

Grayscale calibration and quality assurance of diagnostic monitors in a PACS system

Calibrazione in scala di grigi e controlli di qualità sui monitor dedicati alla refertazione in un sistema PACS

A. Crespi¹ • F. Bonsignore^{1,3} • N. Paruccini¹ • I. Macchi²

¹U.O. Fisica Sanitaria, ²U.O. Radiodiagnostica, Azienda Ospedaliera S. Gerardo, Via Pergolesi 33, I-20052 Monza, Italy

³Scuola di Specializzazione in Fisica Sanitaria, Università degli Studi di Milano, Via Celoria 16, I-20133 Milan, Italy

Correspondence to: A. Crespi, Tel.: +39-039-2333685, Fax: +39- 039-2332524, e-mail: a.crespi@hsgerardo.org

Received: 18 January 2006 / Accepted: 22 March 2006 / Published online: 11 August 2006

Abstract

Purpose. The aim of this study was to calibrate monitors used in soft-copy review of diagnostic images in a pictures archiving and communication system (PACS) and to assess critical quality assurance (QA) parameters through appropriate checks.

Materials and methods. Barco [cathode ray tube (CRT) and liquid crystal display (LCD)] and EIZO (LCD) monitors were evaluated. Calibration and QA controls were carried out during acceptance tests on the systems and every 6 months according to the Task Group 18 (TG18) report by the American Association of Physicists in Medicine (AAPM). The parameters in question include: maximum luminance, contrast ratio, luminance response, spatial resolution and angular response. A subjective evaluation of image quality was also conducted by a number of radiologists.

Results. Barco medical monitors' results were well within tolerances, with significant parameters persisting over time. EIZO nonmedical monitors showed rapid performance deterioration below the minimum requirements. Calibration had to be repeated only in a few cases. Radiologists' evaluations showed that monitor quality is equal to or even better than that of conventional films.

Conclusions. Medical monitors turned out to be fully adequate to the task. Periodic QA tests are, however, absolutely necessary to ensure constant quality levels.

Key words Diagnostic interpretation • Soft-copy • Calibration • Monitor • AAPM TG18

Riassunto

Obiettivo. Calibrare i monitor destinati alla refertazione soft-copy di immagini diagnostiche in un sistema PACS (Pictures Archiving and Communication System) e valutare con opportuni controlli i parametri di qualità critici.

Materiali e metodi. I monitor considerati sono prodotti da Barco (CRT e LCD) e EIZO (LCD). La calibrazione e i controlli sono stati effettuati in fase di accettazione e successivamente con cadenza semestrale seguendo le indicazioni del report TG18 dell'American Association of Physicists in Medicine (AAPM). Alcuni dei parametri considerati sono: luminanza massima, rapporto di contrasto, risposta di luminanza, risoluzione spaziale e risposta angolare. È stata inoltre effettuata una valutazione soggettiva della qualità nell'immagine da parte di alcuni medici radiologi.

Risultati. I monitor Barco (modelli medicali) sono risultati ampiamente entro le tolleranze, con un perdurare nel tempo dei parametri significativi. I monitor EIZO (non medicali) hanno invece mostrato un rapido degrado delle prestazioni portandoli al di sotto dei requisiti minimi richiesti. Molto raramente è stato necessario ripetere la calibrazione. Le valutazioni dei radiologi hanno evidenziato una qualità simile e persino superiore alla tradizionale pellicola.

Conclusioni. I monitor medicali sono risultati pienamente adeguati all'impiego. È comunque assolutamente necessario procedere con i controlli di qualità periodici per garantire il perdurare delle caratteristiche di qualità.

Parole chiave Interpretazione diagnostica • Soft-copy • Calibrazione • Monitor • AAPM TG18

Introduction

Inside a pictures archiving and communication system (PACS), such as that recently installed at the Ospedale S. Gerardo in Monza, radiological examinations can now leave X-ray films aside and go completely digital. The review of digital images upon reporting is conducted on a pair of high-performance monitors. Such a critical application cannot leave out both initial and periodic checks aimed at assessing whether the system is up to the task [1, 2]. Display monitors are also part of the digital imaging chain, and they must be prevented from becoming bottlenecks degrading the final quality of the examination. International papers strongly recommend periodic checks and suggest reference procedures and values; among them, the American Association of Physics in Medicine (AAPM) with its Task Group 18 (TG18) has exhaustively dealt with the issue, thus becoming de facto the main source of reference [3, 4].

Materials and methods

Simultaneously with the installation of the PACS system (Agfa IMPAX), 15 reporting stations were set up, each provided with a low-resolution monitor allowing access to the Radiological Information System (RIS) database – not considered in this study – and two high-resolution monitors displaying medical images. The installed monitors are of three types: seven stations with a EIZO LCD L685EX colour monitor (1.3 MP, 1,280x1,024 pixels), four with Barco MGD521 MKII monochrome cathode ray tube (CRT) monitors [5 megapixels (MP), 2,500x2,000 pixels] and three with Barco Coronis monochrome liquid crystal display (LCD) monitors (3 MP, 2,000x1,500 pixels). EIZO monitors are not aimed at the medical market but at high-level graphical applications. CRT monitors are provided with conventional CRTs found in TV sets: a brush of accelerated electrons is run along the entire monitor surface and its intensity modulated to generate the required grey level. The LCD technology is based, instead, on the ability of liquid crystals to rotate when voltage is applied: the image is then generated by a matrix of liquid crystals that, based on the angle they form, mitigate the light emitted by the back-lighting lamp to a varying degree. The reporting stations are currently installed in various hospital departments (radiodiagnostic, accident and emergency) and at a hospital a few miles away belonging to the same Hospital Trust.

The AAPM TG18 document suggests, in addition to the essential calibration, that a number of parameters should be checked, each with different techniques of varying complexity and accuracy levels. The kinds of measurements may vary from visual inspection of test images to instrumental measurements following complicated postprocessing procedures. The decision about which kind of measurement to perform for every characteristic to evaluate was based on a compromise between quality of result and ease of performance, considering the contingent conditions of reporting rooms, which are always very busy and unable to lay out complex experimental setups [5].

Introduzione

All'interno di un sistema PACS, come quello recentemente installato presso l'Ospedale S. Gerardo di Monza, il percorso degli esami radiologici può ora prescindere dalle pellicole radiografiche e seguire un iter completamente digitale. La visualizzazione delle immagini digitali al momento della refertazione viene affidata ad una coppia di monitor ad elevate prestazioni. Una applicazione così critica non può prescindere da verifiche sia iniziali che periodiche atte a verificare l'adeguatezza del sistema al compito da svolgere [1, 2]. I monitor di visualizzazione entrano anch'essi a far parte della catena delle immagini digitali e bisogna evitare che siano questi ultimi il collo di bottiglia che porti ad un degrado della qualità finale dell'esame. Documenti internazionali consigliano caldamente l'esecuzione di controlli periodici e suggeriscono procedure e valori di riferimento; tra questi l'American Association of Physics in Medicine con il suo Task Group 18 ha prodotto una completa trattazione del problema, diventando di fatto il riferimento principale [3, 4].

Materiali e metodi

In concomitanza all'installazione del sistema PACS (Agfa IMPAX) sono state allestite 15 stazioni di refertazione dotate ognuna di un monitor a bassa risoluzione per l'accesso al database del Radiological Information System (RIS), che non sono stati considerati in questo studio, e due monitor ad alta risoluzione per la visualizzazione delle immagini medicali. I monitor installati sono di tre tipi: 7 stazioni con monitor EIZO LCD L685EX a colori (1,3 MP, 1280x1024 pixels), 4 con Barco CRT monocromatici MGD521 MKII (5MP, 2500x2000 pixels), 3 con Barco LCD monocromatici Coronis (3MP, 2000x1500 pixels). I monitor EIZO non sono prodotti destinati al mercato medicale, bensì per applicazioni grafiche di alto livello. I monitor CRT (Cathode Ray Tube) sono dotati dei classici tubi catodici di tipo televisivo: un pennello di elettroni accelerati viene fatto scorrere lungo l'intera superficie del monitor e modulato in intensità per generare il livello di grigio richiesto. La tecnologia LCD (Liquid Crystal Display) si basa invece sulla capacità dei cristalli liquidi di ruotare se percorsi da corrente: l'immagine viene quindi generata da una matrice di cristalli liquidi che a seconda dell'angolo che formano attenuano in modo maggiore o minore la luce emessa dalla lampada retroilluminante. Le stazioni di refertazione sono attualmente dislocate sia in diversi reparti dell'ospedale (Radiodiagnostica, Pronto Soccorso), che in un ospedale situato a qualche chilometro di distanza appartenente alla medesima Azienda Ospedaliera.

