

论著·临床研究 doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2021.20.014

网络首发 <https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1097.R.20210713.1346.011.html>(2021-07-13)

肺肿瘤性磨玻璃结节平均 CT 值测量相关技术的影响因素研究^{*}

刘 强¹, 娄 豪¹, 陈德一¹, 王 鸿¹, 郁仁强², 邓国沛¹, 曾勇明^{1△}
(1. 重庆宏仁一医院放射科 408400; 2. 重庆医科大学附属第一医院放射科 400016)

[摘要] **目的** 分析 CT 扫描剂量、重建算法、层面选择及胸部不同位置对纯磨玻璃肺结节(pGGN)平均 CT 值测量偏差度的影响,评价影响肺肿瘤性磨玻璃结节(GGN)平均 CT 值测量的因素。**方法** 选用 CT 值为 -650 HU 的不同直径球形模拟肺 pGGN,应用东芝(佳能)64 排螺旋 CT,设置 4 种剂量等级自动管电流调制技术扫描,3 种三维权重自适应迭代重建剂量降低(AIDR-3D)算法重建,测量 1 mm 薄层图像肺结节平均 CT 值,计算偏差度。**结果** 低剂量模式扫描时,小于 10 mm 的球形 pGGN 平均 CT 值的偏差度较大。3 种 AIDR 算法重建下,相同直径球形 pGGN 平均 CT 值偏差度差异较小;pGGN 直径越小,球形 pGGN 平均 CT 值偏差度越大。在球形 pGGN 中心层面测量 CT 值,平均 CT 值的偏差度最小;偏离中心层面越远,偏差度越大。胸部 3 个位置的 pGGN 平均 CT 值偏差度均不同,肺实质内平均 CT 值偏差度最小。**结论** 除重建算法,CT 扫描剂量、测量层面选择及结节所在胸部位置对于 pGGN 平均 CT 值测量的精准度均可造成影响。

[关键词] 磨玻璃结节;体模;CT 值;体层 X 线术;X 线计算机

[中图法分类号] R814.42 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2021)20-3482-05

Experimental study on the related technical factors influencing the average CT value measurement of lung neoplastic ground glass nodule^{*}

LIU Qiang¹, LOU Hao¹, CHEN Deyi¹, WANG Hong¹, YU Renqiang²,
DENG Guopei¹, ZENG Yongming^{1△}

(1. Department of Radiology, Chongqing HongRen Yi Hospital, Chongqing 408400, China; 2. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China)

[Abstract] **Objective** To analyze the influence of CT scanning dose, reconstruction algorithm, layer selection and the position of the nodule in lung on the measurement deviation of pure ground glass nodules (pGGN) average CT value, and to evaluate the influence factors for the measurement of the average CT value of lung neoplastic ground glass nodules (GGN). **Methods** Simulated pulmonary pGGN with -650 HU of CT value with different diameters (12 mm, 10 mm, 8 mm and 5 mm, respectively) were selected. Toshiba (Canon) 64-slice spiral CT was applied. Four kinds of automatic tube current modulation techniques (High quality, Quality, Standard and Low dose) were set for scanning, and three kinds of 3D-weight adaptive iterative reconstruction dose reduction (AIDR 3D) algorithm were reconstructed, and the average CT value of lung nodules was measured in 1 mm thin layer image on the workstation, and the deviation degree was calculated. **Results** The average CT value of pGGN less than 10 mm (5 mm and 8 mm) has a greater deviation degree during low-dose scanning. Under the reconstruction of three kinds of AIDR 3D algorithms, the deviation degree of the average CT value of pGGN with the same diameter was small. The smaller the diameter of pGGN, the greater the deviation degree of the average CT value of pGGN. When the CT value was measured at the central layer of pGGN, the deviation degree of the average CT value was the lowest, and the farther away from the central layer, the greater the deviation degree of the average CT value of pGGN. The deviation degree of average CT value of pGGN in the three pulmonary locations was different, and the deviation degree of average

^{*} 基金项目:重庆市南川区科技计划项目(Cx202016)。 作者简介:刘强(1986—),本科,主治医师,主要从事胸部 CT 成像及影像诊断研究。 [△] 通信作者, E-mail:2079931780@qq.com。

CT value of pGGN in the lung parenchyma was the lowest. **Conclusion** Except for reconstruction algorithm, CT scanning dose, layer selection and different pulmonary location of pGGN can influenc the measurement accuracy of the average CT value. The above problems should be paid attention to in the follow-up measurement of the average CT value of lung neoplastic GGN.

