

ファントム試験 ガイダンス

ACR MRI 認可プログラム用



American College of Radiology (米国放射線学会)
1891 Preston White Dr
Reston, VA 20191-4397

QUALITY IS OUR IMAGE®
www.acr.org

目次

0.0	序文	5
0.1	概要と目的	5
0.2	ファントム	5
0.3	必要な画像	5
0.4	画像解析	6
1.0	幾何学的精度	7
1.1	幾何学的精度とは何か	7
1.2	どのような測定を行うか	7
1.3	測定値の分析方法	8
1.4	推奨される動作基準	8
1.5	不合格の原因と修正措置	8
2.0	高コントラスト空間解像度	9
2.1	高コントラスト空間解像度とは何か	9
2.2	どのような測定を行うか	9
2.3	測定値の分析方法	11
2.4	推奨される動作基準	11
2.5	不合格の原因と修正措置	11
3.0	スライス厚精度	12
3.1	スライス厚精度とは何か	12
3.2	どのような測定を行うか	12
3.3	測定値の分析方法	13
3.4	推奨される動作基準	13
3.5	不合格の原因と修正措置	13
4.0	スライス位置精度	14
4.1	スライス位置精度とは何か	14
4.2	どのような測定を行うか	14
4.3	測定値の分析方法	15

4.4	推奨される動作基準.....	15
4.5	不合格の原因と修正措置.....	15
5.0	画像強度均一性	16
5.1	画像強度均一性とは何か.....	16
5.2	どのような測定を行うか.....	16
5.3	測定値の分析方法.....	17
5.4	推奨される動作基準.....	17
5.5	不合格の原因と修正措置.....	18
6.0	ゴースト信号率	18
6.1	ゴースト信号率とは何か.....	18
6.2	どのような測定を行うか.....	18
6.3	測定値の分析方法.....	19
6.4	推奨される動作基準.....	19
6.5	不合格の原因と修正措置.....	19
7.0	低コントラスト物体検出能	20
7.1	低コントラスト物体検出能とは何か.....	20
7.2	どのような測定を行うか.....	20
7.3	測定値の分析方法.....	21
7.4	推奨される動作基準.....	21
7.5	不合格の原因と修正措置.....	22
8.0	助言と勧告.....	23

ACR MRI 認可プログラムのための ファントム試験ガイドンス

0.0 序文

0.1 概要と目的

本書は、米国放射線学会（ACR）MRI 認可プログラムの一部であるファントム試験について説明する。本書の主な目的は、ファントム試験に合格しなかった医療施設がその不合格の重要性を理解し、修正のための手段を講じ、その修正措置が正しかったかどうかを判断できるようにすることである。

本書はまた、データ提出の前にファントム試験に合格するかどうかを知りたい医療施設、ACR ファントムを品質管理やシステムの性能試験に活用したい医療施設にとっても有用である。

まず序文で、ファントムと、試験のために収集する画像データについて簡単に説明し、画像に関して使用する用語を紹介し、認可プロセスでファントム評価に使用される試験を列記する。その後、それぞれの試験がどのように行われるかを説明し、推奨される許容基準を示し、よくある不合格の原因を挙げて、取るべき修正措置についてアドバイスを与える。

ここで推奨する許容基準は、問題なく機能している MRI システムから誰もが合理的に予測できる最低レベルの性能である。一方、最低レベルの性能であるから、これらの基準を一般的な通常のパフォーマンスレベルの指標にすることはできない。

ここで述べるファントム、ファントムの配置、画像収集についての情報は、考察に必要な範囲に限られている。この件に関する詳細は、認可の申請者全員に送られる ACR 文書 *Site Scanning Instructions*（現場のスキニング法）を参照されたい。

0.2 ファントム

ACR の MRI ファントムは、両端を塞いだアクリル合成樹脂製の短い、空洞の筒である。内側の長さ 148 mm、内径 190 mm である。塩化ニッケルと塩化ナトリウムの水溶液（ NiCl_2 10 mM と NaCl 75 mM）が充填されている。ファントムの外側に「NOSE（鼻）」、「CHIN（顎）」と刻まれており、ファントムを頭に見立てた場合にファントムのスキニングの方向がわかるようになっている。

ファントムの内側は複数構造になっており、スキナーの性能に対して色々な試験を行うことができる。以下に、これらの構造を、使用する試験ごとに説明する。

0.3 必要な画像

MRI 認可プログラムのファントム項目には、矢状断ロカイザと 4 つの軸位断画像が必要である。4 つの軸位断画像のそれぞれで、ファントム内の同じ 11 箇所のスライスを収集する。これらの画像は、ヘッドコイルを用いて収集する。ロカイザと最初の 2 つの軸位断画像のスキニングパラメータは、ACR のスキニング方法に詳しく定められている。

