

PACS 系统的质量保证与质量控制

Quality Assurance and Quality Control in PACS

中山大学附属第一医院院信息网络科 石志杰
邮编: 510080

Shi Zhije The Department of Information and Network , The First Affiliated
Hospital, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510080

摘要: 以保证高质量影像图像以及控制受检者和放射从业人员辐射剂量为宗旨的 QA、QC 工作, 将是医学信息界的一个重要课题。自动化、数字化可以减少一些问题, 但可能引起新的问题的发生, 探索出一套行之有效的查错、纠错及消除错误的方法及措施, 是 PACS 质保/质控工作须完成的任务。

Abstract: The Quality Assurance / Quality Control in PACS system will be a important issue , The main purpose of the QA/QC is to assure the high image quality and decrease the dose receipted by the patient and the Radiography Technician. Automation and Digitalization minimizes some errors but aggravates others, we must find a method and take actions to detect , control these errors.

现代医学和高新技术的发展, 为医学影像学的发展提供了广阔的空间, 对 21 世纪以数字化成像为主要特点的影像技术学, 我们需要思考以下几个方面的问题:

(1) 图像评价与诊断模式的转变: 传统的“荧屏-照片-灯箱”组合模式, 将演变成“数字图像信息-监视器”或“照片-数字化仪-监视器”组合模式。

(2) 影像质量标准化的建立与完善是实现科学化管理的必要手段。

(3) 医学信息一体化。随着放射科数字化设备的不断增多与完善, 为 PACS (picture archive and communication system) 的建立与发展奠定了基础。PACS 也逐渐成为放射科发展的方向。PACS 它可成为整个医院网络管理的一部分, 使影像学不单纯依靠影像做出诊断, 而是可以通过上网参考其他相关诊断资料而给以全面、综合的影像学诊断, 同时, 临床科室也可以通过网络得到影像诊断信息, 缩短对病人的诊断和治疗时间, 达到资源共享。

21 世纪的医学影像学发展的总体目标是: 全面、快速、准确和无创性。因此以保证高质量影像图像以及控制受检者和放射从业人员辐射剂量为宗旨的 QA、QC 工作, 不单是影像技术界研究的中心课题, 也将是医学信息界的一个课题。

一、 医学影像的产生处理过程

- 医学影像

从医学的角度来讲，医学影像的目标就是从活体组织器官（噪声）中提取相关信息，形成空间上的分离对照（解剖信息）。医学影像就是生理学和形态学上的代理记录。

- 医学影像的产生处理过程简述

图像从不同设备以不同形式进行采集，数字化的设备产生的信号以数字化的方式记录。PACS 将这些信号存储、处理、传输到分布在各处的显示器上。读片室里的观察者(常常是放射科医师)浏览整个图像，去发现目标。这些目标一般是数字图像上显示的不同形状和对比度的对象，代表病变。在下结论以做出诊断前，观察者必须能对这些对象进行识别和描述。识别过程就是发现病变的过程，其间要求识别对象有足够的对比度和足够大的尺寸，以便于观察者识别它们。换言之，就是识别对象的大小和对比度要在观察者的察觉阈值之上。这些阈值很大程度上受下列因素的影响：图像显示质量、读片室中的阅读条件、计算机的图像操作工具和观察者的经验。