[Key words] ground glass nodules;body model;CT value;tomography;X-ray computed

磨玻璃结节(ground-glass nodule,GGN)是胸部CT中较为常见的征象,表现为密度稍高的类球形云絮状阴影,并能显示其中的血管和气管影。GGN是一种非特异性的影像学表现,可代表肿瘤、炎症或间质性疾病引起的肺泡或肺间质变化。根据是否含有实性成分,GGN可分为纯磨玻璃结节(pure ground-glass nodule, pGGN)和混合磨玻璃结节(mixed ground-glass nodule, mGGN)。CT定量分析对肺部肿瘤性GGN病理侵袭性有预测作用^[1]。肺GGN CT值测量在早期肺癌诊断中具有重要意义^[2]。应用平均CT值测量病灶密度,可间接反映病灶内病理改变,并辅助做出精准亚型判断。平均CT值测量可应用于肺肿瘤性GGN的定性诊断,特别是小于1 cm的GGN^[3]。但肺肿瘤性GGN的平均CT值测量的影响因素研究报道较少。本研究基于胸部仿真体模和pGGN模型实验,分析评估CT扫描剂量、重建算法、测量层面选择及结节在胸部不同位置诸多因素对pGGN平均CT值测量的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

实验对象为日本公司生产的“Lungman N1”型男性胸部体模,大小约43 cm×40 cm×48 cm,胸围约94 cm,重量约18 kg,包括仿真的胸壁、横膈膜、纵隔、心脏、肺及肺血管,均与实际人体组织的衰减性相同,胸腔内的肺血管之间的空间内包含空气。该体模双臂向上举起,体位与患者实际扫描时一致,见图1。模拟pGGN的球形表面光滑,将4种不同直径(5、8、10、12 mm)标称CT值为-650 HU的球形结节(后文统称球形pGGN)分别置入双肺不同叶段的肺实质内、胸膜下和纵隔旁,见图2。



图1 Lungman N1 型仿真体模躯干及肺血管、纵隔等结构

1.2 方法

1.2.1 图像采集与重建

使用东芝(佳能)64排CT对仿真体模进行扫描,

管电压120 kV,螺距0.993 mm,矩阵768×768,层厚及间隔5 mm,扫描时间0.5 s/r,准直0.5×64.0。采用自动管电流调制技术,按照设备预制的由高到低的4个辐射剂量等级(High quality、Quality、Standard、Low dose)进行扫描,记录剂量长度乘积(DLP)值。图像重建层厚1 mm,层间距1 mm。低剂量(Low dose)组采用三维权重自适应迭代剂量降低(adaptive iterative dose reduction three dimensional, AIDR 3D)算法,按照设备预制的由重到轻的3个AIDR 3D权重(Strong、Standard、Mild)重建图像。

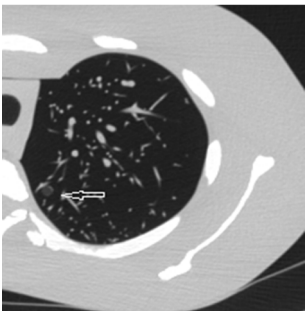


图2 -650 Hu的8 mm pGGN在仿真体模中显示(箭头所指)

1.2.2 实验分组及CT值测量

本实验分4个步骤进行。第一步:分析CT扫描剂量对pGGN平均CT值测量的影响。在标准AIDR 3D(Standard)重建模式下,4种自动管电流调制分别扫描仿真体模,选择球形pGGN中心层面的薄层图像,对pGGN进行CT值测量。第二步:分析AIDR 3D重建算法对球形pGGN平均CT值测量的影响。选择低剂量组自动管电流调制模式扫描仿真体模,进行3个权重等级的AIDR 3D重建,在薄层图像上球形pGGN中心层面测量CT值。第三步:分析选择不同层面对球形pGGN平均CT值测量的影响。选择直径为10 mm的球形pGGN,将1 mm薄层图像分为中心层面、偏离中心层面1 mm、偏离中心层面2 mm、偏离中心层面3 mm的层面,分别测量CT值。第四步:分析球形pGGN在胸廓不同位置对其平均CT值测量的影响。选择在肺实质内、胸膜下和纵隔旁放置直径为10 mm的球形pGGN,测量其中心层面的CT值。每组实验所有待测量球形pGGN均勾画60%结节面积的圆形感兴趣区,CT值测量3次,计算平均CT值。