Il documento AAPM TG18 suggerisce, oltre alla indispensabile calibrazione, molteplici parametri da controllare, ognuno con diverse tecniche di varia complessità e livello di accuratezza. Le tipologie di misure possono variare da valutazioni visuali di immagini test a misure strumentali con complesse post-elaborazioni. La decisione riguardo a quale tipo di misura effettuare per ogni caratteristica da valutare

The display systems are classified into primary and secondary [3]; they are defined as primary when used for reporting and as secondary when they display medical images for purposes other than reporting, including console display of diagnostic units or for nonradiologists' reference. The tolerances specified in the AAPM TG18 report for both classes of monitors are synthetically presented in Table 1. All monitors included in this study are dedicated to reporting; therefore, they must meet the tightest tolerances of primary monitors.

In order to calibrate monitors and subsequent luminance measurements, the X-Rite DTP-92 colorimeter/photometer was used in combination with the MediCal Pro software package (Barco). The Hagner S3 telescopic photometer was also used for a few luminance measurements: this is an instrument characterised by its ability to measure remote luminance. Most tests, both visual and instrumental, require the use of geometric phantoms, i.e. ad hoc artificial images. We chose to use mostly the phantoms suggested by AAPM TG18 and available in digital imaging and communications in medicine (DICOM) format on the Internet [3].

Images were displayed on stations with the same software normally used by radiologists for reporting (Agfa IMPAX), taking care to use the window and level standard values, without any look-up table (LUT) that the software might apply. The phantom images were viewed at a 1:1 ratio, ensuring that image and screen pixels matched exactly. A warm-up period after start up of almost 30 min was also used before every measurement.

Reporting monitors need to be calibrated before clinical use. The calibration procedure is aimed at correcting the monitor response curve to obtain a condition of perceptual linearisation [6]. This means that two close grey levels should always have the same perceived luminance difference. The just noticeable difference (JND) is introduced for this purpose [7].

si è basata su di un compromesso tra la qualità del risultato e la semplicità di esecuzione, tenendo conto della situazione contingente delle sale di refertazione, sempre molto impegnate e senza la possibilità di allestire setup sperimentali complessi [5].

I sistemi di visualizzazione vengono classificati in sistemi primari e sistemi secondari [3]; si definiscono primari i sistemi di visualizzazione utilizzati per la refertazione, sono secondari invece i sistemi che visualizzano immagini mediche per scopi diversi dalla refertazione, tra cui la visualizzazione su console di unità diagnostiche o la consultazione da parte di medici non radiologi. Le tolleranze indicate nella pubblicazione AAPM TG18 per le due classi di monitor sono indicate sinteticamente in Tabella 1. Tutti i monitor considerati in questo studio sono dedicati alla refertazione, pertanto devono rispondere alle più strette tolleranze indicate per i monitor primari.

Per la calibrazione dei monitor e le successive misure di luminanza è stato utilizzato il colorimetro/fotometro X-Rite DTP-92 in combinazione con il pacchetto software MediCal Pro (Barco).

Per alcune misure di luminanza è stato utilizzato inoltre il fotometro telescopico Hagner S3, caratterizzato dal fatto di poter misurare la luminanza a distanza. Un buon numero di test sia visuali che strumentali svolti richiede l'utilizzo di fantocci geometrici, cioè immagini artificiali create appositamente. Si è scelto nella maggioranza dei casi di utilizzare i fantocci suggeriti da AAPM TG18 e disponibili in formato DICOM su Internet [3].

La visualizzazione delle immagini sulle stazioni è stata affidata al medesimo software normalmente in uso ai radiologi per la refertazione (Agfa IMPAX), avendo però l'accortezza di utilizzare i valori standard di finestra e livello, senza utilizzare nessuna LUT (Look Up Table) che il software

Table 1 Tolerances suggested by American Association of Physicists in Medicine Task Group 18 (AAPM TG18) for primary and secondary displays

	Primary displays	Secondary displays
Geometrical distortion, %	<2	<5
Maximum luminance, cd/m ²	>170	>100
Contrast ratio	>250	>100
Luminance response, %	<10	<20
Luminance uniformity, %	<30	<30
Resolution	$0 \leq Cx \leq 4$	$0 \leq Cx \leq 6$
Noise	3/4 inserts	2/4 inserts
Veiling glare	≥ 3 inserts	≥ 1 inserts

Tabella 1 Tolleranze indicate da AAPM TG18 per sistemi di visualizzazione primari e secondari

	Monitor primari	Monitor secondari
Distorsioni geometriche, %	<2	<5
Luminanza massima, cd/m ²	>170	>100
Contrasto	>250	>100
Risposta di luminanza, %	<10	<20
Uniformità di luminanza, %	<30	<30
Risoluzione	$0 \leq Cx \leq 4$	$0 \leq Cx \leq 6$
Rumore	3/4 inserti	2/4 inserti
Veiling glare	≥ 3 inserti	≥ 1 inserto

Based on the Barten model of human sight, the DICOM curve is defined as a curve that associates a luminance value between 0.05 and 4,000 cd/m^2 to each of the 1,023 JNDs that are supposedly noticeable by the human eye [8]. The monitor's response curve must therefore be corrected to account for the intrinsic response of the human eye. Given a minimum-maximum luminance range, calibration arranges the medium luminance values over equally spaced JNDs, thus obtaining perceptual linearisation [9]. The calibration procedure is automatically managed by the MediCal Pro software currently installed on all reporting stations. Before calibrating, the X-Rite contact photometer must be placed in the middle of the screen. With Barco CRT monitors, the procedure is repeated for every monitor of the pair. EIZO monitors are instead controlled by the workstation as if they were a single monitor (because of software and hardware limitations); hence, the calibration curve applied will be the same for both monitors. In this case, the calibration will be performed first on the left then on the right monitor, and the quality of the grayscale curve will be checked to ensure it is within limits. The only possible correction is reduction of the brightness setting of the brightest monitor in order to equalize maximum luminance (L_{\max}) as much as possible before the actual calibration. Barco LCD monitors incorporate a built-in sensor controlling the maximum luminance in real time to ensure greater stability of this parameter over time. This sensor is also used for calibration by the MediCal Pro software, not by the X-Rite photometer. Unfortunately, the user is given no information on the corrections made.

Geometric distortions

Deflections of the electron beam along its path often cause geometric distortions to appear on CRT monitors that do not maintain the height/width ratios in the different screen areas. This is a known defect, and high-quality monitors usually incorporate appropriate correction circuits. These distortions are assessed using a phantom image (AAPM TG18-QC, Fig. 1) containing square areas of different sizes in different positions. Widths and heights of the squares were measured with a flexible ruler for every monitor. Measurements were also taken on

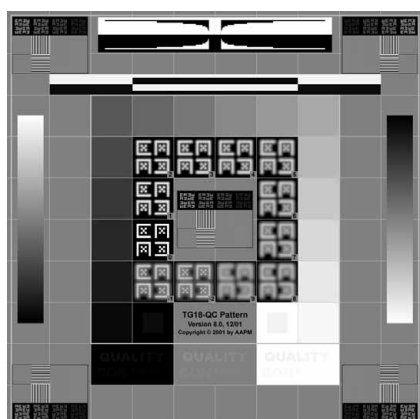


Fig. 1 American Association of Physicists in Medicine Task Group 18 (TG18)-QC.