其产生与处理过程如下表所示：

表 1: 医学影像的产生处理过程

过程	产生	获取	处理与显示	诊断
所涉及系统	医疗仪器及转换设备	PACS 系统	PACS 系统和显示系统	脑眼组合
人员	生物医学工程师	技师	PACS 系统设计人员	临床医生/放射科医生
所涉及影像质控因素	噪声信息过滤后产生的解剖学信息是否有意义	获取的图像与机器产生的一致; 受检者和放射从业人员辐射剂量控制	处理后的图像与原始信息是否一致; 在不同时间、不同地点以及不同显示设备上具有一致的影像显示质量	人的感知相关因素对对诊断的影响;
常见的 相关质量 评价指标	1、空间分辨率 (Spatial Resolution); 如: 调制传递函数 (Modulation Transfer Function, MTF)、成像矩阵、像素尺寸 (Pixel Size)、每毫米对数 (LP/mm) 2、低对比度分辨率 3、极限分辨率 (JDN) 4、噪声 (Noise) 5、量子检测效率 (DQE) 6、动态范围 (Dynamic Range) 7、赝像 (Artifacts) 8、一致性 (Uniformity)	1、诊断学要求: 如影像标准、重要的影像细节。 2、体位显示标准 3、技术条件 4、受检者剂量水平 5、照片特定点的密度范围	1、与计算处理相关的指标: 如压缩比 (Compression Ratio)、计算时间 (Computation Time) 2、与显示器相关的, 如空间分辨率、尺寸、一致性、亮度、像素尺寸、显卡的内存、刷新频率、信噪比、对比度阈值、搜索表 (LUT)、周围光线、模糊旋光 (Veiling Glare) 和几何畸变等	接收者操作特征曲线 (Receiver Operating Characteristics Curves)
备注		在传统的模式下, 此环节功能较弱	在传统的模式下, 此环节功能较弱	

二、 对医学影像质量的 QA、QC 工作的概况

近几年来，国际上不管是医学信息界，还是影像技术界，已经把医学影像质量控制作为热点问题进行了广泛的研究，并且形成了多个国际性或区域性的标准，其中有些标准在有的国家属于强制性的，对于软阅片系统必须通过一定的可接受性测试之后才能投入实际应用。

在国内也有类似的研究与实践，集中在以下方面：

诊断方面：在 PACS / RIS 系统中，建立了诊断报告评估，疾病诊断随访，典型读片比对等个人和科室的诊断质量控制功能模块；

影像技术方面：10 年来，中华放射学杂志编委会与中华医学会影像技术学会已多次组织全国性的专业研讨会或培训班，为在我国开展影像技术质量管理工作起到了超前普及和持续推动的作用，开始向质量管理的成熟阶段迈进。

上海市制订了医学影像技术质控 12 条标准，以此为核心上海若干医院建立了技术质量控制体系，将造成 2、3 级片及废片的原因进一步细化，并且进行月、季、年的信息反馈。

遗憾的是，我国的医疗行业对这个问题还没有引起足够的重视，这方面的研究还处于“传统模式”下 QA / QC 阶段，近年来虽有所改善，但还是基础实验研究薄弱，研究的科技含量不高，特别是缺乏对现代数字成像质量控制与评价的研究。在医疗实践中还在采用普通显示器进行医疗诊断，而且这种现象还很普遍。

三、 医学信息界所面对的转变

数字化成像设备的不断问世，PACS 系统在医院的相继建成与运用，医院和放射科必将要适应这些转变：

- (1) 从灯箱上的照片硬拷贝，向监视器上软拷贝的影像转变。
- (2) 从单一图像技术，向具有综合图像诊断技术的能力转变
- (3) 从单纯的技术操作，向发挥设备、软件功能最优化转变。

PACS 与 RIS 系统是介于医学与工学之间的边缘学科，不再处于先前的在医疗环节中的“辅助”地位，与放射诊断医师、技师、临床医师一起，从不同的侧面对病人的诊断和治疗发挥着积极的影响，已构成整个医疗环节的一部分。

四、 PACS 系统的 QC / QA

建立和规范医学影像 QA / QC 体系意义重大，为保证医学影像在不同时间、不同地点以及不同显示设备上，对于不同的医生而产生相同的诊断质量提供可靠的保证。

QA 与 QC 有不同的特定的含义，但它们经常被混淆。QA 通常是指在复杂的网络环境

下对质量维护进行广泛地管理实践的过程。其目的是“防患于未然”，即发现和侦测一些慢慢在改变的，且可能会造成问题或影响到临床的参数，它要求许多方面的知识和技巧。而 QC 只是 QA 的一个子集，主要是对仪器、设备的功能性测试。