これらの軸位断画像を、**ACR シーケンス**または **ACR 画像**と呼ぶ。3 番目と 4 番目の軸位断画像は、各医療施設のプロトコルに基づいて収集するため、**現場シーケンス**または**現場画像**と呼ぶ。画像データを論じるには、まずそれぞれの画像の名前とファントム内のスライス位置の番号を論じるとわかりやすい。

ロカイザは、ファントムの中心から収集する厚さ 20 mm の単一スライスのスピネコー画像であり、単純に**ロカイザ**という。

最初の軸位断画像は、ACR の定めた T1 強調像のスキニングパラメータを用いたスピネコー画像である。このシリーズを **ACR T1** シリーズという。

2 番目の軸位断画像は、ACR の定めたプロトン密度/T2 強調画像のスキニングパラメータを用いたダブルスピネコー画像である。この画像のデータを分析するときは、セカンドエコー画像のみを使用する。この収集によるセカンドエコー画像のセットを **ACR T2** シリーズという。

3 番目と 4 番目の軸位断画像は、各医療施設が頭部軸位の T1 強調画像と T2 強調画像にそれぞれ通常使用している臨床プロトコルのスキャンパラメータに基づいて収集する。このシリーズを **現場 T1、現場 T2** シリーズという。

軸位断シリーズのそれぞれに、11 のスライス位置が必要である。その位置にファントムの一番下から順番に番号を付ける。すなわち、スライス 1 は、ファントムの「顎」と表示した方の端である。スキャナーが変わると画像の番号が変わる。スキャナーによって画像にどのように番号が付けられても、画像は常にシリーズ名とスライス位置番号で呼ばれる。例えば、ACR T2 のスライス 7 は、スライス位置 7 で ACR が定めるダブルエコー法で収集したセカンドエコー画像である。

4 つの軸位断シリーズ全てに対し、必要なスライス厚は 5 mm、スライスギャップは 5 mm である。従って、11 スライスのセットは、最初のスライスの中心から最後のスライスの中心までの距離が 100 mm である。(ギャップ 5 mm の 5 mm スライスに設定できないスキャナーもあるかもしれない。この場合の方法について **現場スキャン法** で説明されている。)

図 1 に、11 の軸スライスの位置に印を付けた矢状断ロカイザを示す。ファントムの中央矢状断面に、交差した 45°のくさびが 2 対ある。ファントムのそれぞれの端に 1 対ずつある。これを図 1 の画像に示す。スライス 1 は、ファントムの下端でくさびが交差して出来た角の頂点の中央にくるように規定されている。2 対のくさびの角頂は 100 mm 離れており、従ってスライス 11 はファントムの上端の角頂にくる。

画像データはフィルムおよびデジタル形式で ACR に提出しなければならない。デジタルデータの提出は、DICOM フォーマットの画像ファイルを CD-ROM に書き込むのが望ましい。(試験資料に含まれるファントムのデジタルデータを提出する場合は、別の方法を参照のこと。)

0.4 画像解析

定量解析の場合、どのスキャナーコンソールにもある基本的な画像操作機能、すなわちウィンドウとレベルの調整、拡大(ズーム)、関心領域 (ROI) の平均と標準偏差の測定、長さの測定機能が付いたコンピューター画像ワークステーションに、デジタルデータを表示する。ほとんどの場合、医療施設において自身のデータでこれらを測定する最も便利な場所は、スキャナーコンソール、または関連する画像レビューステーションであろう。

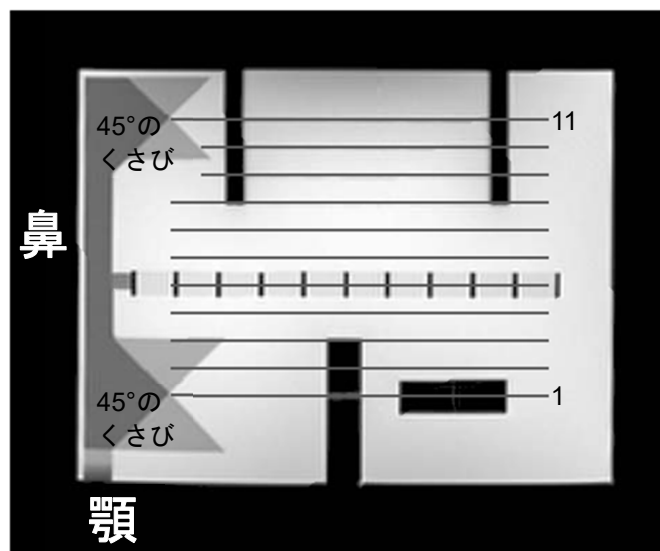


図 1 : 必要な 11 の軸位断スライス位置と対の 45°くさびを示した矢状断ロカイザ。この画像の「顎」と「鼻」という語は、同じ語がファントムに刻まれている位置を示しており、ファントムを頭に見立てた場合にスキャンの方向がわかるようになっている。