Fig. 1 TG18-QC.

potrebbe applicare. Le immagini fantoccio sono state visualizzate con un rapporto di 1:1 in modo da garantire la corrispondenza esatta tra i pixel dell'immagine e i pixel dello schermo. Si è inoltre garantito un periodo di riscaldamento dopo l'accensione di almeno 30 minuti prima di ogni misura.

Prima dell'utilizzo clinico è necessario che i monitor dedicati alla refertazione vengano calibrati. La procedura di calibrazione è finalizzata a correggere la curva di risposta del monitor in modo da ottenere una condizione di linearizzazione percettuale [6]. Due livelli di grigio vicini, cioè, devono sempre avere la stessa differenza in luminanza percepita. A tale scopo si introduce il JND (differenza appena percepibile, Just Noticeable Difference) [7]. Partendo dal modello di Barten della visione umana è definita la curva DICOM che associa un valore di luminanza tra 0,05 e 4000 cd/m^2 a ognuno dei 1023 JND che si suppongono discernibili dall'occhio umano [8]. La curva di risposta del monitor deve pertanto essere corretta considerando la risposta intrinseca dell'occhio umano. La calibrazione fa in modo che, dato un intervallo di luminanza minima-massima, i valori di luminanza dei livelli di grigio intermedi si dispongano su JND equispaziati, ottenendo quindi la linearizzazione percettuale [9].

La procedura di calibrazione è gestita in modo automatico dal software MediCal Pro attualmente installato su tutte le stazioni destinate alla refertazione. Per eseguire la calibrazione è necessario che il fotometro a contatto X-Rite sia posizionato nel centro dello schermo. Per i monitor Barco CRT la procedura viene ripetuta per ogni monitor della coppia. I monitor EIZO sono invece pilotati dalla workstation come se fossero un monitor unico (a causa di limitazioni software e hardware), pertanto la curva di calibrazione applicata sarà la stessa per entrambi i monitor. In questo caso la calibrazione sarà effettuata sul monitor sinistro, salvo poi verificare anche sull'altro monitor che la qualità della curva dei grigi sia entro i limiti. L'unica correzione possibile è ridurre l'impostazione di luminosità (brightness) del monitor più luminoso in modo da pareggiare L_{\max} il più possibile prima di procedere alla calibrazione vera e propria. I monitor Barco LCD dispongono di un sensore incorporato che controlla in tempo reale la luminanza massima in modo da garantire una maggiore stabilità nel tempo di tale parametro. Questo sensore è anche utilizzato per la calibrazione dal software MediCal Pro al posto del fotometro X-Rite. Purtroppo nessuna informazione viene fornita all'utente sulle correzioni effettuate.

Distorsioni geometriche

Le deflessioni del pennello elettronico lungo il suo percorso portano spesso i monitor CRT a presentare delle distorsioni di tipo geometrico in cui non sono mantenuti i rapporti altezza/larghezza nelle diverse aree dello schermo. Questo è un difetto noto e i monitor di alta qualità sono solitamente dotati di circuiti appositi di correzione. Queste distorsioni vengono valutate utilizzando una immagine-fantoccio (AAPM TG18-QC) (Fig. 1) contenente delle aree quadrate di diverse dimensioni e in diverse posizioni. Si sono misurate con un righello flessibile le larghezze e altezze dei qua-

LCD monitors although they should not be affected by distortions since every pixel physically matches the position of the transistor controlling it. AAPM suggests a 2% tolerance range among the different measurements taken on a monitor.

Ambient reflections

Reflections of ambient light on the monitor were assessed using the TG18-AD phantom (Fig. 2): the image contains 49 low-contrast inserts at different spatial resolutions. According to the TG18, under optimal conditions, the smallest insert observable in total darkness must be the same as can be observed under standard reporting conditions; i.e. light reflections should not interfere with detection of low-contrast details. Light conditions of the room should be adjusted to achieve this condition. However, the measurements were taken in a less-than-optimal reporting situation, with a good number of ambient lights [10].

Luminance and contrast

The L_{max} and minimum luminance (L_{min}) are measured during the calibration procedure while a preset value can be set in the software. In Barco monitors, the factory-calibrated value is

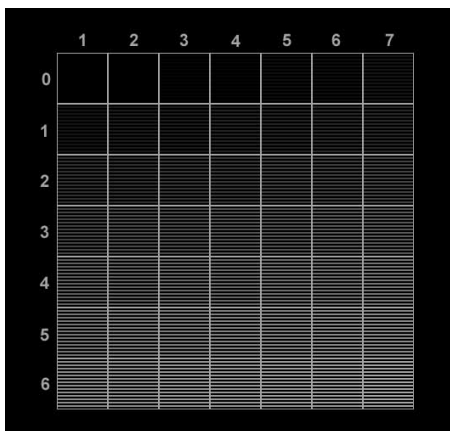


Fig. 2 American Association of Physicists in Medicine Task Group 18 (TG18)-AD (detail).

Fig. 2 TG18-AD (dettaglio).

drati, per ogni monitor. Sono state eseguite misure anche sui monitor LCD nonostante non dovrebbero essere affetti da distorsioni, essendo ogni pixel fisicamente impresso sullo schermo in corrispondenza del transistor che lo controlla. L'AAPM suggerisce una tolleranza del 2% tra le diverse misure eseguite su di un monitor.

Riflessi ambientali

I riflessi luminosi presenti sul monitor a causa della luce ambientale sono stati valutati utilizzando il fantoccio TG-18AD (Fig. 2): l'immagine contiene 49 inserti a basso contrasto con differenti risoluzioni spaziali. Secondo il TG18 in condizioni ottimali il minimo inserto visibile in condizioni di buio totale deve essere lo stesso visibile nelle condizioni standard di refertazione; i riflessi luminosi non devono cioè interferire con la visione dei dettagli a basso contrasto. Le condizioni di luce della stanza dovrebbero essere regolate in modo da rispettare questa condizione. Nelle misure effettuate è stata comunque considerata una situazione di refertazione non ottimale, accendendo un buon numero di luci ambientali [10].

Luminanza e contrasto

La luminanza massima (L_{max}) e quella minima (L_{min}) vengono misurate durante la procedura di calibrazione ed è possibile impostare nel software un valore prefissato. Nei monitor Barco come L_{max} viene impostato un valore corrispondente a quello dichiarato dalla casa costruttrice come valore "calibrato"; tale luminanza è inferiore alla luminanza massima che il monitor è in grado di emettere, in modo che sia possibile nel tempo mantenere la luminanza calibrata nonostante l'inevitabile decadimento dovuto all'uso [11]. I monitor EI-ZO invece, per poter rispettare i limiti minimi di luminanza richiesti vanno impostati alla massima luminanza possibile (brightness=100% nella maggioranza dei casi), rendendo così impossibile compensare il deterioramento che viene inoltre accelerato dagli alti valori di brightness impostati. Il rapporto di contrasto (CR) dipende fortemente dal valore di L_{min} ; quest'ultimo non può essere abbassato a piacere poiché renderebbe indistinguibili i dettagli a bassa luminanza,

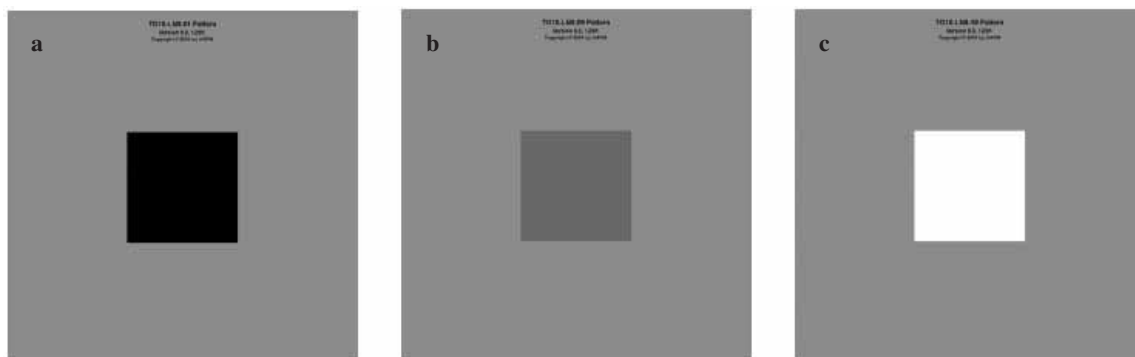


Fig. 3a American Association of Physicists in Medicine Task Group 18 (TG18)-LN01, **b** TG18-LN08, **c** TG18-LN16.

