2016, 85(9): 1637-1644.
- [2] 王杰, 曾勇明, 彭刚, 等. SAFIRE 重建算法对胸部 CT 图像质量和辐射剂量的影响. *中国医学影像技术*, 2013, 29(11): 1896-1900.
- [3] Akai H, Kiryu S, Shibata E, et al. Reducing CT radiation exposure with organ effective modulation: A retrospective clinical study. *Eur J Radiol*, 2016, 85(9): 1569-1573.
- [4] Ohno Y, Yaguchi A, Okazaki T, et al. Comparative evaluation of newly developed model-based and commercially available hybrid-type iterative reconstruction methods and filter back projection method in terms of accuracy of computer-aided volumetry (CADv) for low-dose CT protocols in phantom study. *Eur J Radiol*, 2016, 85(8): 1375-1382.
- [5] 张卓璐, 刘卓, 綦维维, 等. 基于多模型的迭代重建算法在胸部低剂量 CT 筛查中的应用. *中国介入影像与治疗学*, 2015, 12(11): 691-695.
- [6] 王艳, 史大鹏, 朱绍成, 等. 比较以自适应性统计迭代重建技术和滤过反投影重建的低剂量腹部 CT 的图像质量. *中国医学影像技术*, 2012, 28(10): 1902-1905.
- [7] Schäfer ML, Lüdemann L, Böning G, et al. Radiation dose reduction in CT with adaptive statistical iterative reconstruction (ASiR) for patients with bronchial carcinoma and intrapulmonary metastases. *Clin Radiol*, 2016, 71(5): 442-449.
- [8] Arns A, Blessing M, Fleckenstein J, et al. Towards clinical implementation of ultrafast combined kV-MV CBCT for IGRT of lung cancer: Evaluation of registration accuracy based on phantom study. *Strahlenther Onkol*, 2016, 192(5): 312-321.
- [9] 肖慧娟, 侯平, 刘杰, 等. 低剂量 CT 胸部扫描最佳噪声指数及适应迭代重建权重的选择分析. *中华医学杂志*, 2015, 95(37): 3041-3044.
- [10] 孙记航, 彭芸, 张祺丰, 等. 儿童低剂量胸部 CT 中自适应迭代重建权重最佳阈值的初步研究. *临床放射学杂志*, 2014, 33(4): 604-608.
- [11] Wenz H, Maros ME, Meyer M, et al. Intra-individual diagnostic image quality and organ-specific-radiation dose comparison between spiral cCT with iterative image reconstruction and z-axis automated tube current modulation and sequential cCT. *Eur J Radiol Open*, 2016, 26(3): 182-190.

关键词

关键词又称主题词, 是位于摘要之后, 在论文中起关键作用的、最能说明问题的、代表论文特征的名词或词组。它通常来自于题目, 也可以从论文中挑选。一般每篇论文要求 2~5 个关键词。每个关键词都可以作为检索论文的信息, 若选择不当, 会影响他人的检索效果。医学上现在主要使用美国《医学索引》(Index Medicus) 的医学主题词表 (Medical Subject Headings, MeSH) 最新版作为规范, 亦可参考中国医学科学院情报研究所翻译地英汉对照《医学主题词注释字顺表》。非主题词表的关键词为自由词, 只有必要时, 才可排列于最后。有些新词也可选用几个直接相关的主题词进行搭配。