

胸部X線画像を正しく評価しよう

診断目的に応じた画像処理

八戸市立市民病院 医療技術局放射線科 ○下沢 恵太(Shimosawa Keita)

【はじめに】

胸部写真は初診時や経過観察など様々な場面で撮影する機会が多い撮影です。主に肺野や縦隔の観察を目的に撮影が行われます。肺野では肺門理や肺炎像、腫瘍像など、縦隔では心陰影、大動脈影、接合線、横隔膜付近では横隔膜裏の肺紋理や腫瘍像などが観察対象となります。また縦隔や横隔膜付近は挿管チューブやCVカテーテル、NGチューブなどの体内挿入デバイスの留置位置の確認目的でも撮影されます。そのため、胸部写真において縦隔や横隔膜付近の描出も重要になります。

【画像表示まで】

被写体を透過したX線をCRやFPDなどの検出器で電気信号へ変換し、AD変換器でデジタル信号に変換した後コンソール上で様々な画像処理が行われモニターに画像が表示されます。コンソールで行われる画像処理は、自動感度調整処理、階調処理、周波数強調処理、ダイナミックレンジ圧縮処理などが施され画像が表示されてきます。さらに近年では、Dynamic処理（FUJIFILM社製）に代表される規格化レス処理が行われる場合があります。今回はこの規格化レス処理について述べさせていただきます。

【自動感度調整処理（規格化処理）】

規格化レス処理の理解を深めるために、自動感度調整処理の復習をします。この自動感度調整処理により撮影線量に変化しても安定して適切な濃度コントラストの画像が得られます。自動感度調整処理ではヒストグラムを用いた処理が行われています。胸部画像のヒストグラムをFig.1に示します。このヒストグラムの中から被写体の情報を見つけ出し、そこにデジタル値を振り分け適切な濃度コントラストになるように処理をします。このヒストグラムをある部位ごとに分解すると、Fig.2のようになります。直接線のヒストグラムより低露光量側のヒストグラムに被写体の情報が含まれているため、ここに対してデジタル値を振り分けていきます。

胸部で重要な観察部位となる肺野と心臓（縦隔）

に振り分けるデジタル値は予め決められています（Fig.3）。ヒストグラムから肺野と心臓に相当する部分にそのデジタル値を振り分けます。これにより、肺野と心臓をデジタル値に振り分ける2点を取ることができます。その他の部分は、その2点を出力するデジタル値の範囲で結んだ直線によって、被写体情報全てをデジタル値に変換できます。この時、引かれた直線の幅に相当する露光量幅の対数値がL値、出力するデジタル値の中央値に相当する露光量から算出したものがS値となります。この処理は、予め決められたデジタル値の範囲に被写体情報をまとめるため規格化処理とも言うことができます。

