

AAPM TG18에 의한 진단용 LCD 디스플레이 장치 정도관리 효과의 정량적 분석

연세대학교 *방사선의과학연구소, †보건과학대학 방사선학과

정 해 조* · 김 희 중*†

영상의 표시는 PACS 및 디지털 의료 영상계에서 중요한 요소이다. 동일한 디지털 데이터에 대한 영상의 질은 디스플레이 장치의 물리적 특성, 최적화된 설정 및 교정, 주위 불빛 조건 등에 의하여 영향을 받는다. 디스플레이 장치는 사용시간에 따라서 휘도 감소 및 설정값들의 변화에 의하여 성능이 저하된다. 디스플레이 시스템의 성능이 지속적으로 저하되기 때문에 일정한 주기마다 정도관리를 수행하여야한다. 정도관리 효과를 평가하기 위하여 진단에 사용되는 10대의 평판 LCD 디스플레이 장치를 선택하였으며, 설정값 교정 전과 후에 휘도 반응, 휘도 공간 의존도, 분해능, 그리고 색도 변화를 정량적으로 측정하여 평가하였다. 정도관리 효과는 휘도 반응과 휘도 공간 의존도 테스트에서 다소 큰 변화가 있었으나 분해능 및 디스플레이 색도에서의 영향은 크지 않았다. 디스플레이 장치의 주기적인 정도관리는 의료영상을 일관성 있게 표시하기 위하여 필수적이다. 본 연구 결과는 의료용 디스플레이 장치의 정도관리에 대한 항목 선정 및 주기를 결정하는 데 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

중심단어: AAPM TG18, 정도관리, 디스플레이 장치, 진단용 LCD

서 론

1970~80년대, 컴퓨터 기술과 디지털 영상 검출기의 발달은 병원 환경에 PACS (picture archiving and communication systems)의 도입을 촉진하여 왔다. PACS는 전통적으로 사용해온 필름 방식을 대신하여 디지털 방식으로 획득한 의료 영상들을 전송, 저장, 조회, 표시하는 효과적인 수단을 제공한다. PACS 환경에서의 디스플레이 장치는 전자적으로 디지털 영상을 획득하고, 처리하여 최종적으로 표시하기 위하여 필수적이다. 디지털 영상의 고유한 화질은 영상 획득 장비의 물리적인 특성들과 영상 획득 조건들의 결합에 의하여 결정된다. 획득한 영상의 표시는 의료 영상계에서 마지막 단계에 있고, 디스플레이 장치의 특성들은 임상적 설정과 주위 불빛 조건에 따라서 표시되는 영상의 화질에 영향을 준다. 최근에는 평판 디스플레이(flat panel

display, FPD) 장치가 PACS 환경에서 향상된 영상 화질, 편리성과 내구력, 그리고 소모 공간의 감소와 같은 잠정적인 유리한 특징들을 제공하여 폭넓게 사용되고 있다.

PACS의 사용이 널리 확산될수록, 의료용 디스플레이 장치의 물리적 특성 평가와 정도관리(quality control, QC) 프로그램은 더욱더 중요하게 된다. 최근에 QC 측면과 전자 디스플레이 장치의 물리적 디스플레이 특성들을 검증하려는 많은 노력들이 이루어져왔다.¹⁻⁵⁾ 이러한 성능검사 또는 정도관리 프로그램은 주로 SMPTE (society of motion picture and television engineers)의 패턴과 같은 종합적인 테스트 패턴을 사용하여 시각적 방법으로 시행되어졌다.¹⁾ 최근에 미국의학물리학회(american association of physicists in medicine, AAPM) Task Group (TG)18에서는 전자 의료 디스플레이 장치의 성능 평가의 쟁점을 다루는 표준 지침을 만들었다. AAPM TG18 보고서는 시각적(visual), 정량적(quantitative), 그리고 고급(advanced) 수준의 3단계로 구분하여 자세한 성능평가 방법을 그리고, 각각의 평가 단계에서 성능 평가에 대한 지침과 기준을 마련하여 제공하고 있다. AAPM TG18 보고서는 전자 디스플레이의 성능평가(또는 정도관리) 항목으로 기하학적 왜곡(geometric distortions), 반사(display reflection), 휘도 반응(luminance response), 휘도 공간 및 각도 의존(luminance spatial and angular depen-

이 연구는 식품의약품안전청 의료기기 기준규격 개발(06112의기규270) 연구사업 지원에 의하여 이루어진 것임.