1.3 CT值偏差度计算

每次测量数据均计算球形pGGN平均CT值的

偏差度,定义为:偏差度(%)=|(平均 CT 值-标称 CT 值)|/|标称 CT 值|×100%。分析 CT 扫描剂量、重建算法、选择测量层面及胸部不同位置共计 4 组实验 pGGN 平均 CT 值的偏差度及其相关性。

2 结 果

2.1 CT 扫描剂量对球形 pGGN 平均 CT 值测量的影响

4 种自动管电流调制模式扫描,相同的标准 AIDR 重建下,标称-650 HU 的球形 pGGN 平均 CT

值的偏差度见表 1。标准(Standard)剂量及以上模式自动管电流调制模式扫描时,各种不同直径球形 pGGN 平均 CT 值偏差度的差异较小(最大偏差度 2.49%、最小偏差度 1.96%,差异 0.53%);低剂量(Low dose)自动管电流调制模式扫描时,直径小于 10 mm 的 2 组球形 pGGN(8 mm 球形 pGGN 和 5 mm 球形 pGGN)平均 CT 值偏差度均较大,分别达到 9.18%和 13.03%。

表 1 不同自动管电流调制扫描模式扫描标准 AIDR 重建下 4 种 pGGN 平均 CT 值的偏差度(%)

自动管电流调制模式	DLP(mGy·cm)	有效剂量(mSv)	5 mm 球形 pGGN	8 mm 球形 pGGN	10 mm 球形 pGGN	12 mm 球形 pGGN
High quality	257.7	3.61	2.38	2.32	2.03	2.08
Quality	143.6	2.01	2.46	2.34	2.04	2.06
Standard	110.9	1.55	2.49	2.25	1.98	1.96
Low dose	77.4	1.08	13.03	9.18	2.17	2.11

有效剂量为 DLP 乘以转换系数 K,其中 K=0.014 mSv·mGy⁻¹·cm⁻¹。

2.2 AIDR 3D 重建算法对球形 pGGN 平均 CT 值测量的影响

在低剂量(Low dose)自动管电流调制模式扫描时,3 种 AIDR 3D 算法重建下,标称-650 HU 的球形 pGGN 平均 CT 值的偏差度见表 2。相同 AIDR 3D 算法重建时,不同大小球形 pGGN 随着结节直径的不断缩小,平均 CT 值偏差度越来越大,8 mm 以下球形 pGGN 的平均 CT 值偏差度明显增加至 10%以上;相同大小直径的球形 pGGN,采用不同 AIDR 3D 算法重建,平均 CT 值偏差度较为稳定。

表 2 低剂量自动管电流调制模式扫描不同 AIDR 重建算法下 4 种球形 pGGN 平均 CT 值的偏差度(%)

AIDR 重建算法	5 mm 球形 pGGN	8 mm 球形 pGGN	10 mm 球形 pGGN	12 mm 球形 pGGN
Strong	15.95	9.49	3.51	1.36
Standard	13.03	9.38	3.80	1.44
Mild	14.23	10.31	3.54	1.77

2.3 选择球形 pGGN 不同层面对平均 CT 值测量的影响

采用标准剂量(Standard)自动管电流调制模式扫描和标准 AIDR 3D 重建算法下,分别测量标称-650 HU 直径 10 mm 的球形 pGGN 中心层面和偏离中心层面 1、2、3 mm 层面的平均 CT 值,平均 CT 值和计算的偏差度见表 3。选择 pGGN 中心层面测量 CT 值时,平均 CT 值的偏差度最小(1.98%),远离中心层面越远测量 CT 值时,平均 CT 值偏差度越大,呈逐渐上升趋势。