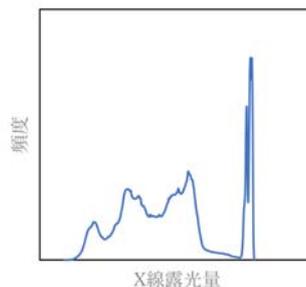


Fig.1 胸部のヒストグラム

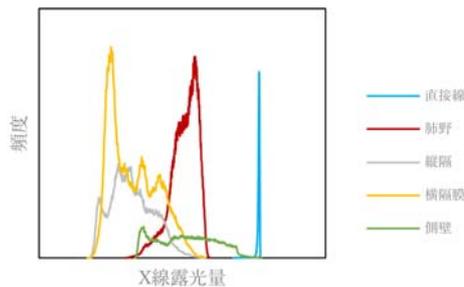


Fig.2 各部位のヒストグラム

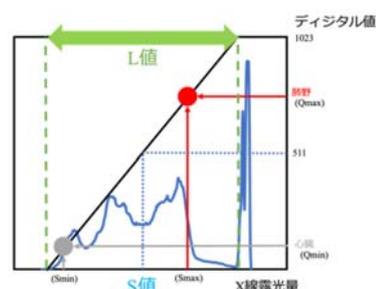


Fig.3 自動感度調整処理

【ヒストグラムの変化】

ヒストグラムは様々な要因で形状が変化します。その要因の一つに被写体厚が上げられます。Fig.4にアクリルファントムで胸部を想定し、縦隔を想定した部分の厚さを変えて撮影した時のヒストグラムを示します。縦隔の厚さが厚くなるほど、縦隔のヒストグラムは低線量側へ移動します。胸部は縦隔の厚さが変わっても同じ位置にあり、縦隔の厚さが厚くなればヒストグラムの幅は広がります。ここで自動感度調整処理でL値を決定したと仮定すると、縦隔の厚さが10 cmと20 cmではFig.5のようにL値が決定されると考えられます。20 cmでは広がったヒストグラムの幅をカバーするように直線の傾きは10 cmの時の傾きより小さくなり、コントラストが低下すると考えられます。この低下したコントラストを上げるためにL値を小さくするとFig.6の黒実線のようにになると考えられます。先程よりも直線の傾きが大きくなりコントラストは改善すると考えられますが、L値から外れる領域が出てきます。この領域は出力する最小（または最大）デジタル値にまとめられ、コントラストとして表現できなくなり情報が欠落してしまいます。

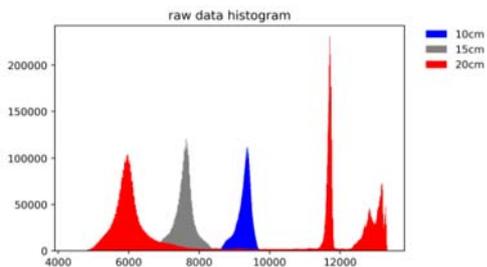


Fig.4 アクリルファントムのヒストグラム

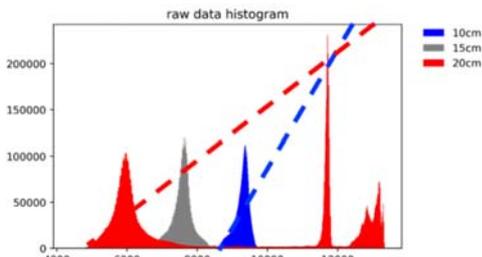


Fig.5 10 cmと20 cmの想定L値

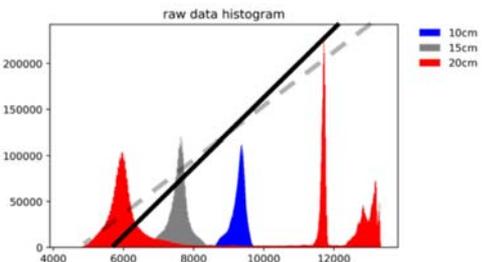


Fig.6 20 cmでL値の調整

【規格化レス処理】

被写体厚の変化によるコントラスト低下の改善や、モニターで画像を観察することが増えたことからモニターの表示能力を活かすために画像が持つ全ての情報を出力できるようにと行われるようになったのが規格化レス処理（Dynamic処理（FUJIFILM社製））になります。

規格化レス処理の概要は、被写体厚の変化によるコントラストの変化を抑えるためにL値を固定します。また被写体厚に応じてダイナミックレンジ圧縮量を調整し被写体全体を可視化できるように調整されます。その他周波数強調処理、ノイズ低減処理が行われます。またモニターの表示能力を活かすためにフルレンジでデータを保持し、モニター用の新階調を用いることで表示可能領域が広がっています。Fig.7に従来処理とDynamic処理の初期表示の違いを示した模式図を示します。従来処理では規格化処理により出力する範囲のデジタル値にデータがまとめられ、それから外れた部分は情報が失われています。Dynamic処理では、フルレンジでデータを持っています。初期表示では従来処理と同様な表示ですが、モニター用の新階調により従来処理より表示できる範囲が広がっています。これにダイナミックレンジ圧縮処理を併用した場合には、従来処理では規格化処理によりまとめられた状態でダイナミックレンジ圧縮処理がかかるため、失われた情報は表示できません。Dynamic処理では、フルレンジでデータを持った状態でダイナミックレンジ圧縮処理がかかるため、初期表示では見えなかった部分も表示可能になると考えられます。