이 논문은 2006년 6월 6일 접수하여 2006년 6월 19일 채택되었음.

책임저자 : 김희중, (220-710) 강원도 원주시 흥업면 매지리 234번지

연세대학교 보건과학대학 방사선학과

Tel: 033-760-2475, 02-2228-2370, Fax: 033-760-2815

E-mail: hjk1@yonsei.ac.kr

iciencies), 분해능(display resolution), 노이즈(display noise), 베일링 글레어(veiling glare), 색도 (display chromaticity)와 기타 테스트(miscellaneous tests)를 포함하였다.⁶⁾

2002년 08월 연세의료원 세브란스병원 영상의학과에 관독용으로 18대의 CRT 디스플레이(MGD521 MKII; Braco-View, Belgium)와 32 대의 평판 LCD 디스플레이(ME312L; Totoku Electric Co., Ltd., Japan)를 포함하는 full-PACS (GE Medical Systems Korea, GEMSK)의 설치를 완료하여 진료에 사용하기 시작하였으며, 디스플레이 장치는 대략 3개월 단위로 제조사가 권고하는 설정값 교정(calibration)을 포함하는 정도관리를 주기적으로 수행하였다. AAPM TG18 보고서에서는 위 8개 정도관리 항목에 대하여 적합한 실행주체(방사선과의사, 의학물리학자, 방사선사)와 주기(매일, 매주, 매달, 분기별, 매년)를 구분하여 권고하고 있다. 국내외적으로 의료용 디스플레이 장치에 대한 성능검사/정도관리 체계를 법제화하려는 노력이 일부에서 시도되고 있다. 국내에서는 식품의약품안전청 전자의료기팀에서 PACS 영상의 성능평가 기준 개발의 일환으로 의료용 디스플레이 장치의 성능평가 및 정도관리기준 개발 연구에 큰 관심을 갖고 프로젝트를 진행하고 있다.

본 연구에서는 AAPM TG18에 기준하여 의료용 LCD 디스플레이 장치의 설정값 교정 전과 후 정도관리 항목의 정량적인 측정과 분석을 통하여 정도관리의 효과와 정도관리 기준 개발 기초 자료(정도관리 대상 및 주기)로 제안하고자 한다. 본 연구에서는 병원 환경에서 시간적, 현실적인 상황을 고려하여 측정/분석 항목으로 휘도 반응, 휘도 공간 의존도, 분해능, 그리고 색도를 대상으로 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 대상

연세의료원 세브란스병원 영상의학과 신경계 관독실에

서 사용하고 있는 10대의 흑백 LCD 평판 디스플레이 장치(Totoku, Model ME312L, Japan)를 정도관리 전후의 성능평가 대상으로 선정하였다. MEL312L 디스플레이 장치는 20.8 inch active TFT monochrome LCD panel을 사용하며, 디스플레이 면적은 423.9×318.0 mm, pixel resolution은 2,048×1,536, 최대 휘도는 600 cd/m²이다.