デジタルデータの測定値を用いて 7 つの定量試験が行われる。すなわち、

1. 幾何学的精度
2. 高コントラスト空間解像度
3. スライス厚精度
4. スライス位置精度
5. 画像強度均一性
6. ゴースト信号率
7. 低コントラスト物体検出能

これらの試験をそれぞれ以降の項で説明する。項番号は上記リストの試験番号に対応する。

本書では詳しく論じないが、これらの定量試験に加え、ACR のデータ審査員がフィルム画像とスクリーン画像のアーチファクトを検証することに留意しておく必要がある。診断精度に悪影響を及ぼす恐れのあるアーチファクト、診断精度に影響を及ぼすようなシステムの問題を示唆するアーチファクトは、システムが定量試験に合格しても、認定が不合格になる可能性がある。

1.0 幾何学的精度

1.1 幾何学的精度とは何か

幾何学的精度試験は、画像が対象物の長さを描出する精度を評価する。幾何学的エラー試験と呼ばれることもある。ファントムで簡単に確認できる場所の間の長さを画像で測定し、その結果を既知の長さと比較する。

画像上の寸法と真の寸法が、正しく機能しているスキャナーに通常見られる誤差より大きく異なると不合格である。

1.2 どのような測定を行うか

ディスプレイステーションのオンスクリーン長さ測定ツールを用いて、ファントムの既知の7つの長さを測定する。ディスプレイウィンドウとレベルの設定が長さの測定に影響を及ぼす可能性があるため、これらを正しく設定することが重要である。そのために、主な手順に続いて、ディスプレイウィンドウとレベルの設定を調整する付随的手順について説明する。

以下の手順に従ってこの試験の測定を行う。

1. ロカライザを表示する。ディスプレイウィンドウとレベルを後に示す方法で調整する。
2. ロカライザに表示されるファントムの端から端までの長さを測定する。図2のように、ファントムの中央に近いラインに沿って測定する。
3. ACR T1 シリーズのスライス1を表示する。ディスプレイウィンドウとレベルを後に示す方法で調整する。
4. 上下、左右の2方向でファントムの径を測定する（図3）。
5. ACR T1 シリーズのスライス5を表示する。ディスプレイウィンドウとレベルを後に示す方法で調整する。
6. 上下、左右、両対角線の4方向でファントムの径を測定する（図4）。

ディスプレイウィンドウとレベルの設定がファントムの端の見かけの位置に影響を及ぼし、長さの測定にエラーを引き起こす可能性がある。これを避けるために、ディスプレイウィンドウをできるだけ狭く設定し、レベルを画像の水のみの領域の平均信号値の半分と等しい値に設定して測定する。

ほとんどのスキャナーは、以下のような手順でディスプレイウィンドウとレベルを設定する。

1. ウィンドウを一番狭い設定に調整する。ほとんどのスキャナーが0か1である。
2. ファントムの水のみ領域、すなわちファントムの内部構造の一部による部分容積がない領域を観測する。