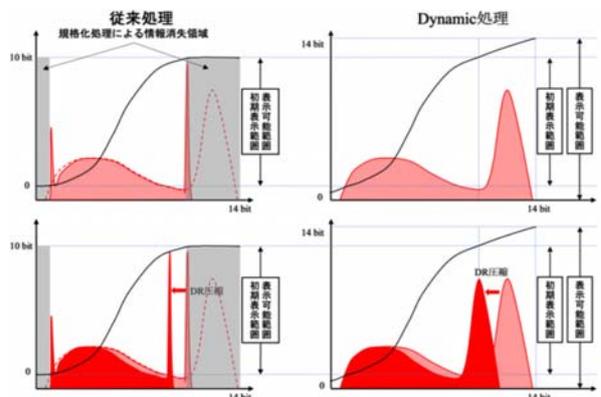


Fig.7 従来処理とDynamic処理の表示範囲の違い

【Dynamic処理の効果の検証】

アクリルファントムを使用しDynamic処理の効果を検証しました。胸部を想定し、肺野はアクリル厚4 cm、縦隔想定で厚さを10 cm、15 cm、20 cmの

3条件とし、模擬腫瘍としてアクリル円盤（直径30 mm、厚さ3 mm）を肺野と縦隔それぞれ1枚ずつ設置しました。撮影条件は120 kV 2 mAs、撮影距離は180 cmで5回撮影しました。画像処理は胸部部の画像処理パラメータを使用し、S値とL値は固定としました。検証画像処理として従来処理のダイナミックレンジ圧縮処理なし(DRC-)、ダイナミックレンジ圧縮処理あり(DRC+)、Dynamic処理(DYN)の3種類で比較をしました。評価項目は画素値、NMSE (Normalized Mean Square Error)、模擬腫瘍のコントラストとしました。ここで、NMSEは式1で算出され、評価画像と基準画像の差を基準画像で正規化した値になります。今回は同一位置のROIの画素値が画像処理によりどの程度変化したかを示す指標となります。

$$NMSE = \frac{\sum (g(x,y) - f(x,y))^2}{\sum f(x,y)^2} \dots \text{式(1)}$$

ここで、 $f(x,y)$ は基準画像、 $g(x,y)$ は評価画像になります。

【結果】

画素値の結果をFig.8に示します。肺野は縦隔の厚さ、画像処理によらず同等な画素値となりました。縦隔は厚くなると画素値が低下します。縦隔の厚さが10 cmのとき、DRC-とDRC+では同等な画素値になりましたが、15 cmと20 cmではDRC-、DRC+、DYNの順に画素値が上昇しました。NMSEの結果をFig.9に示します。DRC-を基準画像とし

て算出しています。肺野はDYNでは多少の画素値の変動はありますが、大きな差はありません。縦隔はどの厚さでもDRC+、DYNの順に変動が大きくなりました。コントラストの結果をFig.10に示します。肺野ではDYNが一番高値となりました。縦隔では、どの厚さでもDYNが一番高値となりました。15 cmではDRC+でコントラストが低下しました。20 cmの縦隔の模擬腫瘍部分の拡大図をFig.11に示します。上段の初期表示では、DRC-で模擬腫瘍は視認できませんが、DYNではうっすらと視認できます。Window調整した下段はDYNでより視認性が向上しています。

【考察】

肺野は縦隔の厚さ、画像処理によらず同等な画素値となりました。縦隔は、DRC-、DRC+、DYNの順に画素値は上昇しました。模擬腫瘍のコントラストは、肺野と縦隔ともDynamic処理でコントラストが上昇しました。このことから、Dynamic処理では、従来処理と比較して肺野の描出を維持しつつ、縦隔の画素値の上昇より縦隔の描出が改善することが期待できると思われます。Window条件を調整する事により、従来処理よりも模擬腫瘍の視認性も向上します。また肺野でも模擬腫瘍のコントラストが向上したことから、肺野でも腫瘍影のコントラスト向上が期待できると思われます。