2. 실험 방법

실험에 사용된 10대의 흑백 LCD 평판 디스플레이 장치는 2004년 11월 12일 설정값 교정(calibration)을 하여 지속적으로 일상적인 영상의학과 진단을 위하여 사용하였다. 2005년 2월 26일 휘도 반응, 휘도 공간 의존도, 분해능, 그리고 색도 항목을 AAPM TG18 보고서에 따른 정량적인 측정을 한 후, 설정값 교정을 실시하여 다시 휘도 반응, 휘도 공간 의존도, 분해능, 그리고 색도를 측정하였다.^{6,7)} 설정값 교정은 제조사에서 제공하는 calibration 프로그램(Medivisor 1.4, Totoku, Japan)과 monitor optimizer (X-Rite DTP94, USA)를 사용하여 실시하였으며 최대 휘도 설정은 제조사 권고에 의하여 410 cd/m²였다. 휘도 반응, 휘도 공간 의존도, 분해능, 그리고 색도 측정은 telescopic photometric and colorimetric equipment (Topcon spectrometer SR-3, Japan) 그리고 AAPM 테스트 패턴들을 사용하였다.

1) 휘도 반응(Luminance response)

디스플레이 장치 장치의 휘도는 표준화된 디스플레이 시스템의 입력값들과 디스플레이되는 휘도 사이를 관련시키는 것이다. 정량적인 휘도 반응 검사는 18단계로 이루어진 TG18-LN 테스트 패턴들과 휘도계를 사용하여 이루어진다(Fig. 1). 그리고 측정된 결과들은 두 측정 사이의 휘도 차이에 대한 평균 대조도 전달 특성을 결정하도록 계산된다.^{2,6,7)} 관독용 디스플레이 장치의 최대 휘도는 최소한 171 cd/m² 이상이어야 하고, 바람직한 휘도비(luminance ratio, $LR=L_{max}/L_{min}$)는 250 이상이 되어야 한다.

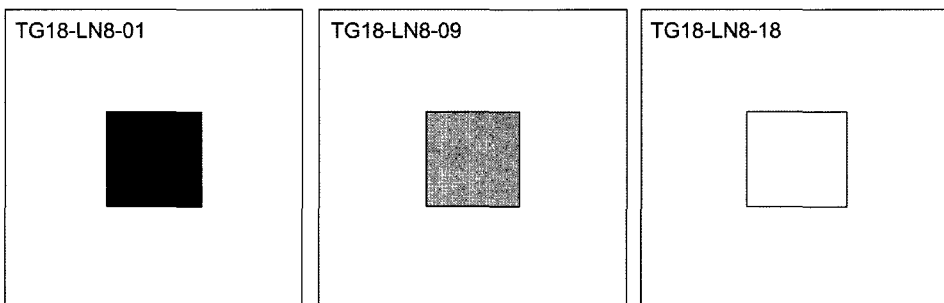


Fig. 1. TG18-LN-01 test pattern (left), TG18-LN-09 test pattern (middle) TG18-LN-18 test pattern (right).

2) 휘도 공간 의존도(Luminance spatial dependencies)

휘도 공간 의존도는 균일한 테스트 패턴이 디스플레이 되었을 때, 디스플레이된 면적에서 휘도의 최대 변이를 나타내는 것이다. TG18-UNL10과 TG18-UNL80 테스트 패턴을 디스플레이하여 중앙과 각 4 모서리 부분에서 휘도계를 이용하여 휘도를 측정한다.^{6,7)} 각 디스플레이된 패턴에 대하여 최대 휘도 편차는 $200 * (L_{max} - L_{min}) / (L_{max} + L_{min}) %$ 로 계산된다(Fig. 2). 이 휘도 불-균일도는 30%보다 작아야 한다.

3) 디스플레이 분해능(Display resolution)

디스플레이 시스템에서 공간 분해능은 높은 충실도로써 한 물체의 서로 다른 점들을 분리하여 볼 수 있는 능력을 측정하는 것이다. TG18-QC (또는 SMPTE) 테스트 패턴을 디스플레이하였을 때 횡축과 종축의 Nyquist frequency (line-pair pattern)의 중앙과 4 모서리에서 휘도계를 사용하여 각

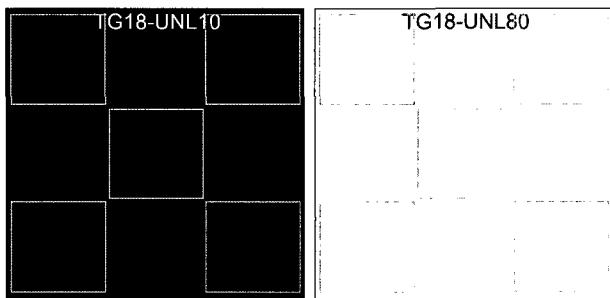


Fig. 2. TG18-UNL10 test pattern (left), TG18-UNL80 test pattern (right).