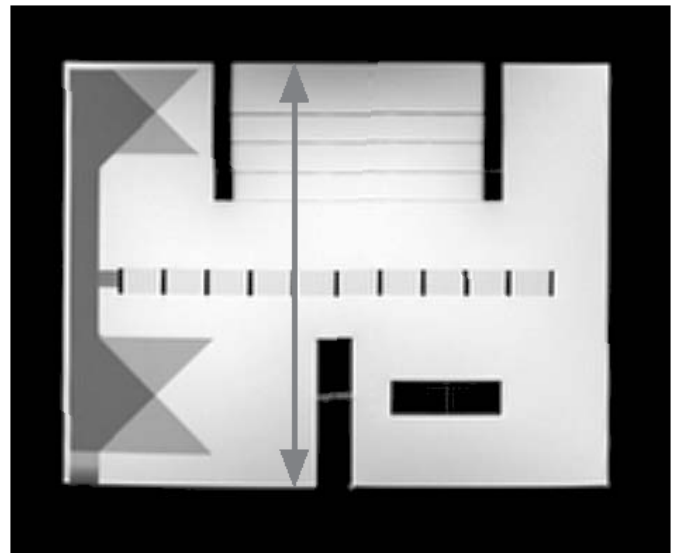


図2： ロカライザで端から端までの長さ（矢印部分）を測定する。

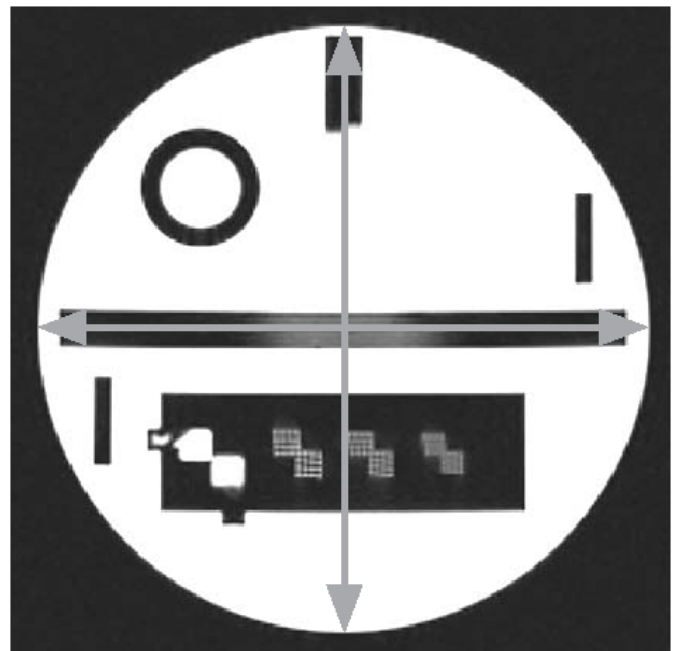


図3： スライス1の径（矢印部分）を測定する。

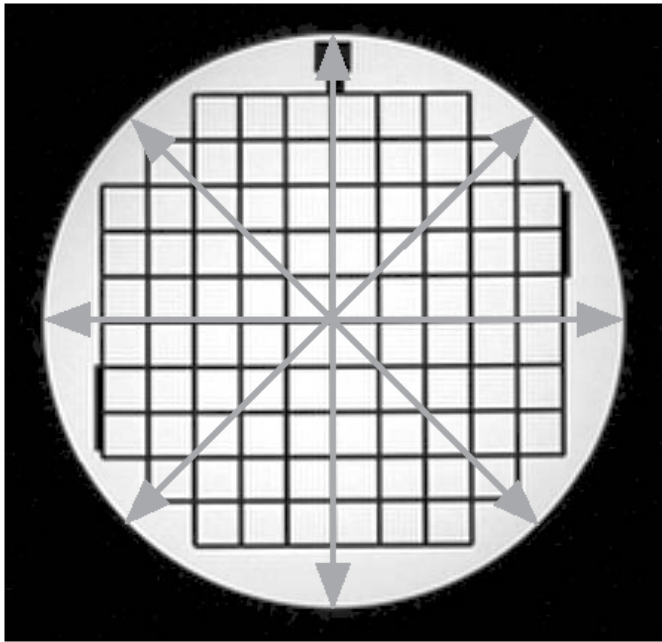


図 4： スライス 5 の径（矢印部分）を測定する。

これらの領域は最も高信号である。これら水のみ領域の信号が全て白くなるまでディスプレイレベルを下げる。

3. 水のみ領域の全面積の約半分が黒に変わるまでディスプレイレベルを上げる。このロカライザを図 5 に示す。この時点でレベルは、水のみ領域の平均信号に近い数値に設定されている。この値を記録する。

（これは実際には信号の中央値の推定であるが、現目的においては平均値に十分近い。）

4. レベル設定を、ステップ 3 で得た平均信号値の半分に下げる。ウィンドウ設定を平均信号値と等しい値まで上げる。

注： 古いスキャナーには、ゼロピクセル強度値が 1024 のものがある。そのようなスキャナーの場合、平均信号の半分の値を出す際に、このゼロオフセットを考慮に入れなければならない。