Fig. 3a TG18-LN01, b TG18-LN08, c TG18-LN16.

set as L_{max} ; this luminance is lower than the that the monitor can emit, so that the calibrated luminance can be maintained over time despite the inevitable deterioration caused by its use [11]. EIZO monitors, on the other hand, must be set to the highest L_{max} possible (brightness=100% in most cases) to meet L_{min} requirements, thus making it impossible to compensate for deterioration, which is also accelerated by the high brightness values set. The contrast ratio (CR) depends largely on the L_{min} value; it cannot be decreased at will because it would make the low luminance details vague, blurred by the ambient light reflections. Tolerances specified by the AAPM TG18 are: $L_{max}>170 \text{ cd/m}^2$ and $CR>250$.

Luminance response

Measurements to test the calibration were conducted using 16 AAPM TG18-LN geometric phantoms (Fig. 3) and the X-Rite contact photometer. These images are made up of 20% luminance background and of a central square of luminance spanning from black to white in 16 intervals with equally spaced grey levels, one per image. These measurements are taken by placing the contact photometer in the middle of the image. The luminance interval (L_{min} - L_{max}) is divided into 16 JND equally spaced levels, resulting in a luminance vs. JND response diagram to be compared with the DICOM curve, which is the quality target. Contrast response values, i.e. dL/L vs. JND, for which the recommended tolerance is 10% of the corresponding value of the DICOM curve, are more significant. The same MediCal Pro calibration software can automatically check the calibration following a similar procedure: the result is a percentage value indicating the degree of matching between the response curve and the DICOM curve. This test is used for the periodic QA checks and, sometimes, to decide whether to recalibrate a monitor if it is out of tolerance.

Luminance uniformity

Luminance uniformity is often poor in CRT monitors because of the different paths electrons have to travel before reaching the various spots of the screen. LCD monitors also experience lack of uniformity, basically due to the backlighting source. High-quality CRT monitors usually incorporate digital correction circuits to drastically reduce this flaw. Luminance uniformity was measured with a geometric phantom included in the MediCal Pro software. This is made up of a background with 20% luminance and of five square areas (in the middle and in the four corners) with 100% luminance. The luminance of these five areas was measured with the X-Rite photometer, and the percentage difference between the highest and lowest reading was calculated. In Barco monitors (both CRT and LCD), the evaluation was performed separately for each monitor of the pair while with EIZO monitors, the five squares are distributed between both monitors, thus providing an overall uniformity for that pair. The tolerance suggested by AAPM TG18 is 30%, as the maximum difference.

Spatial resolution

The resolution capability of a monitor is not merely its speci-

confusi dai riflessi della luce ambiente. Le tolleranze indicate da AAPM TG18 sono: $L_{max}>170 \text{ cd/m}^2$ e $CR>250$.

Risposta di luminanza

Le misure di verifica della calibrazione sono state effettuate utilizzando i 16 fantocci geometrici AAPM TG18-LN (Fig. 3), e il fotometro a contatto X-Rite. Queste immagini sono composte da uno sfondo di luminanza 20% e da un quadrato centrale di luminanza variabile dal nero al bianco in 16 intervalli a livelli di grigio equispaziati, uno per ogni immagine. Le misure vengono eseguite con il fotometro a contatto posizionato nel centro dell'immagine. L'intervallo di luminanza (L_{min} - L_{max}) viene diviso in 16 livelli JND (Just Noticeable Difference) equispaziati, producendo quindi un grafico di risposta luminanza vs. JND da confrontare con la curva DICOM che è l'obiettivo di qualità. Maggiormente significativi sono i valori di risposta di contrasto, cioè dL/L vs. JND, la cui tolleranza consigliata è del 10% rispetto al relativo valore nella curva DICOM. Lo stesso software di calibrazione MediCal Pro è in grado di effettuare un controllo automatico sulla calibrazione con un sistema analogo: il risultato fornito è un valore percentuale indicante la corrispondenza della curva di risposta con la curva DICOM. Tale test viene utilizzato per i controlli di qualità periodici ed eventualmente per decidere di ricalibrare un monitor qualora fosse fuori dalle tolleranze.

Uniformità di luminanza

L'uniformità di luminanza è spesso carente nei monitor CRT, a causa del differente percorso che gli elettroni devono percorrere per giungere nelle diverse regioni dello schermo. Anche i monitor LCD risentono di disuniformità, dovute sostanzialmente alla sorgente luminosa retroilluminante. I monitor CRT di alta qualità hanno solitamente dei circuiti digitali di correzione per migliorare drasticamente questo difetto. L'uniformità di luminanza è stata misurata utilizzando un fantoccio geometrico incluso nel software MediCal Pro; è composto da uno sfondo con luminanza 20% e da 5 aree quadrate (centro e 4 angoli) con luminanza 100%. La luminanza di queste 5 aree è stata misurata con il fotometro X-Rite ed è stata calcolata la differenza percentuale tra la lettura massima e quella minima. Nei monitor Barco (sia CRT che LCD) la valutazione è stata effettuata separatamente per i due monitor della coppia, mentre per i monitor EIZO i 5 quadrati sono distribuiti sui due monitor, fornendo quindi un valore di uniformità complessivo della coppia. La tolleranza proposta da AAPM TG18 è del 30% come massima differenza.

Risoluzione spaziale

La capacità risolutiva di un monitor non è semplicemente la dimensione del pixel dichiarata ma deve includere la capacità di controllare l'emissione del singolo pixel indipendentemente da quelli vicini. È una caratteristica critica per i monitor CRT, soprattutto lungo la direzione di scansione del pennello elettronico (orizzontale). La risoluzione è stata va-

fied pixel size but must include the ability to control emission of a single pixel regardless of adjacent pixels. This is a crucial feature of CRT monitors, particularly along the scanning direction of the electron beam (horizontal). Resolution was evaluated through a visual test using the TG18-CX phantom (Fig. 4) composed of a number of graphic inserts, with different levels of grey covering the entire surface of the monitor and showing in the middle a caption reporting the scores to be assigned to the resolution of those inserts. The scores range from 0 (perfect) to 9 (serious resolution problems); negative values are also possible, and they indicate monitor malfunction. The tolerance specified for this test is a score between 0 and 4.

Instrumental measurements have also been taken with the luminance method. The average luminance in the middle of two test objects composed of horizontal and vertical bands, alternatively black and white, at the monitor's nominal resolution (Nyquist frequency) was measured with a Hagner telescopic photometer. The two objects are expected to have a different average luminance because the electron beam is required to vary extremely quickly from minimum to maximum intensity and vice versa to draw the vertical bands, generating a lower average luminance because the maximum intensity condition has not been reached yet. These inserts are located in the middle and in the four corners of the TG18-QC phantom. According to AAPM TG18, the percentage difference between the average luminance cannot exceed 30% in the middle of the monitor. Monitor response at half the frequency (two black bands and two white bands) was probed using the inserts contained in the same phantom.

Noise

Background noise on screen is one of the possible factors limiting resolution of low-contrast details. Visual tests have been conducted using the TG18-AFC pattern (Fig. 5) containing four quadrants, with forced multiple-choice and low-contrast inserts. Recommended tolerance is three visible details out of four.