2.4 球形 pGGN 在胸部不同位置对平均 CT 值测量

影响

采用标准剂量(Standard)自动管电流调制模式扫描和标准 AIDR(Standard)重建算法下,分别测量在胸部不同位置标称-650 HU 直径 10 mm 的球形 pGGN 平均 CT 值,平均 CT 值并计算偏差度。胸部 3 个位置的 pGGN 平均 CT 值的偏差度不同,而肺实质内平均 CT 值偏差度最小(0.04%),见表 4。

表 3 10 mm 球形 pGGN 不同层面测量的平均 CT 值和偏差度

球形 pGGN 的层面	平均 CT 值($\bar{x}\pm s$,HU)	偏差度(%)
中心层面	637.12±2.63	1.98
偏离中心层面 1 mm 层面	633.07±2.78	2.60
偏离中心层面 2 mm 层面	670.33±2.31	3.13
偏离中心层面 3 mm 层面	673.05±3.26	3.55

表 4 10 mm pGGN 在胸部不同位置测量的平均 CT 值和偏差度

球形 pGGN 的位置	平均 CT 值($\bar{x}\pm s$,HU)	偏差度(%)
肺实质内	649.74±23.57	0.04
胸膜下	633.96±28.42	2.47
纵隔旁	651.30±32.68	0.20

3 讨 论

随着胸部高分辨率(HRCT)检查的普及,肺肿瘤性 GGN 的检出率明显提高,其中不乏原发性肺腺癌病例,而术前定性诊断一直是临床工作中的难点和重点^[4]。虽然 CT 判断早期肺腺癌亚型分型的主要依据有结节大小、密度类型(实性或磨玻璃密度)、CT 值、病变形态(胸膜凹陷征、空泡征、空气支气管征、分叶、

毛刺、血管束征等),但肺部小结节,尤其是亚厘米肺结节的征象很少,尽管采用了薄层高分辨率扫描,所用到的征象也只有结节大小、密度类型和 CT 值。肺肿瘤性 GGN 的病理基础是肿瘤细胞沿肺泡间隔生长、肺泡腔内空气减少,或者是肺泡中心纤维化、肺泡塌陷导致肺不透明度增加。EGUCHI 等^[5]对 125 例 pGGN 进行随访,发现大小增长与稳定的两组 pGGN 的平均 CT 值差异有统计学意义,界值约为 -670 HU;在他们的另 1 项研究中,计算出 pGGN 发生浸润的 CT 界值为 -680 HU^[6]。这两个界值大致相仿,说明浸润性病变发生增长的可能性大。基于此,本研究采用了 -650 HU 的球形 pGGN 以模拟肺肿瘤性磨玻璃结节。

pGGN 的 CT 值测量易受诸多因素的影响,包括病理因素和技术因素。病理干扰因素有结节中实性浸润成分、肿瘤组织肺泡塌陷、淋巴细胞堆积及间质增生、血管和空泡成分等。技术原因有检查部位和体位、患者扫描时的呼吸状态、重建层厚及重建方法、不同测量方法和测量误差。目前临床上主要采取平均 CT 值测量方法,由于影响因素较多,平均 CT 值测量作为亚型分型的一个工具,在学术界仍然存在争议。代平等^[1]证实,定量分析指标中的平均 CT 值和最大 CT 值对磨玻璃结节的病理侵袭性有预测作用;ICHINOSE 等^[7]报道,测量 pGGN 的最大 CT 值可更为准确地预测结节的侵袭性。说明肺 GGN CT 值精准测量方法仍有待进一步研究。扫描条件、重建模式及重建层厚对实性肺结节 CT 值测量的影响已有文献报道^[8-9],但 pGGN CT 值测量相关技术影响因素的研究较少报道。大量研究表明,CT 值能作为预测 GGN 浸润的指标^[10-12]。当 GGN 的 CT 值大于 -600 HU 时,则可视为浸润前病变,这一结论可显著影响肺 GGN 病变治疗策略的选择^[12]。本研究选择可能是侵袭性磨玻璃结节(标称 CT 值 -650 HU)的一组球形 pGGN 来模拟肺肿瘤性 GGN,利用仿真胸部体模构建出肺癌 CT 筛查的实验环境。排除病理因素和检查部位、体位及呼吸因素,研究扫描剂量、重建算法、测量层面选择和球形 pGGN 在胸部不同位置几个因素对平均 CT 值测量的影响。