QC 主要分为三个层次：

日常质控：技术层次(Routine: Technologist Level);

系统检测：物理学层次(System inspection: Physicist level);

系统调整：检修层次(System adjustment: service level)。

与常规放射质控一样，对处于“影像链”上所有环节都必须要建立一套专门的质控程序与制度，落实专人负责，并完善必要的规范和标准。

五、 PACS 系统 QC / QA 相关技术指标简介

5.1 空间分辨率

较高的空间分辨率可使观察者看到较小的细节。显示器的空间分辨率受到象素尺寸的限制，它由可寻址的象素(包括水平和竖直两个方向)的数量及显示器的自动显示区域决定，可用显示器的标称“象素尺寸”表示。一般来说象素尺寸越小，分辨率越好。

与空间分辨率表述相关的技术指标有：

调制传递函数 (modulation transfer function, MTF):用数字方法描述系统再现成像物体的空间频率的能力。在系统考虑时，调制传递函数可以是某一成像器件的调制传递函数，也可以是整个成像系统（影像链）的调制传递函数。

成像矩阵：一幅数字图影像中行*列组成的数字矩阵值。

像素尺寸(Pix size): 图像采集系统中组成数字图像矩阵中每个单元的尺寸大小。

成像矩阵和像素尺寸仅仅是代表数字成像器件的性能，如 CCD 和平板 DR 器件，当然它与最终成像的空间分辨率高低有关，但是还与成像器件的工作原理或成像方式以及“影像链”中的其他器件有关，高成像矩阵与小的像素尺寸不一定有高的空间分辨率。同时像素尺寸太小会使影像噪声增大，造成空间分辨率下降。

每毫米线对数(LP / mm)

每毫米线对数的指标常常是指用线对卡测试情况下，实际能够用眼睛观察到的图像最高分辨率。通常是在 MTF=10%时的空间分辨率：它反映整个成像系统“影像链”的最终空间分辨率：

5.2 亮度范围

显示器的亮度(辉度)范围对于观察者的对比灵敏度很重要。它的跨度越宽,所包含的刚刚能够看出来的差异(Just Noticeable Difference, JND)等级越多。这就意味着显示器可以同时显示多个等级的灰度。显示器的亮度常常用显示的最大光输出辉度(cd/m² 或 ft-Lambert)表示。一个普通的台式 PC 机的彩色显示器的最大输出辉度大约为 100cd/m², 而一个高亮度的显示器最大亮度可达 300~600cd/m², 与之相比较, 一个普通灯箱的亮度可达 1500~4000cd/m²。

5.3 密度分辨率 (Contrast Resolution, Photometric Resolution)

通常密度分辨率也称为低对比度分辨率, 是数字化影像质量的一项关键指标。它是指在较小密度差(灰阶)条件下(如小于 1%), 系统能够分辨的影像尺寸。

有时候用极限分辨差(Just-Noticeable Difference, JDN)表示, 含义是在给定的观察条件下, 观察者能够察觉的最小亮度差。

低对比度分辨率的指标影响因素主要是系统的信噪比 S / N。低对比度分辨率可以用专用体模测量。

5.4 噪声 (Noise)

严格讲噪声是不可能避免与消除的。噪声可以定义为: 在等亮度影像中可观察到的亮度随机出现的波动。也就是在我们观察影像时会看到一层细小颗粒的背景, 这种可见的细小颗粒称为噪声。

在影像中, 观察物的分辨率相对噪声存在一个阈值, 当对比度低于这个阈值时, 观察物将不可分辨。在物理学上噪声分为量子噪声与电子噪声。它分别为“量子噪声”(Quantum Noise)和固有噪声。