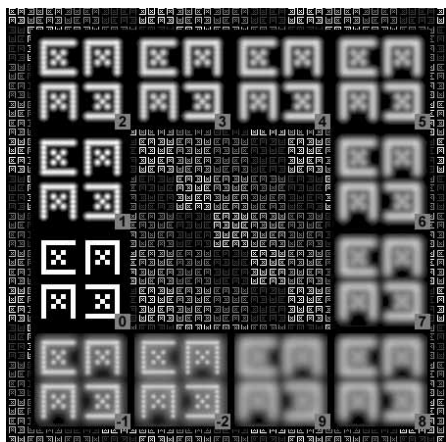


Fig. 4 American Association of Physicists in Medicine Task Group 18 (TG18)-CX (detail).

Fig. 4 TG18-CX (dettaglio).

lutata con un test visuale, utilizzando il fantoccio TG18-CX (Fig. 4) composto da numerosi inserti grafici a diversi livelli di grigio disposti a coprire tutta la superficie del monitor e nel centro da una legenda con il riferimento dei punteggi da assegnare al grado di definizione di tali inserti. I punteggi variano da 0 (perfetto) a 9 (gravi problemi di risoluzione); sono presenti anche valori negativi che indicano un problema di funzionamento del monitor. La tolleranza indicata per questo test è un punteggio compreso tra 0 e 4.

Sono state anche eseguite delle misure strumentali utilizzando il metodo della Luminanza. Con il fotometro telescopico Hagner si è misurata la luminanza media al centro di due oggetti test, composti da righe orizzontali e verticali alternativamente bianche e nere, alla risoluzione nominale del monitor (frequenza di Nyquist). Ci si aspetta che i due oggetti abbiano luminanza media differente, in quanto al pennello elettronico sono richiesti rapidissimi passaggi dall'intensità minima a quella massima e viceversa, per rappresentare le linee verticali, generando una luminanza media inferiore a causa del mancato raggiungimento della condizione di intensità massima. Questi inserti sono posizionati al centro e ai 4 angoli del fantoccio TG18-QC. Secondo l'AAPM TG18 la differenza percentuale di luminanza media non deve eccedere il 30% al centro del monitor. È stata indagata anche la risposta del monitor a una frequenza dimezzata (2 linee nere e 2 linee bianche) tramite gli inserti presenti nel medesimo fantoccio.

Rumore

Il rumore di fondo nella visualizzazione a schermo è uno dei fattori che può limitare la risolvibilità di dettagli a basso contrasto. Sono stati eseguiti test visuali utilizzando il pattern TG18-AFC (Fig. 5) contenente quattro quadranti con inserti a scelta multipla forzata a basso contrasto. La tolleranza suggerita è che siano visibili 3 dettagli su 4.

Veiling glare

I riflessi che avvengono all'interno della superficie del monitor producono un aumento della luminanza nelle aree scure adiacenti o circondate da aree ad alta luminanza. Una valutazione di questo effetto può essere eseguita utilizzando il pattern TG18-GV (Fig. 6), contenente cinque inserti a basso contrasto in una piccola area nera circondata da un grande anello bianco. La valutazione, di tipo visuale, si effettua mascherando con un cartoncino nero l'area chiara per evitare l'adattamento dell'occhio. La tolleranza indicata è che siano visibili almeno tre inserti sui cinque presenti.

Risposta angolare

L'emissione luminosa dei monitor LCD non è Lambertiana, cioè non dipende dall'inverso del coseno dell'angolo come è invece per la superficie proiettata. La luminanza percepita è quindi fortemente variabile in funzione dell'angolo di visione, provocando una degradazione del contrasto, arrivando perfino a valori negativi (inversione del contrasto).

Per ovviare a questo problema è necessario conoscere le

Veiling glare

Reflections within the monitor surface increase luminance in the adjacent dark areas or in those surrounded with high-luminance areas. This effect can be assessed using the TG18-GV pattern (Fig. 6) containing five low-contrast inserts in a small black area surrounded by a large white ring. Visual assessment is performed by masking the bright area with a black card to prevent eye adaptation. Specified tolerance is three visible inserts out of five.

Angular response

The light emission of LCD monitors is not Lambertian, i.e. it is not proportional to the inverse of the cosine of the angle, as the projected surface is instead. Therefore, the perceived luminance is a heavily variable as a function of the viewing angle, causing some contrast degradation, even reaching negative values (contrast inversion). To overcome this problem, the monitor's specifications must be known in order to define an angular interval where luminance and contrast remain acceptable. L_{max} and L_{min} were measured with the Hagner telescopic photometer aimed at the centre of the TG18-LN phantoms, considering only the two extreme luminance values (0% and 100%). The monitors were placed on a rotating base, where they acquired luminance values depending on the angle. According to AAPM TG18, the CR for angles other than the perpendicular should not drop by more than 30% below the limit suggested for the contrast (250); hence, the maximum CR value allowed is 175.

Anatomical images

Ten radiologists of different ages and experiences were recruited for this evaluation. They were asked to evaluate two reference images – an X-ray of the chest and one of the knee joint – in four modes: on film (gold standard), on Barco CRT monitors, on Barco LCD monitors and on EIZO LCD monitors. The evaluation consists of assigning a score from 1 to 6 at a series of parameters suggested by the AAPM TG18: general brightness, general contrast, clear definition of soft tissues and bone structures, etc.

TG18-QC

Many of the checks described can be performed less accurately but significantly faster (less than 1 min) using the TG18-QC pattern (Fig. 1). This phantom image contains inserts suitable to verify the absence of significant flaws in a short time, such as contrast or resolution loss and the presence of artefacts. The TG18-QC pattern results from the well-known Society of Motion Picture and Television Engineers (SMPTE) phantom, which is currently the industrial standard to test television chains; the use of this pattern is recommended by the international literature for day-to-day QA [12, 13].

Results and discussion

During acceptance tests, save for a few exceptions, monitors

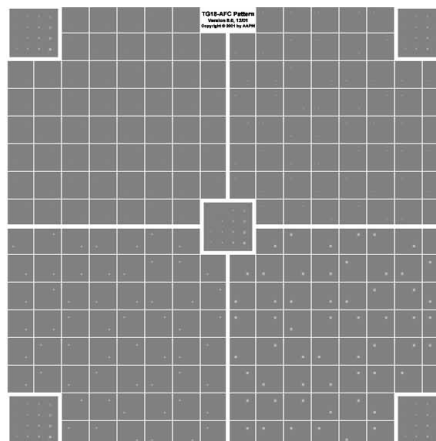


Fig. 5 American Association of Physicists in Medicine Task Group 18 (TG18)-AFC.

Fig. 5 TG18-AFC.

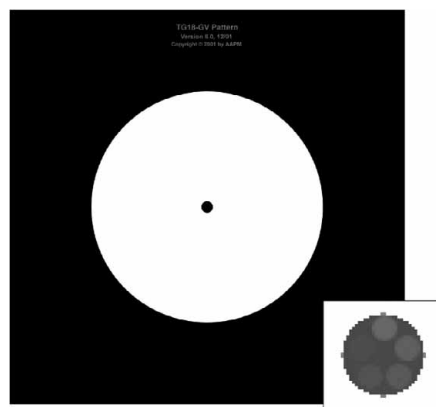


Fig. 6 American Association of Physicists in Medicine Task Group 18 (TG18)-GV: a magnification of low-contrast inserts placed in the middle of the phantom is shown in the corner.

Fig. 6 TG18-GV: nell'angolo è rappresentato un dettaglio degli inserti a basso contrasto presenti nel centro del fantoccio.

caratteristiche del monitor in modo da definire un intervallo angolare in cui luminanza e contrasto rimangono entro i limiti di accettabilità. L_{max} e L_{min} sono state misurate con il fotometro telescopico Hagner puntato sul centro dei fantocci TG18-LN limitatamente ai due valori di luminanza estremi (0% e 100%). I monitor sono stati posti su di una base rotante in modo da poter acquisire i valori di luminanza in funzione dell'angolo. Secondo AAPM TG18, il rapporto di contrasto per angoli diversi dalla normale non deve scendere di oltre il 30% rispetto al limite suggerito per il contrasto (250); quindi il massimo valore di CR consentito è 175.