각의 휘도를 측정한다.^{6,7)} 테스트 패턴의 중앙에서 측정된 평균 휘도 차이, $\Delta L = 200 * (L_{ver} - L_{hor}) / (L_{ver} + L_{hor}) %$ 가 30%보다 작아야 한다(Fig. 3).

4) 디스플레이 색도(Display chromaticity)

디스플레이 장치의 컬러 색조는 단독 워크스테이션에서 사용되는 다양한 계조표시(gray-scale)의 컬러를 조화시키는 데 중요하다. 컬러 색도를 측정하기 위하여, 측색계(colorimeter)와 TG18-UNL80 테스트 패턴을 사용하여 디스플레이 시스템의 중앙과 4 모서리 부분에서 시스템 컬러 u'와 v'의 좌표들을 측정한다. 컬러 균일도 변수는 두 점, (u_1', v_1') 와 (u_2', v_2') , 사이의 거리 $D = ((u_1' - u_2')^2 + (v_1' -$

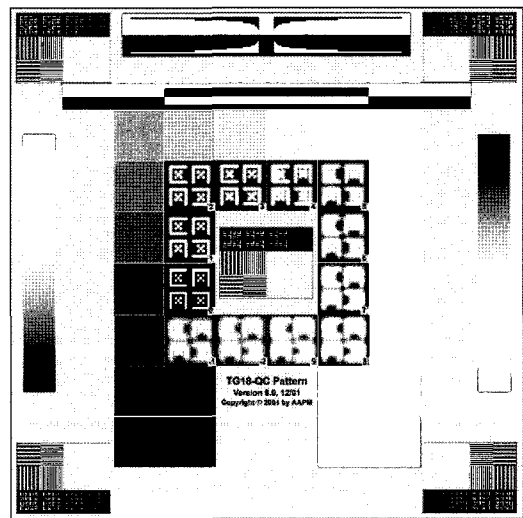


Fig. 3. TG18-QC comprehensive test pattern.

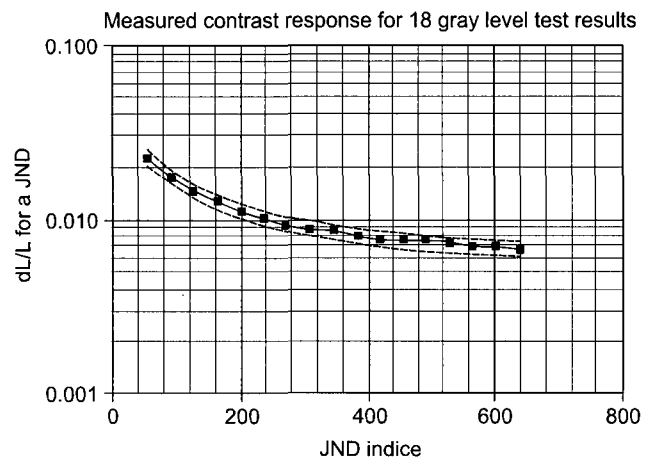
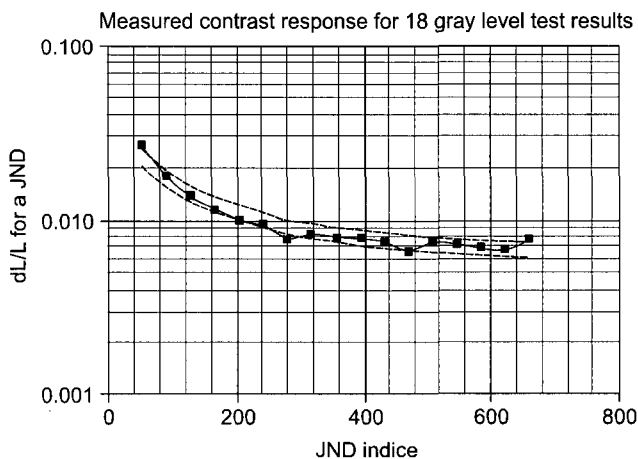