数字化影像的噪声指标测量可以在均匀介质的等强度信号输入情况下, 成像系统在一定区域内各像素点(Pixel)输出信号电平的标准差(SD)来衡量。

噪声指标直接影响到空间分辨率和低对比度分辨率的大小。

5.5 量子检测效率(Detective Quantum Efficiency, DQE)

前面讲到的各项质量指标, 如对比度分辨率、噪声、空间分辨率, 在某种程度上有相互制约的关系。而 DQE 就是比较流行的一种衡量数字化影像装置图像质量的综合性能的指标。DQE 是将各个参数对图像质量的影响都加以统一考虑后, 综合计算的结果。

DQE 的定义是: 从 X 线转换成影像信息的有效利用率。DQE 值越大, 获取一幅图像所需 X 射线剂量就越小。

有关文献对 DQE 的含义评价: 如果得到同样的 SNR (图像质量), 只用

原来一半的剂量，那么在同样的剂量条件下提高 SNR(图像质量)40%。

DQE 的指标决定于定义与测量方法，各种数字化影像系统的成像原理不同，其计算方法由于探测器成像板的材料与工作原理差异也不一样。

5. 6 动态范围(Dynamic Range)

动态范围又叫宽容度，在 X 线成像系统中是指 X 线输入从低剂量到高剂量的情况下输出保持线性的范围。这样保证在不同曝光条件下，都能达到满意的图像，同时，宽的动态范围可以在一次曝光后分别显示不同密度组织。数字化 X 线影像设备 (CR、DR)动态范围要大得多。动态范围越大可以获得较高的密度分辨率及较大的曝光宽容度。

动态范围有时也用比数表示，是指输出线性条件下，最高剂量与最低剂量的比。

5. 7 与显示器相关的各种质控技术指标

显示器的均匀性表示在显示器屏幕范围内的亮度的最大变化。绝大多数的 CRT 显示器由于路径长度和电子束偏转角度的不同，存在着某种程度的不均匀。其楔形的面板玻璃是导致不均匀的最大因素。显示器的设计就导致了不均匀的产生，特别是那种平面和平面直角的显示器。

模糊旋光(Veiling Glare)和几何畸变也是影响图像质量的重要因素。模糊旋光是由于光从显示器的一个区域散射到另一个区域造成的光的散播。它会降低目标的对比度，使其不易被发现。

刷新频率(或帧速率)指显示野被更新的速率，它常常被特指为垂直和水平方向的扫描速率。垂直扫描频率常常称为帧速率，一般在 55Hz 到 150Hz 之间。更新率太低会导致很明显的闪烁效应，引起使用者的低效率和疲劳。

标准灰阶显示函数 (Grayscale standard display Function)是 Dicom 标准中,在 PA3.14 节中定义的输入 JND 指数与亮度值的对应关系的数学定义

搜索表 (LUT): 由于一个显示器只能显示有限数量的灰度阶，所以对任何一个显示系统来说，理想的 LUT 很至关重要。ACR-NEMA DICOM 标准为放射学应用推荐了一个 LUT。这个 LUT 主要是将人类观察者的反应进行线性化，这样对所有不同水平的辉度背景都能感觉到同样的对比度。

此外，还有对比度阈值 (Contrast Threshold)、极限分辨差 (Just-Noticeable Difference, JND)、数字驱动级: (Digital Driving Level: DDL)等各种指标与参数。

六、 数字化影像的后处理

在常规 X 线影像数字化技术如 CR、DR 中，很多后处理软件除了比较传统的边缘增强，窗宽窗位调节，亮度对比度调节以外：还有动态范围控制(组织均衡)，空间频率调整等。

在以计算机断层扫描为基础的数字成像技术中，后处理技术应用更为突出，例如 CT 后处理技术软件：最大密度摄影(MIP)、表面重建(surface shadow display, SSD)、容积再现法(Volume rendering, VR)。