Immagini anatomiche

Per questa valutazione sono stati arruolati dieci medici radiologi con diversa età ed esperienza. È stato chiesto loro di valutare due immagini di riferimento: una radiografia toracica e una articolazione del ginocchio, in quattro modalità: su pellicola (gold standard), su monitor Barco CRT, su monitor Barco LCD e su monitor EIZO LCD. La valutazione

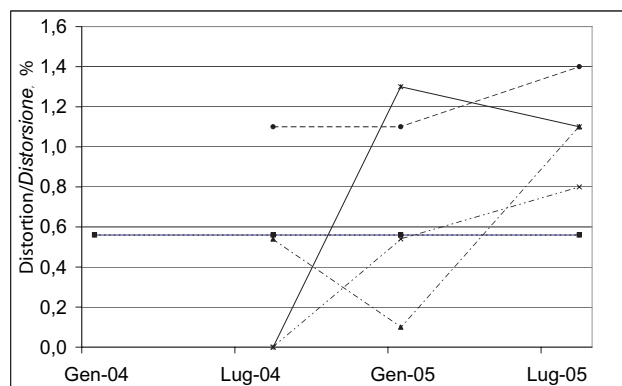


Fig. 7 Temporal behavior of geometrical distortions of Barco cathode ray tube (CRT) monitors.

Fig. 7 Andamento temporale delle distorsioni geometriche dei monitor Barco CRT.

were within the recommended tolerances. Nonetheless, the evolution of quality over time was followed by half-yearly checks.

Geometric distortions

By their nature, LCD monitors are not affected by distortions, and this has been confirmed by the measurements always showing a 0% distortion. The measurements taken on CRT monitors are always well within the 2% tolerance (Fig. 7); the slightly increasing trend that may be noticed may, in the future, require manually correcting the image geometry with the supplied software.

Ambient reflections

No evident specular reflections were found because of the correct monitor position; the presence of diffuse reflections caused by the light emitted by the adjacent RIS monitor, by any view boxes and by other ambient lights. EIZO monitors are significantly less sensitive to this effect, owing to the absence of glass protections, which is typical of LCD monitors. As a result, taking into account the presence of ambient light sources is crucial; when possible, they must be switched off before using monitors for medical purposes.

Luminance and contrast

The diagrams (Fig. 8) show the change of maximum luminance values over time. The different quality of monitors stands out immediately: medical models feature a high L_{max} , as well as the ability to keep it constant over a long period. EIZO monitors are, instead, pushed to the limit from the very first day to meet the minimum requirements, determining their quick deterioration. After 1 year, the L_{max} of many of them had dropped below the tolerance value of 170 cd/m^2 , causing their replacement.

Contrast values of EIZO monitors reportedly show a drop of that parameter as well (however, strictly related to L_{max}). Contrast ratios of Barco monitors, both CRT and LCD, on

consiste in una griglia di parametri suggeriti dall' AAPM TG18 a cui assegnare un voto da 1 a 6, tra cui: luminosità generale, contrasto generale, chiara definizione dei tessuti molli e delle strutture ossee, etc.

TG18-QC

Molti dei controlli descritti possono essere effettuati in maniera molto meno accurata, ma decisamente più veloce (meno di un minuto), utilizzando il pattern TG18-QC (Fig. 1). Questa immagine fantoccio contiene inserti atti a verificare in tempi brevi l'assenza di difetti importanti, quali cali di contrasto o di risoluzione e presenza di artefatti. Il pattern TG18-QC deriva dal ben noto fantoccio SMPTE che è attualmente lo standard industriale per la verifica delle catene televisive; l'utilizzo di tale pattern è raccomandato dalla letteratura internazionale come controllo di qualità giornaliero [12, 13].

Risultati e discussione

Nel corso delle prove di accettazione, salvo piccole eccezioni, i monitor sono risultati entro le tolleranze consigliate. Si è comunque proceduto a seguire l'andamento nel tempo della qualità grazie all'esecuzione di controlli con cadenza semestrale.

Distorsioni geometriche

I monitor LCD per loro natura non risentono di distorsioni e ciò è stato confermato dalle misure che indicano una distorsione sempre pari allo 0%. Le misure effettuate sui monitor CRT sono sempre abbondantemente entro la tolleranza del 2% (Fig. 7); il lieve trend di crescita che si può notare potrà portare in futuro la necessità di una correzione manuale della geometria dell'immagine, effettuabile con il software in dotazione.

Riflessi ambientali

Non sono presenti riflessi speculari evidenti, grazie al corretto posizionamento dei monitor; si è notata invece la presenza di riflessi diffusi causati dalla luce emessa dal monitor limitrofo del RIS, dai diafanoscopi eventualmente accesi e da altre luci ambientali. I monitor EIZO risentono molto meno di questo effetto grazie alla mancanza di protezioni in vetro davanti allo schermo, condizione tipica dei monitor LCD. Risulta quindi fondamentale l'attenzione alla presenza di sorgenti luminose nell'ambiente e, quando possibile, risulta utile provvedere a spegnerle prima dell'utilizzo medicale dei monitor.

Luminanza e contrasto

I grafici (Fig. 8) riportano l'andamento nel tempo dei valori di luminanza massima. Appare subito evidente la differente qualità dei vari monitor: i modelli medicali sono infatti do-

the other hand, remain stable at very high values.

Luminance response

At acceptance, luminance and contrast curves were acquired for each monitor. The half-yearly QA checks test the DICOM curve using the MediCal Pro software. Diagrams in Figure 9 show, for two sample monitors, the contrast curve as a function of the JND. The 10% tolerance for the DICOM curve, recommended by the AAPM TG18 report, is included in the diagram as a reference. Measurements taken confirmed that the limit is met. Sometimes, the calibration procedure had to be repeated to obtain a greyscale curve of sufficient quality. This shows that calibration is crucial and requires a number of conditions to be met: the photometer must be in a correct position, the screen must be sufficiently clean and sufficient monitor warm up is necessary. The quality factor of the curve did not deteriorate much over time, and only occasionally did the monitor need to be recalibrated after the tolerances were no longer met. A correct calibration procedure can maintain a good luminance curve despite rapid decay of L_{max} and CR. Of course, the monitor will

tati di una alta luminanza massima, nonché della capacità di mantenerla inalterata per un lungo periodo di tempo. I monitor EIZO invece vengono spinti al massimo fin dal primo giorno per soddisfare i requisiti minimi, con conseguente rapido deterioramento. Nel giro di un anno la luminanza massima di molti di questi è calata al di sotto del valore di tolleranza di 170 cd/m^2 , fatto che ne ha resa necessaria la sostituzione. Si riportano anche i valori di contrasto per i monitor EIZO per evidenziare il calo anche di questo parametro (comunque strettamente legato con la luminanza massima). I rapporti di contrasto dei monitor Barco, sia CRT che LCD si mantengono invece stabili su valori decisamente alti.