縦隔の模擬腫瘍のコントラスト向上について、ヒストグラムを用いて検討します。縦隔の厚さが20 cmのときの縦隔のヒストグラムをFig.12に示します。

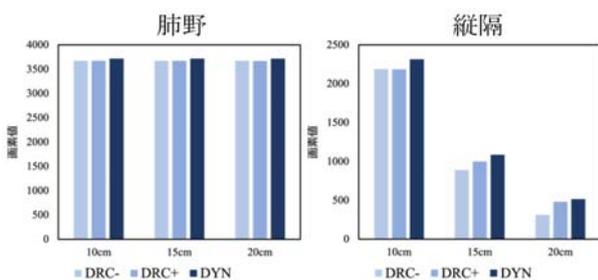


Fig.8 画素値の結果

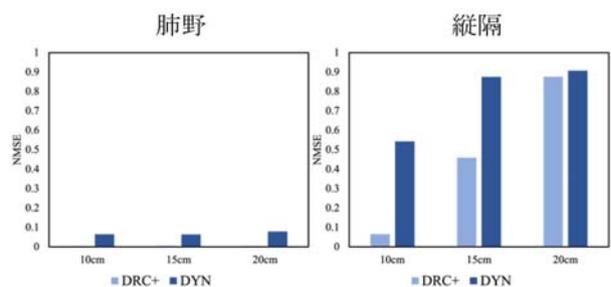


Fig.9 NMSEの結果

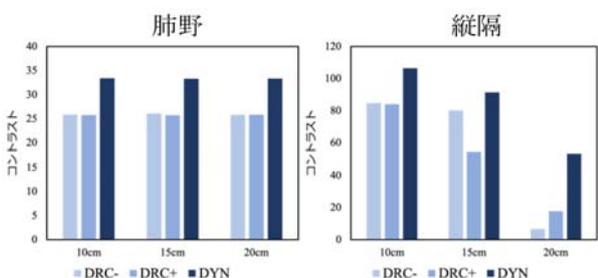


Fig.10 コントラストの結果

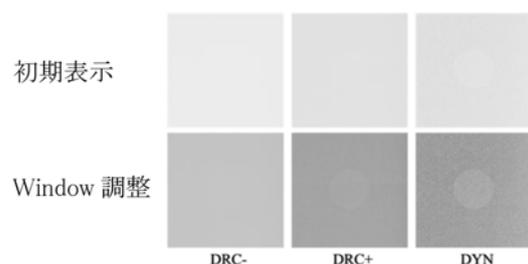


Fig.11 20 cmの縦隔の模擬腫瘍画像

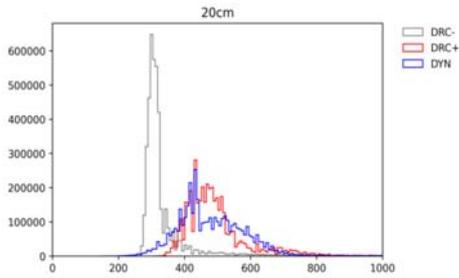


Fig.12 20 cmの縦隔のヒストグラム

DRC-では規格化処理により低濃度部分にまとめられ、濃度差が小さくなっています。DRC+では高濃度側へ移動し多少濃度差が出てきています。Dynamic処理はよりヒストグラムの裾野が広がり、濃度差があることがわかります。Dynamic処理は規格化処理をせず、フルレンジでデータを持った状態で画像化していることを示していると思われます。次にヒストグラム上に模擬腫瘍とバックグラウンドの画素値に線を引いたものをFig.13を示します。Raw dataでは模擬腫瘍のコントラストが保持されていますが、DRC-では規格化処理によりコントラストが失われています。Dynamic処理では、Raw data