1.3 測定値の分析方法

長さの測定値をファントムの既知の距離と比較する。

ファントム内側の端から端までの長さは 148 mm である。

ファントムの内径は 190 mm である。

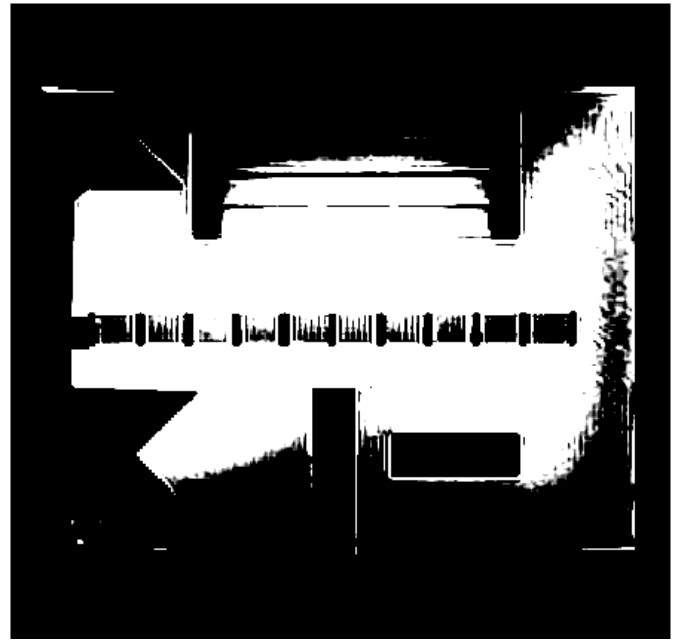


図 5： ディスプレイウィンドウをゼロに設定し、レベルを平均信号レベルとほぼ同じに調整した矢状断ロケータ

1.4 推奨される動作基準

測定した長さが全て、真の値の ± 2 mm 以内であること。

1.5 不合格の原因と修正措置

この試験に最も多い不合格の原因は、1 つもしくは複数のグラジエントのキャリブレーションミスによるものである。キャリブレーションミスによる勾配によって、画像上の関連した次元（x、y、z）が実際より長くあるいは短く見える。スライス位置の誤差も引き起こす。通常、勾配のキャリブレーションは時間と共に逸脱するため、サービスエンジニアによる再キャリブレーションが必要である。

注： 勾配増幅器の電源を入れたときは、ウォームアップと安定化の時間が必要である。夜間は勾配増幅器を含め、スキャナーのハードウェアの電源を切っておく医療施設がある。このような医療施設は、ファントムの画像を収集する 1 時間以上前にハードウェアの電源を入れておくように注意する。

もう一つ考えられる不合格の原因としては、収集に使用する帯域幅が低すぎる事が挙げられる。信号対雑音比を上げるために収集の帯域幅を下げることは、一部のスキャナーや医療施設においてよく行われる方法である。 B_0 の正常な不均一性が画像に空間の歪みとして現れるということが言える。ほとんどのスキャナーにおいて、T1 収集に対する帯域幅のデフォルト設定は十分高く、この問題を回避

できる。

ACR T1 シリーズを低い帯域幅で収集し、幾何学的精度の試験に不合格であった場合、そのシリーズを高い帯域幅で再度収集し、問題が解消されたかどうかを見ることを勧める。

一般的ではないが、異常に高い B_0 の不均一性がファントム画像に大きな寸法誤差を引き起こす可能性がある。このような B_0 の不均一性は、勾配オフセットの不適切な調整、磁場の能動シムや受動シムの不適切な調整、磁石ボア内にあるポケットナイフや大きなヘアピンのような磁性体物質によって引き起こされる可能性がある。原因に関わりなく、サービスエンジニアは磁石の均一性を簡単に測定できるので、幾何学的精度試験の不合格をいえ、引き起こすほど大きな不均一性はすぐにわかるはずである。

2.0 高コントラスト空間解像度

2.1 高コントラスト空間解像度とは何か

高コントラスト空間解像度試験は、コントラストノイズ比が十分高く、解像能力を制限する原因とならない場合の、小さな物体を分解するスキャナーの能力を評価するものである。制限高コントラスト空間解像度と呼ばれることもある。

この試験において不合格となるということは、一定の field of view (FOV) と収集マトリックス量において、スキャナーが正常に機能している時に通常見られるのと同じ程度に、細部を十分分解できていないことを意味する。

2.2 どのような測定を行うか

この試験の場合、密集した小さな明るい点の配列の中の個々の小さな明るい点を目視で識別する。これらの明るい点は、**解像度インサート**と呼ばれる、小さなプラスチック製ブロックにあけた穴に水を充填したもので、スライス 1 に現れる。インサートの画像を使って解像度をどのように目視評価するかを説明する前に、まずインサートについて詳しく説明する必要がある。

解像度インサート

図 6 に、解像度インサートを記載したスライス 1 の画像を示す。インサートの中に真四角ではない穴の配列が 3 対ある。その 1 対の穴の配列を図 7 に示す。

左上 (UL) の穴の配列と右下 (LR) の穴の配列があることがわかる。ここで、右と左は、見る人の右と左である。UL と LR の配列は、二つが接する角で 1 つの穴を共有している。UL 配列を用いて左右方向の解像度を評価し、LR 配列を用いて上下方向（頭部だとすると前