Risposta di luminanza

In fase di accettazione è stata acquisita la curva di luminanza e di contrasto per ogni monitor. In occasione dei controlli di qualità semestrali viene utilizzato il software MediCal Pro per la verifica della curva DICOM. I grafici in Figura 9 riportano, per due monitor rappresentativi, la curva di contrasto in funzione del JND (Just Noticeable Difference). La tolleranza del 10% rispetto alla curva DICOM, consigliata

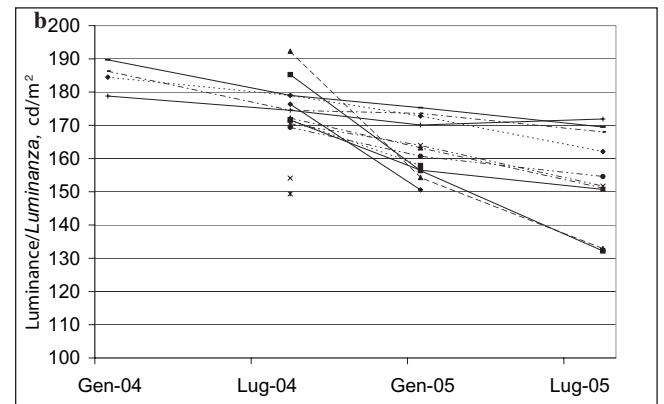
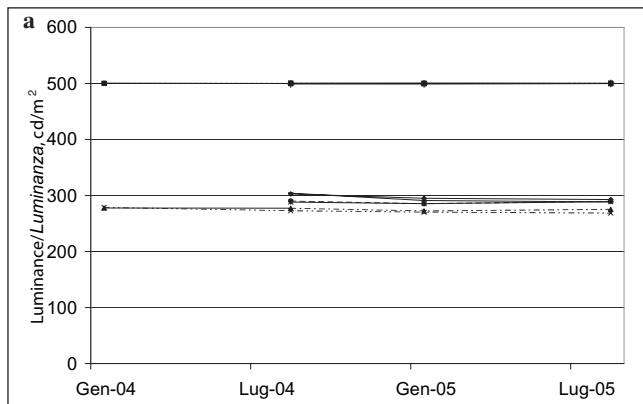


Fig. 8a,b Temporal behaviour of maximum luminance (L_{max}): a Barco monitors, b EIZO monitors.

Fig. 8a,b Andamento temporale della luminanza massima, a monitor Barco, b monitor EIZO.

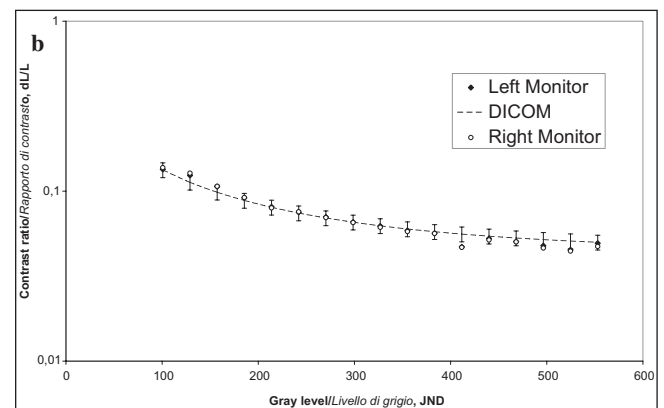
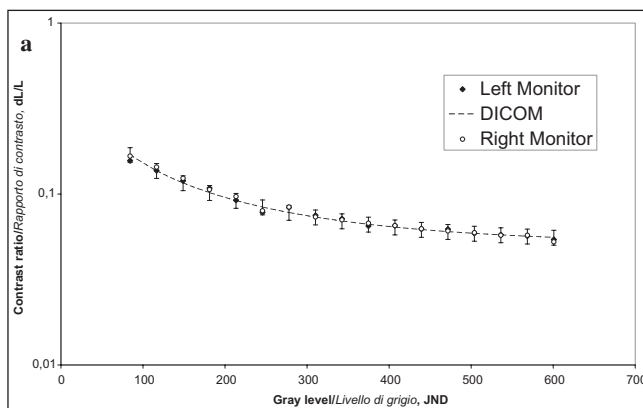


Fig. 9a,b Contrast curves of a reference (a) Barco cathode ray tube (CRT) monitor and (b) EIZO monitor.

Fig. 9a,b Curve di contrasto di un monitor di riferimento Barco CRT (a) e un monitor EIZO (b).

eventually work on a much lower JND range.

Luminance uniformity

Uniformity measurements were always within 30% of the specified tolerance.

No significant changes were found over time, not even with EIZO monitors in which uniformity is assessed for both monitors. Luminance decay against time is consequently independent of the single monitor.

Spatial resolution

Visual test of spatial resolution confirmed the excellent resolution capability of the monitors in question, also over time. Values measured on LCD monitors are constantly 0, and on CRT monitors, they stay within the tolerance range without decreasing over time. The luminance method was applied to CRT monitors only during the acceptance to probe even more deeply the actual spatial resolution.

The monitor proved scarcely able to represent pairs of lines at the nominal resolution along the horizontal axis. The ratio between the luminance of pairs of horizontal and of pairs of vertical lines largely exceeded the specified 30% tolerance. However, if a slightly lower spatial frequency (50% of it) was considered, that ratio remained largely within tolerances. It is nonetheless worth noting that the resolution was better in the centre of the screen than on the edges. This realisation and the success of the TG18-CX visual test let us assume that a structure such as the pairs of vertical lines can push the monitor to its limits but under perfectly theoretical conditions, which cannot be repeated in clinical usage. Those frequencies cannot be distinguished by the average observer, who can always rely on software instruments to magnify the area of interest.

Noise

On Barco monitors, three inserts out of four are visible while on EIZO monitors, only two are visible. No variations of this parameter were observed over time.

The test is strongly affected by contrast resolution, which is lower on EIZO monitors because of a lower maximum luminance. The noise generated by monitors, especially LCDs, is predictably negligible; hence, the inability to view the third insert, needed to meet tolerances, is really due to poor contrast.

Veiling glare

All monitors were found to be within tolerance values, allowing three inserts to be distinguished.

Angular response

Table 2 shows the maximum angles from the perpendicular that maintain the luminance values acceptable. Therefore, the diagnostic use of monitors for angles greater than 30°

dal documento AAPM TG18, è riportata sul grafico quale riferimento. Le misure effettuate hanno confermato il rispetto di tale limite. A volte è stato necessario ripetere la procedura di calibrazione per ottenere una curva dei grigi di sufficiente qualità. Ciò è indice della criticità della calibrazione che richiede molte accortezze, quali un corretto posizionamento del fotometro, una buona pulizia dello schermo e un sufficiente tempo di preaccensione del monitor.

Il fattore di qualità della curva non ha subito decadimenti particolari nel tempo e solo occasionalmente è stato necessario ricalibrare il monitor a seguito di un mancato rispetto delle tolleranze. Una procedura di calibrazione corretta riesce a mantenere una buona curva di luminanza, nonostante il forte decadimento della luminanza massima e del rapporto di contrasto. Ovviamente il monitor finirà per lavorare su di un range di JND molto inferiore.

Uniformità di luminanza

Le misure di uniformità sono risultate sempre contenute nel 30% di tolleranza indicata. Anche col passare del tempo non sono state evidenziate variazioni significative, neppure nel caso dei monitor EIZO in cui l'uniformità è valutata sui due monitor. Il degrado della luminanza in funzione del tempo risulta quindi indipendente dal singolo monitor.

Risoluzione spaziale

Il test visuale di risoluzione spaziale ha confermato l'ottima capacità risolutiva dei monitor in oggetto, anche nel corso del tempo. I valori riscontrati nei monitor LCD sono infatti costantemente sullo 0 e nei monitor CRT rimangono entro l'intervallo di tolleranza senza diminuire con il tempo. Il metodo della luminanza è stato applicato ai soli monitor CRT e solo in fase di accettazione per indagare ancora più a fondo l'effettiva risoluzione spaziale. Si è evidenziata una insufficiente capacità del monitor di rappresentare coppie di linee alla risoluzione nominale lungo la direzione orizzontale. Il rapporto tra la luminanza delle coppie di linee orizzontali e quelle verticali supera ampiamente la tolleranza indicata del 30%. Se si considera però una frequenza spaziale appena inferiore (la metà), tale rapporto rientra ampiamente nelle tolleranze. Risulta comunque interessante notare come la risoluzione risulti migliore nel centro dello schermo piuttosto che nei bordi. Questa constatazione, unita al buon risultato ottenuto dal test visuale TG18-CX, inducono a pensare che una struttura come le coppie di linee verticali siano in grado di portare il monitor ai suoi limiti, ma in condizioni del tutto teoriche e non presenti nell'utilizzo clinico. Tali frequenze infatti non sono neppure discernibili da un osservatore medio che potrà sempre contare sull'utilizzo di strumenti software per magnificare l'area di interesse.