Fig. 4. Example of measured contrast response, which is related to the expected contrast response associated with DICOM 3.14 standard luminance response with 10% tolerance limits indicated with dot lines, for before (left) and after (right) calibration.

$v_2')^2)^{1/2}$ 의 식으로부터 계산된다.^{6,7)} 관독용 디스플레이 장치에서 최대 컬러 균일도 변수는 0.01보다 작은 값이어야 한다.

결 과

10대의 Totoku ME312L 흑백 LCD 평판 디스플레이 장치(n=10)에 대하여 설정값 교정 전과 후의 휘도 반응 측정 결과는 DICOM 3.14 표준 휘도 반응 함수(DICOM part 14: grayscale standard display function, GSDF) 관련된 JND (just noticeable difference) indices로 변환한 대조도 반응으로 Fig. 4와 5에 도시하였으며 설정값 교정 전에 비하여 교정 후 적은 비율의 편차를 나타낸다.^{2,6,7)} 그 밖의 물리적 특성인 L_{max} (최대 휘도), LR (luminance ratio, 휘도비) 및 ΔL_{max} (바람직한 최대 휘도와 측정된 최대 휘도 사이의 차이)는 Table 1에 나타내었다.

휘도 공간 의존도 테스트로부터 설정값 교정 전과 후 최대 휘도 변이는 TG18-UNL10 테스트 패턴에 대하여 각각 $27.4 \pm 24.9\%$ 그리고 $21.5 \pm 6.2\%$ 였으며, TG18-UNL80 테스트 패턴에 대하여 각각 $21.5 \pm 4.6\%$ 그리고 $23.3 \pm 3.7\%$

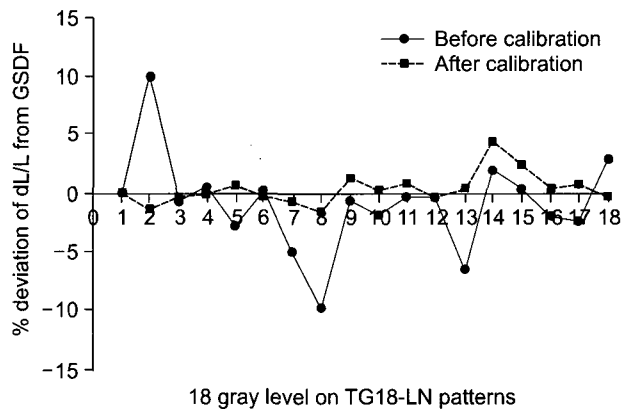


Fig. 5. Contrast response computed for 18 gray levels (n=10).

Table 1. Additional average values derived the results of luminance response tests and the maximum luminance of the LCD displays was set to 410 cd/m^2 (n=10).

	L_{max} (cd/m^2)	$LR=L_{max}/L_{min}$	ΔL_{max} (%)*	Contrast deviation
Before calibration	477.2 ± 34.5	481 ± 111	17.6 ± 5.0	12.8 ± 5.9 (%)
After calibration	419.9 ± 4.4	446 ± 73	0.9 ± 0.5	4.6 ± 0.9 (%)
AAPM criteria	≤ 170	≤ 250	≥ 5	$\geq 10\%$ of GSDF

ΔL_{max} (%)*= $100 \times (\text{measured maximum luminance} - \text{desired maximum luminance}) / \text{desired maximum luminance}$.

