

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 ソフトコピー診断における縮小画像の
視覚評価に関する研究

氏 名 井堀 亜希子

論 文 内 容 の 要 旨

医療施設でのデジタル化および PACS(Picture Archiving and Communication Systems)運用により、画像診断形態はフィルムからモニタに移行し、普及している。これらフィルムレス環境の普及に伴い、デジタル画像表示装置のニーズが高くなっている。医用モニタは目的とする用途や使用される環境によって求められる表示品質が異なり、特にマンモグラフィ、胸部 X 線画像などの微細な陰影を正確に表示することが要求される読影用モニタには、従来の X 線フィルムと同等以上の高い表示品質が要求される。

しかし、マンモグラフィにおいては画素数が非常に多く、高精細モニタを用いても 1 画面に検出器で得られた全画素を表示することはできない。特に位相コントラストマンモグラフィ(phase contrast mammography: PCM)において拡大撮影を行う場合、画素数は約 7000 万画素(70 million pixel:70M)となり、マンモグラフィ用読影モニタとして推奨されている 500 万画素(5 million pixel:5M)のモニタを使用しても 1 画面で表示することは不可能である。したがって、1 画像表示するときはモニタにフィットするサイズに縮小して表示している。マンモグラフィの読影の際には、一般的に 1 画像を画面全体に表示して異常所見を見つけ、その部分を拡大して表示し読影するので、1 画像表示で異常所見を指摘できないと診断能の低下につながる。加えて、マンモグラフィの読影ではモニタの 1 画面に左右の乳房を表示させて 2 画像表示で読影を行う

こともある為、表示される画像は元画像に比べて縮小率が高くなってしまふ。

本研究では、現在医用画像表示用として一般的に用いられているモニタについて、作成したシミュレーション画像と撮影したファントム画像を使用した視覚評価実験を行うことにより、モニタ上の画像縮小率の違いがマンモグラフィの診断における信号検出能に及ぼす影響を調べることを目的とした。また、縮小率が同じ場合でも、その補間方法によって縮小後の画像の画質は異なるため、本研究では代表的な3種類の補間方法(ニアレストネイバー法、バイリニア法、バイキュービック法)を使用して縮小を行い、補間方法の違いについても検討し最適な補間方法を検討した。

使用するモニタによって画素数が異なるので、表示する画像の縮小率は変化する。どれくらいの大きさの信号が各縮小率にした場合に消失するか、あるいはどの程度のコントラストの信号が縮小によって検出できなくなるのか調べるためにシミュレーション画像を使用した視覚評価を行った。作成した画像は円形信号の径とコントラストを変化させたバーガーファントムとした。円形信号は、マンモグラフィ画像で描出される乳癌の微小石灰化を模している。また、PCMを用いた24kV、25mAsの撮影条件で均一曝射し、半切サイズの一様画像を得た。この一様画像と作成したバーガーファントム画像を合成した画像をシミュレーション画像とした。縮小率は2M、3M、5MのモニタにPCM画像を表示した時の縮小率とし、5Mのモニタ1画面に2画像表示した際の縮小率による信号検出能についても検討した。結果、マンモグラフィ画像を読影する際に推奨される5Mモニタの画像サイズでは検出率が高い結果になったが、それよりも画像サイズが小さい場合は信号の検出率が低下した。本実験ではすべて5Mのモニタで視覚評価を行ったので、縮小の程度が大きくなるほど画像は小さくなり信号検出率に影響が出てしまったと考える。縮小率が低い場合は、小さくてコントラストが低い信号が検出できないという傾向がみられた。しかし縮小率が高い場合は、必ずしも小さい信号が検出できないわけではなく、縮小の方法によって検出できない信号の形に一定の傾向が見られた。信号は検出し辛いのでなく、画像が縮小されるときに、周期的に信号が消失しており、信号が消失する周期は補間方法によって異なっていた。

シミュレーション画像では各信号をマス目上に配置した画像を作成したので、補間する際に隣の信号の干渉も受けて周期的に信号が消失してしまった。そこで次に、視覚評価画像

として実際にマンモグラフィ装置でファントムを撮影した画像を使用した実験を行った。医療用ではない画像については、補間方法の違いによる縮小画像の画質評価は行われているが、X線画像、特にマンモグラフィ画像を縮小する場合の補間方法の違いについては今まであまり明らかにされていない。加えて、本研究では乳癌の所見である石灰化や腫瘍、線維を模した試料を内蔵したファントムを使った視覚評価を行うため、実際の読影条件に非常に近く、また、縮小率の違いによってどの程度の径の石灰化が消失するかという詳細な違いを検出することができる。これにより、非常に細かい石灰化を描出するのに最適な補間方法を見出すことが可能であるという点がこの研究の新規性として挙げられる。