黄召勤等^[8]报道,低剂量 CT 扫描可以比较准确地测得肺结节的 CT 值,但直径较小、密度较低的结节不能准确测得 CT 值。王乃武等^[13]报道,自动管电流调制技术联合 AIDR 技术,对 10 mm 肺 GGN 进行低剂量 CT 扫描时是可行的。本实验结果表明,在采用标准(Standard)剂量的自动管电流调制模式扫描时,相同直径的球形 pGGN 平均 CT 值偏差度相差不大;采用低剂量的自动管电流调制模式扫描时,10 mm 以上球形 pGGN 平均 CT 值偏差度较小,小于 10 mm 的 pGGN(5 mm 和 8 mm)平均 CT 值偏差度较大。

虽然低剂量自动管电流调制模式 CT 扫描的辐射剂量降低明显(本实验的有效剂量:Standard 组为 1.55 mSv,Low dose 组为 1.08 mSv,有效剂量降幅约 30.32%),但鉴于可能导致 pGGN 平均 CT 值的显著测量误差,作者认为低剂量 CT 扫描技术更适于 10 mm 以上肺肿瘤性 GGN 的筛查和随访,建议对小于 10 mm 的肺肿瘤性肺 GGN 随访时慎用低剂量 CT 扫描技术。

苏大同等^[9]报道,不同重建算法对肺结节的三维容积和 CT 值定量影响很小。本实验中,相同直径大小球形 pGGN 平均 CT 值偏差度很小,各种权重 AIDR 3D 重建算法的 CT 测量值较为稳定,证明 AIDR 3D 重建算法对 pGGN 平均 CT 值的测量基本不会造成影响。本研究结果与文献报道基本一致。

平均 CT 值测量通常采用一维测量法,在 CT 图像中肺结节的最大层面手动画出感兴趣区测量 CT 值,测量多次取平均值。本实验的球形 pGGN 的直径所处中心层面即为肺结节最大层面。实验中,10 mm 球形 pGGN 中心层面的平均 CT 值偏差度最小,随着偏离中心层面越远,所选层面平均 CT 值偏差度越大,呈上升趋势。对于球形肺结节,偏离中心层面测量就相当于对更小直径肺结节的测量。由于肺结节直径及密度越小,受 CT 成像原理的周围部分容积效应影响更为显著,使得平均 CT 值不准确。因此 pGGN 平均 CT 值测量感兴趣区在中心层面是最佳选择。

本实验结果表明,在胸部 3 个位置的球形 pGGN 平均 CT 值的偏差度均有所不同,球形 pGGN 在肺实质内平均 CT 值偏差度最小,在纵隔旁次之,在胸膜下偏差度最大。由于胸部不同位置组织结构 X 射线吸收的差异性,受 X 射线硬化效应的影响,使同一密度组织结构在 CT 图像不同位置得到的 CT 值会产生偏差。

综上所述,由于部分容积效应,<10 mm 的肺 pGGN 平均 CT 值测量存在更为明显的误差,低剂量 CT 扫描技术更适于 10 mm 以上肺肿瘤性 GGN 的筛查和随访;AIDR 3D 技术对肺 pGGN 的平均 CT 值测量不会造成影响;肺 pGGN 平均 CT 值测量宜选择中心层面作为测量感兴趣区;由于 X 线硬化效应,同一密度肺 pGGN 在胸部不同位置测量平均 CT 值会产生一定偏差。因此,临床上评估肺肿瘤性 GGN 密度变化,将平均 CT 值随访作为针对不定性肺结节的常用对策时,为了保证磨玻璃肺结节平均 CT 值测量的精准度,应注意避免上述技术因素对测量的影响。

本实验的不足之处,(1)由于采用仿真体模实验,研究对象没有呼吸变化,而呼吸状态对 CT 值测量有一定影响;(2)实验用的肺 pGGN 是密度均质、规则的球形,在临床上发现的 GGN 病灶内常有血管、空泡和空气支气管,且形状呈类圆形或不规则形。本研究的