後）の解像度を評価する。

UL 配列は 4 つの穴が 4 段に並んでいる。1 つの段の穴の中心から中心までの距離は、穴の径の 2 倍である。各段の中心から中心までの距離も、穴の径の 2 倍である。各段は一つ上の段より少し右にずれており、配列が真四角でないのはこのためである。



図 6： 解像度インサートと対になった穴の配列を記したスライス 1

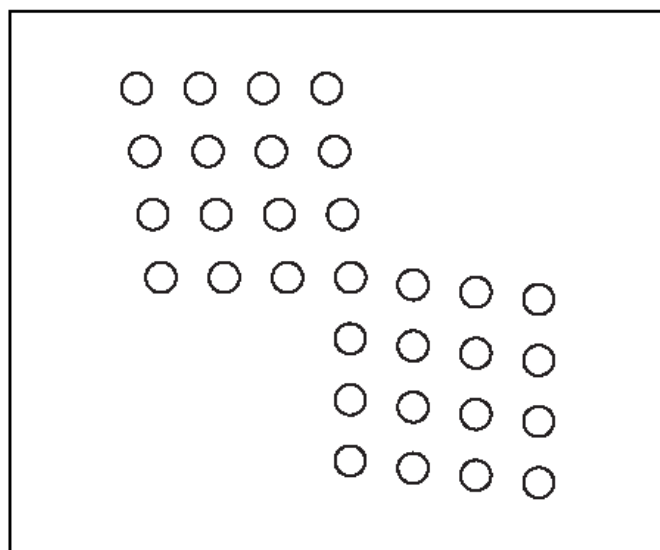


図 7： 解像度インサートの 1 対の穴配列

LR 配列は 4 つの穴が 4 列に並んでいる。1 つの列の穴の中心から中心までの距離と各列の中心から中心までの距離は、穴の径の 2 倍である。各列は、左の列より少し下がっている。

穴の径は配列の対ごとに異なる。すなわち左側の対は 1.1 mm、中央の対は 1.0 mm、右側の対は 0.9 mm である。従って、このインサートを用い、3 つの大きさの穴のそれぞれで解像度が得られたかどうかを判断できる。

この試験の場合、2 つの ACR 軸位断画像のそれぞれのスライス 1 の解像度を評価する。それぞれの画像に対して、以下の手順を繰り返す。

1. スライス 1 画像を表示する。
2. ディスプレイに解像度インサートが見えるように、画像を 2~4 倍拡大する。これを図 8 に示す。
3. 穴の大きさが最も大きい (1.1 mm) 左端の配列から始める。
4. UL 配列の穴の段を見て、穴の 1 つ 1 つが最も明確に見えるようにディスプレイウィンドウとレベルを調整する。
5. 1 段の 4 つの穴が全て 1 つ 1 つ識別できたら、画像の評価は、このサイズの穴で右から左まで分解されているということになる。

ここで「識別できる」とはどういうことを意味するかを理解しておく必要がある。穴と穴の間のスペースで画像強度がゼロに落ちる必要はない。それは正常ではない。必要とされることは、少なくとも 1 つの段の 4 つの穴すべてが、穴と穴の間のスペースより明るい信号強度をもつ点として認識できるような、ウィンドウとレベルの設定が 1 つ見つけられることである。図 9a は、十分分解された穴の典型的な外観を示す。

穴の大きさが画像の解像度と同等の場合、一段の 2 つ以上の穴のグループがぼやけて 1 つの不規則な形の信号の点に見える傾向がある。この場合、その段の穴は分解されていないと考えられる。この例を図 9b の UL 配列の 1 段目に示す。