였다.

휘도 방법에 의한 분해능 측정에서 설정값 교정 전과 후 % 휘도차이를 중앙(center, CT), 위왼쪽(top left, TL), 위오른쪽(top right, TR), 아래왼쪽(bottom left, BL), 그리고 아래오른쪽(bottom right, BR)에 대하여 각각 Fig. 6에서 도시하였다.

색도 측정에서 설정값 교정 전과 후 평균 컬러 균일도 변수 (D)는 각각 0.0040 ± 0.0003 , 0.0028 ± 0.0005 였다.

고찰 및 결론

Backlight를 사용하는 평판 LCD 디스플레이 장치는 사용 시간이 경과함에 따라서 backlight의 휘도가 지속적으로 감소하며, 또한 DICOM (digital imaging and communications in medicine) Part 14: Grayscale Standard Display Function에 의하여 설정된 값들이 변화하게 된다. 따라서 진단/임상 목적으로 사용하는 의료용 디스플레이 장치는 주기적으로 정도관리를 실시하여 진단/임상에서 요구되는 최소한의

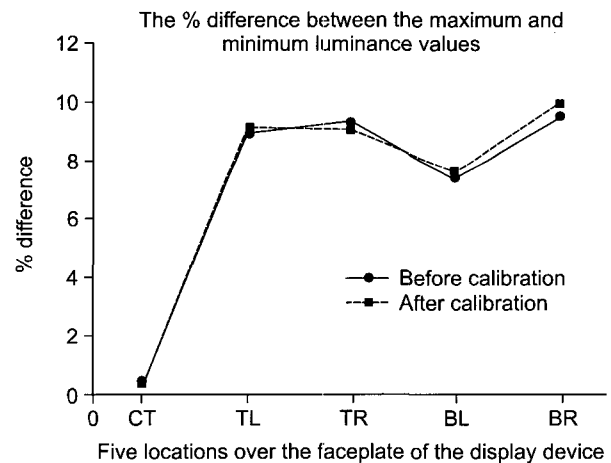


Fig. 6. The % difference between the luminance on vertical lines and the luminance on horizontal lines (n=10).

성능들을 유지하여야한다.

AAPM TG18에서 의료용 디스플레이 장치 성능평가/정도관리로 권고하는 항목에서 기하학적 왜곡 테스트는 일정한 pixel들의 배열로 구성된 평판 디스플레이 장치에서는 무의미하며, 반사 정량적 테스트는 특수한 광 선원 및 불빛 차단 도구가 필요하며, 노이즈 정량적 테스트는 디스플레이 시스템의 normalized noise power spectrum (NPS)을 구해야 하기 때문에 실제 병원 환경에서는 노이즈 테스트에 대하여 시각적 테스트를 실시한다. 또한 베일링 그레이 테스트는 설정값의 변화보다는 디스플레이 장치가 가지고 있는 성능 특성에 주로 의존한다. 이러한 이유로 기하학적 왜곡, 반사, 노이즈, 그리고 베일링 그레이 테스트는 본 연구에 포함하지 않았다.

Fig. 4와 5에서와 같이 설정값 교정 전과 후 휘도 반응 테스트에서 교정 후에 contrast response의 편차가 교정 전에 비하여 감소하는 것을 보여준다. 설정값 교정 전 휘도 반응 테스트에서 10대의 디스플레이 장치 중 4대의 contrast response가 AAPM TG18에서 권고하는 10% 허용 한계를 벗어났으나 교정 후에는 모두 AAPM TG18에서 권고값 내에 포함되었다. 이러한 결과는 설정값 교정이 대조도 반응의 편차를 감소시키는데 효과적임을 보여준다. Table 1에서와 같이 최대 휘도(L_{max})와 바람직한 최대 휘도와 측정된 최대 휘도 사이의 차이(ΔL_{max})는 설정값 교정에 의하여 보다 최적화되었음을 보여준다.