に近いコントラストを保ち画像化されています。同様に15 cmの例もFig.14に示します。15 cmでもDynamic処理でコントラストが1番大きくなりましたが、DRC+でコントラストが低下をしました。Dynamic処理でダイナミックレンジ圧縮処理をOFFにした場合との比較をFig.14に示します。Dynamic処理でも従来処理同様にダイナミックレンジ圧縮処理を入れるとコントラストの低下が見られました。このことから、ダイナミックレンジ圧縮の濃度域を決めるパラメータが影響ではないかと考えられます。Fig.16にダイナミックレンジ圧縮処理の濃度域を決めるパラメータの例をFig.16に示します。低濃度側の圧縮では、低濃度ほど圧縮の程度が大きく、高濃度側になるにつれ圧縮の程度が小さくなります。そのため、低濃度側の模擬腫瘍がバックグラウンドより圧縮が強くなりコントラストが低下したと考えられます。

【まとめ】

胸部画像において、従来処理とDynamic処理について検討しました。Dynamic処理では、従来処理より体厚が大きい部分の描出の改善が期待でき

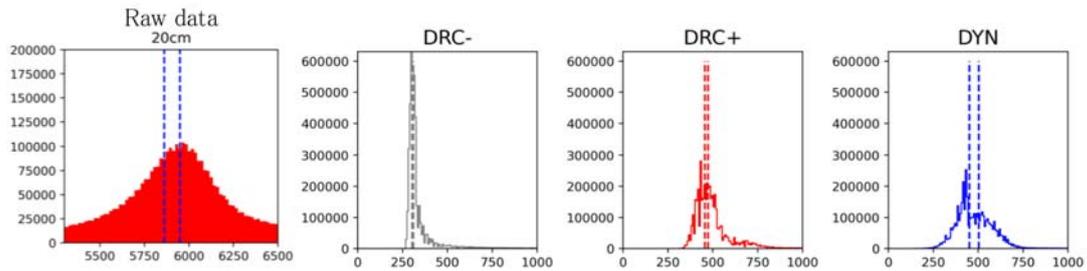


Fig.13 20 cmの時の模擬腫瘍のコントラスト

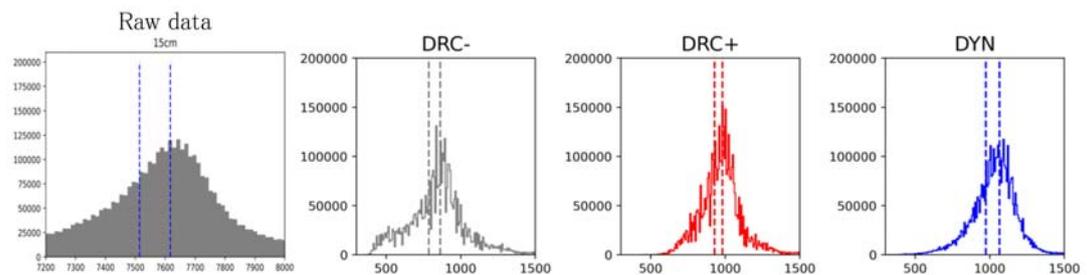


Fig.14 15 cmの時の模擬腫瘍のコントラスト

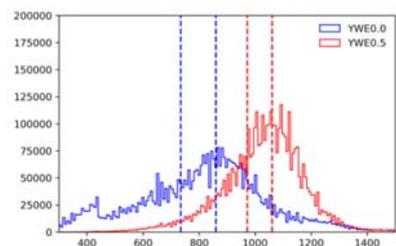


Fig.15 Dynamic処理時のダイナミックレンジ圧縮処理の効果の違い

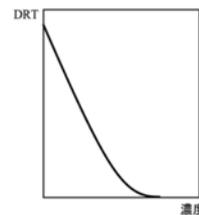


Fig.16 低濃度圧縮の例

ます。そのため、肺野の描出を維持しつつ、縦隔や腹部の描出の改善が期待できると考えられます。研究限界として、均一なアクリルファントムのみでの検討になります。人体のような複雑な吸収体での評価はできていません。また視覚評価も行っていないため、視覚的にどの程度改善したかも評価できていません。

【参考資料】

- ・船橋 正夫監修, FCR超基礎講座 医療科学社
- ・高橋 知幸, 他 人体の立体構造推定に基づくX線画像の診断画質向上技術. FUJIFILM RESEARCH & DEVELOPMENT 2017;No.62:28-34