本研究では、ファントム画像としてTissue-Equivalent Phantom Model 011AをPCMを用いて28 kV, 50mAsで撮影した。自作ソフトを用いて撮影したファントム画像を縮小した。縮小率は2M, 3M, 5MのモニタにPCM画像を1画像表示した時の縮小率とした。画像の評価としては、「マンモグラフィを導入した乳癌検診システムのガイドライン」による評価方法に基づき、スコアをつけた。結果、石灰化試料については検出できた個数は表示画像サイズが小さくなるにしたがって低下した。表示画像サイズが大きい場合には各補間方法に差は見られないが、表示画像サイズが小さくなるにつれて差がみられ、バイリニア法が他の方法に比べて検出率が高いという結果となった。腫瘍試料については、5Mサイズと3Mサイズに縮小した場合に検出率が高く、表示画像サイズが小さくなるにつれて検出率は低下した。この理由として、縮小率が高い場合には信号の消失が生じ、縮小率が低い画像が大きい場合には信号内のSNR(signal-noise ratio)が悪くなるのが原因であると考えられる。線維試料については、縮小率の違いによる検出率の差は認められなかった。どの縮小率においても、バイリニア法の検出率が最も高くなった。

従来のアナログ法では、PCMで拡大撮影された画像をフィルム出力時に原寸大に縮小出力することにより高い鮮鋭性と粒状性を兼ね備えた最高画質を実現していた。デジタル法でPCM拡大撮影した画像を、フィルム出力した画像とモニタ表示した画像で比較した。観察対象が腫瘍と線維の場合にはフィルムの検出能が顕著に高い結果となったが、石灰化の場合は差は認められなかった。

また、鮮鋭性の向上や空間分解能の向上という位相コントラスト効果は、フィルム出力せずモニタに縮小表示する場合にもみられるのか検討をおこなった。そして、位相コント

ラスト効果を引き出すのに最適な補間方法を検討した。腫瘍と線維については密着画像に比べて PCM 画像では顕著に検出能が高くなった。石灰化については全ての画像においてほぼ同等の検出能となった。PCM 画像をモニタで観察する場合には、腫瘍についてはバイリニア補間法による CNR(contrast-to-noise ratio)の向上によって検出能が高くなった。石灰化については分解能がモニタの画素サイズによって決定されるので、フィルム出力する場合のような分解能の向上はみられず検出能は密着撮影と同等であった。

本研究において使用した補間方法の中で、PCM 画像を縮小するのに最適な方法はバイリニア法であるといえる。モニタ診断における位相コントラストマンモグラフィの効果については、エッジ強調は明確には認められなかったが、PCM 撮影における腫瘍および線維の検出能は補間による平滑化効果の影響で CNR が増加したこと、エアギャップ効果によって PCM 画像のノイズが減少したことから密着画像に比べて有意に高い検出能を示した。

Summary

Medical image diagnostic systems are shifting from film to monitors. Especially because of the very small size of detected calcifications in mammography diagnosis, digital images require a fine pitch and a large matrix size. Therefore, 5-million (5M)-pixel liquid crystal displays (LCDs) are recommended for the interpretation of a mammography. In clinical practice, however, radiologists observing mammography images using LCDs of 2-million (2M) and 3-million (3M) -pixels for multi-modality workstations are not a minority.

When a mammography image is displayed on an LCD for the first time, the entire image is reduced in size. Radiologists diagnose breast cancer using mammograms. The entire image should be displayed to enable the identification of any abnormality. The diagnostic performance decreases when the entire image is not displayed on the LCD. In addition, images of both breasts are displayed on the LCD simultaneously; therefore, the image reduction rate of two images displayed on LCD increases in comparison with that of single image displayed on LCD. The LCDs with 2M- and 3M-pixels, which have

much fewer than 5M pixels, would be likely to have lost the images of microcalcifications.

We visually evaluated mammography images displayed on LCDs with different numbers of pixels that are commonly used in hospitals. We aimed to examine the extent to which signal detection decreased when images were viewed on LCDs with fewer pixels, and to investigate whether the signal detection rate was reduced for displays on the recommended 5M-pixel LCD. Magnified images obtained by Phase contrast mammography (PCM) have approximately 70-million (70M) -pixels. For phase-contrast imaging, the object, and the X-ray detector are located at a certain distance from each other, which is characteristic of magnification radiography. Since a PCM image has the largest numbers of pixels among medical images, we used a PCM image as the original image in this study. PCM has the highest image resolution from using a 14"×17" photostimulable phosphor plate and reading at a 43.75- μ m-pixel pitch. In the analog method, by reducing the film size and output images, the PCM images show the highest quality of sharpness and graininess, an edge emphasis effect on the object, and the highest image resolution at 25- μ m-pixel pitch. However, when the image is displayed on the LCDs, the image is reduced in size but the resolution remains unchanged.