PACS 系统也提供诸如此类的后处理技术手段。如边缘增强，窗宽窗位调节，亮度对比度调节，图像的缩放，图像的测量、图像的融合、三维重建。

数字化影像后处理技术是数字化影像的精华所在。但是，在实际评价时，如何评价其性能指标?很难用定量指标来衡量，只能用功能和临床应用的实际效果来评价。

PACS 系统中，数据压缩技术被广泛使用。被压缩的图像是一种更简洁的表现形式。图像文件变小，有利于减少归档和提高传输速度。但是，压缩对图像质量的影响是不确定的。有证据表明：低水平的压缩时，图像的噪声被优先压缩，因而可以作为一种过滤图像从而减少噪声的方法。然而，最终的问题是对诊断效果的影响。

评价压缩的性能参数包括：压缩比例，运算时间和图像质量（下降）。

压缩比例是指：原始文件大小的比例与压缩后的文件大小的比例。无损压缩的比例大约是 2: 1 或者 3: 1。采用有损压缩技术可以达到任何的压缩比例，但是在高的压缩比会降低图像的保真度。

计算时间是指压缩过程编码和解码的时间。当图像被传送后，它们必须被解压缩后显示出来，计算时间是不显著的。

评价不可逆的压缩的手段主要有三种：数值分析（numerical）、主观评价（subjective evaluation）和诊断的准确性（diagnostic accuracy）。现有的证据表明 10: 1 的压缩比对于绝大多数类型的评价实验是适合的。

七、 周围环境和与其他与人的感知相关的因素

由于 CRT 显示器的亮度比灯箱低，所以必须控制 PACS 图像显示工作站的读片室的周围光线。有研究显示，外来光线会导致图像中目标的对比度降低，从而降低目标的检出率。阅片室的亮度应保持在 2-25 lux（一般的办公室的室内亮度为 75-100 lux）。

另外反射光也是导致图像中目标的对比度降低的因素。建议使用带抗反射涂层的显示器，因为显示器上的抗反射涂层是减少外界光线的一个好方法。它可减少照

射在屏幕玻璃上的外周光线，包括观察者衣服的反射光线。

有一些因素，并不影响显示的图像质量本身，而是影响观察者的感知过程。例如：显示器过小并不一定图像质量不好，但使用它的观察者会有一种“管状视觉”，导致观察者易疲劳，影响工作。

八、 显示系统的 QC

显示器的 QC 主要集中在亮度 (Luminance) 和清晰度(Sharpness)。亮度的定标要使用光度计。而使用测试卡才能测试和评估。一般来说，目前大多数高质量的显示控制器或显示系统、校正系统都能提供独立的校正软件与硬件，包括内置式的光度计/显示器系统，接口校正软件、图形用户接口。所有的校正系统必须要根据 DICOM 校准灰阶显示函数要求进行。自适应的显示器自动完成亮度的定标。为保证显示器的清晰度则要求对老化的显示器做评估，而且要求在多区域做多次测量，如显示器的中心和四个角。PACS 系统与显示器厂家都应有相应的质控程序支持。

如今有多种测试卡，最主要的被广泛应用的有如下四种：

- 1、 SMPTE 测试卡。通常应用 SMPTE 测试卡检测的项目有：灰阶还原能力、空间分辨率与低密度分辨率、影像的几何失真、影像的伪影
- 2、 Briggs 测试卡
- 3、 AAPM TG18 测试卡
- 4、 4-AFC 测试卡

九、 影像获取的 QC

影像获取主要是依赖影像设备来完成的。由于系统的可调性，需要对设备定期进行质量控制检测。不论是 Softcopy 屏幕软阅读，还是 Hardcopy 激光相机胶片输出，都要进行质量控制检测，对结果进行评估，主要是监测及时掌握性能衰减过程。检测工具有专用的线对卡，各种密度测试模体(Phantom)等硬件设备。不同的影像系统、不同的测试项目有不同的质控体模和测试工具。测试完成后各项指标应该作记录，更新质控纪录，评估偏差问题。