结果是否与实际情况有偏差,需要进一步的临床研究加以证实。

参考文献

- [1] 代平,何其舟,王恩凯,等. CT 定量分析预测肺部肿瘤性磨玻璃结节病理侵袭性的价值[J]. 放射学实践,2019,34(10):1108-1112.
- [2] LI X H, ZHANG W, YU Y Q, et al. CT features and quantitative analysis of subsolid nodule lung adenocarcinoma for pathological classification prediction[J]. BMC Cancer, 2020, 20(1):60-68.
- [3] 曹捍波,王梅,范艳芬,等. 平均 CT 值测量对小于或等于 1cm 同时多原发肺腺癌亚型分型的诊断价值[J]. 浙江医学,2018,40(4):354-357.
- [4] JIANG B, WANG J, JIA P, et al. The value of CT attenuation in distinguishing atypical adenomatous hyperplasia from adenocarcinoma in situ[J]. Chin J Lung Cancer, 2013, 16(11):579-583.
- [5] EGUCHI T, KONDO R, KAWAKAMI S, et al. Computed tomography attenuation predicts the growth of pure ground-glass nodules [J]. Lung Cancer, 2014, 84(3):242-247.
- [6] EGUCHI T, YOSHIKAWA A, KAWAKAMI S, et al. Tumor size and computed tomography attenuation of pulmonary pure ground-glass nodules are useful for predicting pathological invasiveness[J]. PLoS One, 2014, 9(5):e97867.
- [7] ICHINOSE J, KAWAGUCHI Y, NAKAO M,

et al. Utility of maximum ct value in predicting the invasiveness of pure ground-glass nodules [J]. Clin J Lung Cancer, 2020, 21(3):281-287.

- [8] 黄召勤,侯中煜,宁国庆,等. 肺结节模型低剂量扫描及薄层重建对肺结节 CT 值的影响[J]. 实用放射学杂志,2009,25(7):1044-1048.
- [9] 苏大同,冯磊,姜英健,等. 扫描及重建条件对肺结节三维容积及 CT 值测定量影响的体模研究[J]. 中国肺癌杂志,2017,20(8):562-567.
- [10] KITAMI A, KAMIO Y, HAYASHI S, et al. One-dimensional mean computed tomography value evaluation of ground-glass opacity on high-resolution images[J]. Gen Thorac Cardiovasc Surg, 2012, 60(7):425-430.
- [11] KITAMI A, SANO F, HAYASHI S, et al. Correlation between histological invasiveness and the computed tomography value in pure ground-glass nodules[J]. Surg Today, 2016, 46(5):593-598.
- [12] TAMURA M, SHIMIZU Y, YAMAMOTO T, et al. Predictive value of one-dimensional mean computed tomography value of ground-glass opacity on high-resolution images for the possibility of future change[J]. J Thorac Oncol, 2014, 9(4):469-472.
- [13] 王乃武,韩文娟,李国庆,等. ATCM 联合 ASiR-V 技术对肺部 10 mm 左右 GGO 结节超低剂量 CT 检查的可行性研究[J]. 中国辐射卫生, 2018, 27(5):502-506.

(收稿日期:2021-02-27 修回日期:2021-06-17)

(上接第 3481 页)

- [11] 陈亮,陈洁,金戈,等. 高频重复经颅磁刺激治疗脑卒中后抑郁的有效性及其安全性系统评价[J]. 中华物理医学与康复杂志,2018,40(6):441-448.
- [12] ORTEGA G, ÁLVAREZ B, QUINTANA M, et al. Cognitive improvement in patients with severe carotid artery stenosis after transcervical stenting with protective flow reversal [J]. J Neurosci, 2013, 35(2):124-30.
- [13] 汤超华,蒋建,李晓玲,等. rTMS 治疗中重度抑郁症患者睡眠障碍的临床研究[J]. 四川医学, 2018, 39(8):881.
- [14] 曹晓君,胡珍玉. 重复经颅磁刺激术在抑郁症伴

睡眠障碍中的研究进展[J/CD]. 临床医药文献电子杂志,2019,6(55):188.

- [15] YANAMOTO H, XUE J, MIYAMOTO S, et al. Spreading depression induces long-lasting brain protection against infarcted lesion development via BDNF gene-dependent mechanism [J]. Brain Res, 2004, 1019(1/2):178-188.
- [16] SATO A, TORII T, NAKAHARA Y, et al. The impact of rTMS over the dorsolateral prefrontal cortex on cognitive processing[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2013, 2013:1988-1991.

(收稿日期:2021-02-28 修回日期:2021-05-08)