Rumore

Nei monitor Barco sono visibili 3 inserti su 4, mentre in quelli EIZO solamente 2. Non sono state osservate variazioni nel tempo di questo parametro. Il test è fortemente affetto dalla risoluzione di contrasto che è minore nei monitor EI-

Table 2 Range of viewing angles from the perpendicular that ensure a contrast ratio (CR) within the tolerance limits

Monitor	CR>175	
EIZO		
Vertical	-36°	+30°
Horizontal	-33°	+18°
Barco		
Vertical	-35°	+52°
Horizontal	-57°	+58°

Table 3 Rating of monitors vs. film

	Barco CRT	Barco LCD	EIZO
Higher, %	25	15	0
Equivalent, %	70	75	85
Lower, %	5	10	15

CRT, cathode ray tube; LCD, liquid crystal display

Tabella 3 Valutazioni dei monitor rispetto alla pellicola

	Barco CRT	Barco LCD	EIZO
Superiore, %	25	15	0
Equivalente, %	70	75	85
Inferiore, %	5	10	15

CRT, cathode ray tube; LCD, liquid crystal display

with EIZO and greater than 50° with Barco monitors is not to be recommended.

Anatomical images

Radiologists' evaluations were analysed using Student's *t* test for paired samples, comparing the scores obtained with the different types of monitors with those obtained on film (Table 3). Only in a few cases was monitor quality judged lower than film quality, and sometimes Barco monitors scored even better than the gold standard. EIZO monitors were judged better than film, but in nearly all cases, the score was comparable although the test was carried out with high-resolution images, which are not usually reported on these workstations.

Conclusions

Measurements taken confirm the good quality of the system and its suitability to that specific application [14, 15]. Furthermore, they emphasise the need to make periodic checks of the most critical parameters, such as L_{max} and CR. We observed that those values tend to decay over time, leading to reduced image quality that is hard to detect day after day since their evolution is slow. The quality of the greyscale curve declines over time, making it essential to repeat the

Tabella 2 Intervallo di angoli rispetto alla normale per il quale il rapporto di contrasto (CR) è entro i valori di tolleranza

Monitor	CR>175	
EIZO		
Verticale	-36°	+30°
Orizzontale	-33°	+18°
Barco		
Verticale	-35°	+52°
Orizzontale	-57°	+58°

ZO a causa della luminanza massima inferiore. Il contributo di rumore generato dal monitor, soprattutto nel caso di monitor LCD, ci si aspetta sia trascurabile e quindi la mancata visibilità del terzo inserto, necessaria per rientrare nelle tolleranze, è in realtà dovuta allo scarso contrasto.

Veiling glare

Tutti i monitor sono risultati entro i valori di tolleranza, permettendo il discernimento di tre inserti.

Risposta angolare

In Tabella 2 sono riportati gli angoli massimi rispetto alla normale entro cui si possono considerare ancora accettabili i valori di luminanza. Si può quindi sconsigliare l'utilizzo diagnostico dei monitor per angoli superiori a 30° per gli EIZO e 50° per i Barco.

Immagini anatomiche

Le valutazioni dei radiologi sono state analizzate utilizzando il test *t* di Student per campioni appaiati, confrontando i punteggi ottenuti dai diversi tipi di monitor con quelli del film (Tabella 3). Solo in pochi casi la qualità del monitor è stata giudicata inferiore a quella della pellicola e neppure sono mancati casi in cui i monitor Barco venissero valutati meglio del gold standard. I monitor EIZO non sono mai risultati migliori del film, ma nella quasi totalità dei casi il giudizio è risultato equivalente, anche se il test effettuato riguarda immagini ad alta risoluzione che solitamente non vengono refertate su queste stazioni di lavoro.

Conclusioni

Le misure effettuate confermano la buona qualità del sistema e l'adeguatezza all'utilizzo specifico [14, 15]. Si evidenzia inoltre la necessità di mantenere un controllo periodico dei parametri più critici, come ad esempio la luminanza massima e il rapporto di contrasto. Si è visto infatti che tali valori tendono a decadere col tempo, portando a una ridotta qualità dell'immagine che è difficile percepire giorno per giorno in considerazione della lentezza dell'evoluzione. Anche la qualità della curva dei grigi declina col tempo, rendendo quindi fondamentale ripetere la calibrazione quando necessario. Le

calibration when needed. The measurements taken also enabled us to use the monitors in tasks suitable for their potential: EIZO monitors, for instance, are not used in the reporting of high-resolution examinations while Barco monitors showed their high quality even in the most critical applications. The periodic 6-monthly checks are currently assigned to the medical physics expert, but it is not to be ruled out, that in the future, part of them could be performed by the radiographer.

misurazioni effettuate hanno inoltre permesso di assegnare i monitor a compiti adeguati alle loro potenzialità: i monitor EIZO ad esempio non vengono utilizzati per la refertazione di esami ad alta risoluzione. Mentre si è evidenziata l'ottima qualità dei monitor Barco anche nelle applicazioni più critiche. I controlli periodici con periodicità semestrale sono attualmente competenza dell'esperto in fisica medica, ma non si esclude che in futuro una parte degli stessi possa essere effettuata dal tecnico sanitario di radiologia medica.

References/Bibliografia

- Mertelmeier T (1999) Why and how is soft copy possible in clinical practice? *J Digital Imaging* 12:3–11
- Seto E, Ursani A, Cafazzo J et al (2005) Image quality assurance of soft copy display systems. *J Digital Imaging* 18:280–286
- AAPM Task Group 18 (2005) Imaging Informatics Subcommittee: Assessment Of Display Performance For Medical Imaging Systems. AAPM Online Report N°3, <http://deckard.mc.duke.edu/~samei/tg18>
- Samei E, Badano A, Chakraborty D et al (2005) Assessment of display performance for medical imaging systems: executive summary of AAPM TG18 report. *Med Phys* 32:1205–1225
- Gutierrez D, Monnin P, Valley JF, Verdun FR (2005) A strategy to qualify the performance of radiographic monitors. *Radiat Prot Dosimetry* 114:192–197
- Krupinski EA, Roehring H (2000) The influence of a perceptually linearized display on observer performance and visual search. *Acad Radiol* 7:8–13
- NEMA (2001) Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), Part 14: Grayscale Standard Display Function. PS 3:14
- Barten PGJ (1992) Physical model for the contrast sensitivity of the human eye. *SPIE Proc* 1666:57–72
- Blume H, Ho AM, Stevens F et al (2001) Practical aspects of grayscale calibration of display systems. *SPIE Proc* 4323:28–41
- Goo JM, Choi J, Im J et al (2004) Effect of monitor luminance and ambient light on observer performance in soft-copy reading of digital chest radiographs. *Radiology* 232:762–766
- Krupinski E, Roehrig H, Furukawa T (1999) Influence of film and monitor display luminance on observer performance and visual search. *Acad Radiol* 6:411–418
- Nawfel R, Chan K, Wagenaar D et al (1992) Evaluation of video gray-scale display. *Med Phys* 19:561–567
- Gray JE, Lisk KG, Anderson W et al (1990) Acceptance and use of the SMPTE medical diagnostic imaging test pattern for television monitors and hard-copy recording cameras. *SMPTE J* 1001–1007
- Jung H, Kim HJ (2004) Assessment of flat panel LCD primary class display performance based on AAPM TG18 acceptance protocol. *Med Phys* 31:2155–2164
- Spekowitz G (1999) Characterization of color CRT display systems for monochrome applications. *J Digital Imaging* 12:102–113