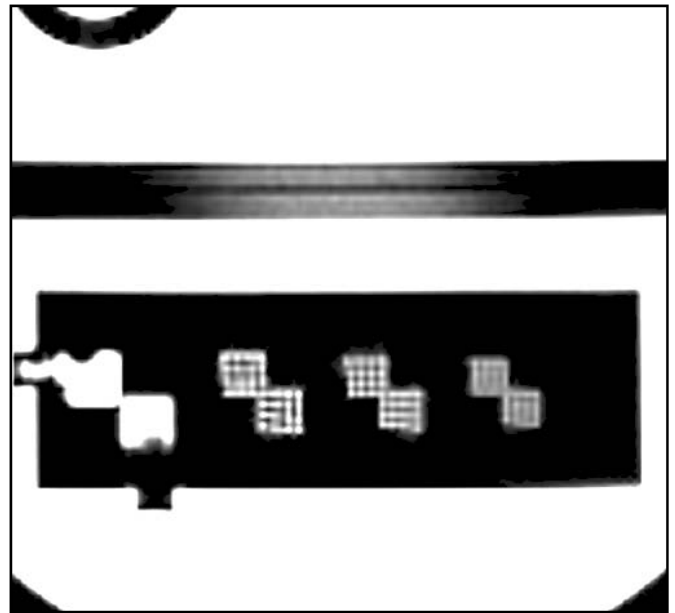


図 8： 高コントラスト解像度の目視評価のために適切に表示されたスライス 1 の拡大部分

段の上では互いに識別できる 1 つもしくは複数の穴が、隣接する段の穴と一緒にぼやけている場合がある。これは容認でき、その段の評価に影響しない。この例を図 9b の UL 配列の 2 番目の段に示す。ここでは段の両端の穴が隣接する段の穴とつながってぼやけている。

6. LR 配列の穴を見て、穴の 1 つ 1 つが最も明確に見えるようにディスプレイウィンドウとレベルを調整する。
7. 1 列の 4 つの穴が全て 1 つ 1 つ識別できたら、画像の評価は、このサイズの穴で右から左まで分解されているということになる。

ステップ 5 にある段の穴の識別に関する記載は、ここでの列の穴にも当てはまる。

8. 次の小さなサイズの穴の配列に対しても、ステップ 4 から 7 までと同様に評価を行う。分解可能な最も小さな穴を右から左、上から下の方向で見つけるまで続ける。
9. 各方向で分解された最も小さな穴の大きさを記録する。これがその方向の測定された解像度である。

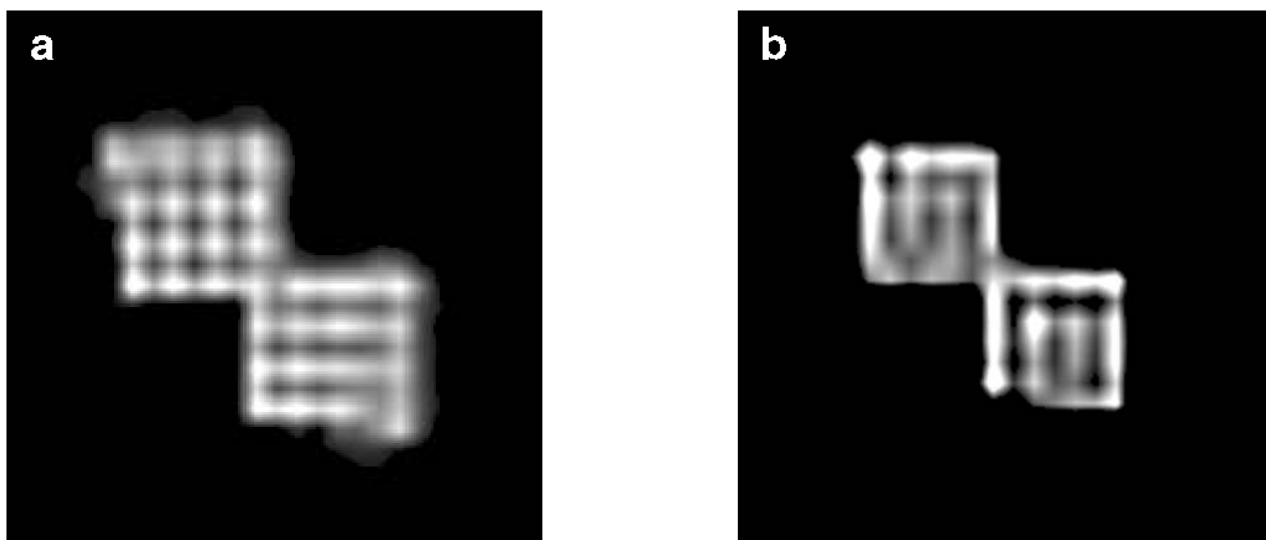


図 9 :

- (a) 十分分解された穴の典型的な外観。左上 (UL) 配列の 2 段目から 4 段目までが分解され、下右 (LR) 配列の 1 列目から 3 列目までが分解されている。(段と列の番号は、各配列の左上の角が 1 である。)
- (b) わずかに分解された段と分解されていない列の例。左上の 2 段目は、段の両端の穴が下の段の穴とつながってぼやけているが、4 つの穴が 1 つ 1 つ識別できるので、分解されている。従って、このサイズの穴の水平方向は分解されていると評価される。下右の配列では、列の中で 3 つ以上の点が識別できる列がない。従ってこのサイズの穴の垂直方向は分解されていない。