放射技师须按厂方建议要求，定期进行 CR 的 IP 板清洁等工作。校正系统检测中不合格的性能指标，维修更换影响质量指标的不合格的器件。直至性能指标达到质控要求。

各项检测结果包括维修后的测试结果必须作为质控记录，形成质控图。

十、 PACS 系统的 QC

10.1 要弄清楚在数字化放射系统中错误的来源及其后果

错误的来源主要包括：**系统软件的环境配置与基本参数设置不当；**
PACS 设备的定标的不当；
PACS 系统的设计的缺陷；
人为操作中的固有的限制；
PACS 要求的与医院实际的工作流程有反差；
PACS 往往基于一些不合理的假设；
对 PACS 系统与医院工作流程的培训不足，相关的文档不齐全；
缺少对系统中断的应急方案，或者说应急方案的设计不当；

10.2 这些因素会造成如下后果：

性能降低造成的可量化结果

- (1) 对比度敏感度的降低；
- (2) 锐度和空间解析度的降低；
- (3) 动态区域的降低；
- (4) 噪声增加；
- (5) 系统速度下降；
- (6) 几何畸变；
- (7) 赝像；

性能降低造成的临床结果

- (1) 非诊断性的或重复检查增加；
- (2) 病人的射线剂量增加；
- (3) 错误诊断增加；
- (4) 设备中断时间增多；
- (5) 诊断延迟；
- (6) 图像丢失；
- (7) 对系统的信心降低；

10.3 查错、纠错及消除错误的方法及措施

自动化、数字化可以减少一些问题，但可能引起新的问题的发生，探索出一套行之有效的查错、纠错及消除错误的方法及措施，是 PACS 质保/质控工作须完

成的任务。

QA 意味着确保设备运行正常、维护正常；还须考虑所有获取的影像链 (imaging chain)；必须将操作人视作为系统中的一环。

- (1) QC 是检测和修复故障的关键
- (2) 培训是避免错误的关键
- (3) 可靠性保障是持续临床运作的关键
- (4) 故障修复是恢复临床正常工作的关键

结论：

PACS 的 QA/QC 是保证影像质量的重要手段，须贯穿于从获取、存储、处理、显示、诊断整个“影像链”，它必须是一整套行之有效的查错、纠错及消除错误的方法和措施。我国在这方面的研究还处于“传统模式”下 QA / QC 阶段，缺乏对现代数字成像质量控制与评价的研究，还需进一步的加强。

References

1. Roehrig, H., Willis, C.E., and Damento, M.A.: Characterization of Monochrome CRT Display Systems in the Field. *Journal of Digital Imaging*. 12(4): 152-165, 1999.
2. Krupinski EA, Kundel HL, Judy PF, Nodine CF. The Medical Image Perception Society. Key issues for image perception research. *Radiology*. 1998;209:611–612.
3. Lubin J. A human vision model for filmless radiology system design and optimization. *J Digit Imaging*.1998;11:179.
4. Roehrig H, ed. Image quality assurance for CRT display systems. Part I. *J Digit Imaging*. 1999;12:1–3; Part II. *J Digit Imaging*. 1999;12:49; Part III. *J Digit Imaging*. 1999;12:153–165.
5. Rose A. *Vision: Human and Electronic*. New York, NY:Plenum Press; 1973.

WEB RESOURCES

Society for Computer Applications in Radiology

www.scarnet.org

Medical Image Perception Society

www.radiology.arizona.edu/krupinski/mips/index.html

Dave Clunie's website with many DICOM resources

www.dclunie.com

OTech: Resource for PACS implementation

www.otechimg.com

American Association of Physicists in Medicine TG18

www.deckard.mc.duke.edu/~samei/tg18

National Electrical Manufacturers Association DICOM

www.medical.nema.org/

Video Monitor Test Pattern Tutorials

www.brighamrad.harvard.edu/research/topics/vispercep/tutorial.html