설정값 교정에 의한 휘도 공간 의존도, 즉 휘도 변이는 뚜렷한 차이가 없었으며 TG18-UNL10 테스트 패턴에 대한 변이가 TG18-UNL80 테스트 패턴에 비하여 크게 나타남을 보여준다.

디스플레이 장치의 색도 테스트에서 설정값 교정에 의하여 평균 컬러 균일도 변수(D)값이 감소하였음을 보여준다. AAPM TG18 보고서 개발 초기에 디스플레이 장치의 색도의 권고값을 0.004로 하였으나 최종 보고서에는 0.01로 다소 완화하였다.

의료용 디스플레이 장치의 성능은 의료 영상의 진단에 직접적인 영향을 주며, 주기적인 정도관리는 의료 영상을 일관성 있게 표시하는데 필수적 요소이다. 본 연구에서는 선택적인 디스플레이 장치 및 정도관리 항목들에 대하여 설정값 교정 전과 후 장치의 성능 평가를 정량적으로 실시/분석하였다. 이러한 결과들은 정도관리의 주체 및 검사 항목 선정, 그리고 주기를 결정하는데 유용한 역할을 할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. **SMPTE RP133**: Specification for medical diagnostic imaging test pattern for television monitors and hardcopy recording cameras, Society of Motion Picture and Television Engineers, 595 West Hartsdale Ave., White Plains, NY 10607 USA +1914 761-1100
2. **NEMA PS 3.14-2001**: Digital imaging and communications in medicine (DICOM) part 14: grayscale standard display function, National Electrical Manufacturers Association, 1300 N. 17th Street Rosslyn, Virginia 22209 USA
3. **DIN 6868-57-2001**: Image quality assurance in x-ray diagnostics, acceptance testing for image display devices, The German Standards Institution, Deutsches Institut für Normung e. V., February (2001)
4. **IEC 61223-2-5**: Evaluation and routine testing in medical imaging departments - Part 2-5: Constancy tests - Image display devices, Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), International Commission on Illumination, CIE Central Bureau, Kegelgasse 27, A-1030, Wien, Austria (1994)
5. **VESA**: Flat panel display measurements (FPDM2) standard version 2.0, Video Electronics Standards Association, 920 Hillview Court, Suite 140, Milpitas, CA 95035, (2001)
6. <http://deckard.mc.duke.edu/~samei/tg18>: AAPM Online No. 03: Assessment of Display Performance for Medical Imaging Systems
7. **Jung HJ, Kim HJ, Kang WS, et al**: Assessment of flat panel LCD primary class display performance based on AAPM TG 18 acceptance protocol. Medical Physics 31:2155-2164 (2004)

Quantitative Analysis of Effects for Quality Control on Medical Primary Class LCD Display Devices Based on AAPM TG18 Report

Haijo Jung*, Hee-Joung Kim*[†]

*Research Institute of Radiological Science, Yonsei University, [†]Department of Radiological Science/Radiology, Yonsei University College of Health Science/Medicine

The image display is an important component of PACS and of medical digital imaging chain. Displayed image quality is affected by the physical characteristics of display device, appropriate clinical settings and calibrations, and ambient lighting conditions. The performance of display systems is continuously degraded over time due to luminance deterioration and changes of clinical setting parameters. A routine QC is recommended because the performance of display systems is continuously degraded over time. Ten flat panel monochrome LCD display devices were included in the evaluation of the QC effect. The effect of QC on primary class LCD medical display devices for selected QC tests was evaluated by comparing the performances, luminance response, luminance dependencies, display resolution and display chromaticity in this study, of before and after the calibration procedures. The effects of the QC are significant to luminance response and luminance spatial dependencies test and the other side, are slight to the display resolution and display chromaticity test. A routine QC of display device is essential for the consistency of medical image display and presentation. The study of the QC effects of display devices will play an important role in practical QC procedures of display devices.

Key Words: AAPM TG18, Quality control, Display device, Primary class LCD