We investigated the observed effect of improved spatial resolution and phase contrast improvement in sharpness when an image is displayed on an LCD.

In addition, a variety of interpolation methods can be used to reduce images but the image interpolation method currently used in the medical field is generally the bilinear method. In this study, images were reduced using bilinear interpolation and other methods of interpolation to determine a method that does not reduce the signal detectability even for a high reduction ratio. We investigated the optimal interpolation method for deriving the phase-contrast effect.

We examined the influence of differences in LCD image-reduction rates on the signal-detection performance by observational experiments. We created a simulated image of microcalcifications similar to Burger's phantom, which changes the diameter

and contrast of round signals. A round signal imitates a microcalcification in a mammographic image. The simulated image was merged to an image uniformly exposed by PCM at 24 kV and 25 mAs. Its matrix size was the same as that of the PCM image. The image-reduction rate was calculated as the ratio of the number of pixels per LCD to that per reduced image when the simulated image was displayed on LCDs of 2-, 3-, and 5M-pixels. Moreover, we examined the signal-detection rate at specific image-reduction rates when displaying right and left mammographic images simultaneously on a 5M-pixel LCD.

The 5M-pixel LCD is recommended for diagnosing mammographic images because the signal-detection rate at this size is higher than that at the other sizes. However, the signal-detection performance deteriorates as the image-reduction rate increases. When the image-reduction rate is high, signals disappear in the reduction process because of their small size. In general, the size of an image does not change because it is displayed on an LCD suitable for its size. However, in this study, we displayed all the images on a 5M-pixel LCD. Therefore, the entire image reduced as the image-reduction rate increased and the difference in the image size influenced the signal-detection performance.

Many researchers have investigated the phase contrast effect, and have reported that the image quality performance of a digital PCM system would exceed that of the conventional film-screen mammography system. However, there have not been many studies examining whether the PCM effect is acceptable for the soft copy diagnosis.

The PCM images of the Tissue-Equivalent Phantom Model 011A manufactured by Computerized Imaging Reference Systems (CIRS, Norfolk, VA, USA) were recorded using the PCM equipment at 28 kV and 50 mAs. The phantom is realistically shaped and has the tissue equivalency of an average, firm breast. Breast detail components closely mimic the radiographic properties and shapes of normal and pathological breast structures. The phantom image was reduced using three interpolation methods. The image-reduction rate was calculated as the ratio of the number of pixels per LCD to that

of the reduced image when the phantom image was displayed on LCDs of 2-, 3-, and 5M-pixels. The observers followed the detailed procedures outlined in the ACR's Mammography Quality Control Manual to score phantom images. Among all the interpolation methods, the bilinear method has the highest detection rate for almost all image reduction rates. The detectability of the nearest neighbor method is low, and significantly lower detectability was observed when interpolation was performed for higher reduction rates. The detectability of calcifications decreases as the image is reduced in size. The mass detection rate was the highest for the bilinear reduction of the 3M-pixel image and the 5M-pixel image. For almost every size, the bilinear method increased the detection rate and the nearest neighbor method had the lowest detection rate.

The diagnostic images are then reduced during printing to the actual object size with a pixel size of 25- μ m on dry-processed film. PCM images show the highest quality of sharpness and graininess, an edge emphasis effect on the object, and the highest image resolution on film. We compared the film output image and the image displayed on the 5M-pixel LCD. The detectability of masses and fibers in the film output images were significantly higher than those observed in displayed on the 5M-pixel LCD.

We investigated the observed effect on spatial resolution and contrast when conventional or phase contrast mammograms are viewed on an LCD. The detectability of masses and fibers in the PCM images were significantly higher than those observed in conventional mammography. No differences in the detection of microcalcifications were found between the conventional images and the PCM images. In the soft copy diagnosis, only interpolated data, not raw data, is displayed on the monitor. Therefore, the resolution is determined by the pixel size of the monitor. Improvement of the spatial resolution and sharpness is not permitted, and microcalcifications did not show a contraction effect. In the image reduction, the resolution was decreased by thinning out a pixel. No effect of edge enhancement by refraction contrast or the impact of the shape was observed in soft-copy diagnosis.

In order to acquire the PCM effect, it is necessary to separate a detector from the breast and to obtain enlarged radiographic images. Thus, an air gap eliminates the scattering of X-rays in the PCM. The noise was decreased with the PCM image after using the air gap method, and this made it easier to detect masses and fibers. In addition, the bilinear method could be used to calculate the mean of neighboring pixels, providing a smoothing effect. Because noise is decreased by smoothing, the rate of detection with the bilinear method increased.