2.3 測定値の分析方法

ACR 軸位断画像に対して両方向で測定した解像度を記録する。

2.4 推奨される動作基準

両方向の 1.0 mm の解像度が得られるように、ACR 軸位断画像の FOV とマトリックス量を選択する。二枚の ACR 軸位断画像の両方向に対し、測定した解像度は 1.0 mm 以上でなければならない。

2.5 不合格の原因と修正措置

過剰な画像フィルタリングが原因で不合格になる可能性がある。画像に現れるノイズを少なくするために使用する様々なフィルタリングは、画像を滑らかにもするので、小さな構造物がぼやける。高コントラスト解像度の試験が不合格であった医療施設は、ユーザーが選択できる画像フィルタリングが入っていないこと、または少なくともフィルター設定が最も低く設定されていることを確認すべきである。

渦電流補償の不良が原因で不合格になる可能性がある。この問題が疑わしい場合、スキャナーのサービスエンジニアは渦電流補償をチェックし、調整すべきである。

過剰な画像ゴーストが原因で不合格になる可能性がある。過剰なゴーストは、それが高コントラスト解像度試験の不合格を引き起こすほどであれば、画像のどこかに見えるはずである。ゴーストはハードウェアの問題の、非常に非特異的な症状である。一般に、これは、測定信号がパルスサイクルごとに不安定であることが原因であり、受信器、送信器、勾配サブシステムが発生元であることがある。ファントムの動きもゴーストを引き起こす可能性がある。ファントムがヘッドコイル内で安定しており、動きや振動がないようにする。ファントムの動きが原因でないとしたら、通常はサービスエンジニアにゴーストの原因を追跡し、修正するよう依頼する必要がある。

勾配のキャリブレーションミス、 B_0 の不均一性、極度に低い収集帯域幅による幾何学的誤差が原因で試験に不合格になる場合がある。しかし、それほど幾何学的誤差が大きくなることはまれである。このような場合、通常は画像が明らかに歪む。例えば円柱形のファントムが楕円形や卵形に見える。スキャナーが幾何学的精度試験に合格していたら、幾何学的誤差が高コントラスト空間解像度試験不合格の原因とは考えにくい。他方で、スキャナーが幾何学的精度試験に大きな誤差で不合格になった場合、高コントラスト空間解像度試験と幾何学的精度試験の不合格には共通の原因があるかもしれない。幾何学的誤差の原因と修正措置については、1.5 項の幾何学的精度試験を参照のこと。

3.0 スライス厚精度

3.1 スライス厚精度とは何か

スライス厚精度試験は、既定の厚さのスライスに達する精度を評価する。既定のスライス厚を測定したスライス厚と比較する。

この試験に不合格であるということは、スキャナーでできるスライスが、定められている厚さと大きく異なることを意味する。この問題は、あったとしても単独で起こることはまれである。この問題を引き起こすスキャナーの欠陥は、他の画像の問題も引き起こすからである。よって、不合格が意味することは、単にスライスが厚すぎる、薄すぎる、ということではなく、画像コントラストが不正である、信号対雑音比が低いといったことに及ぶ可能性がある。

3.2 どのような測定を行うか

この試験では、スライス 1 の 2 つの信号ランプ（傾斜版）の長さを測定する。これは二枚の ACR 画像の両方で行う。

スライス厚インサートと呼ばれる構造物にランプが現れる。図 10 に、スライス厚インサートと信号ランプを記したスライス 1 の画像を示す。2 つのランプは交差している。スライス 1 の面に対して 1 つは陰性の勾配、もう 1 つは陽性の勾配である。これらは、プラスチック製ブロックに幅 1 mm の溝が刻まれている。溝はファントムの下に向かって開いており、ファントムを満たしているのと同じ水溶液で満たされている。

信号ランプはスライス 1 の面に対して 1/10 の勾配があり、よってスライス 1 に対して約 5.71°の角度ができる。従って、信号ランプは、スライスの厚さの 10 倍の長さでスライス 1 の画像に現れる。ファントムが左右の方向に傾いていると、1 つのランプが他方より長く見える。ランプを交差させることによって左右の傾きで生じた誤差を修正でき、次の項に示すスライス厚の公式はそれを考慮に入れている。

各 ACR 画像に対し、以下の手順に従ってスライス 1 の信号ランプの長さを測定する。

1. スライス 1 を表示し、画面上にスライス厚インサートが完全に見えるように、画像を 2~4 倍拡大する。
2. 信号ランプがよく見えるようにディスプレイレベルを調整する。ランプ信号は周りの水よりかなり低いので、通常はディスプレイレベルをかなり下げ、ウィンドウを狭くする必要がある。

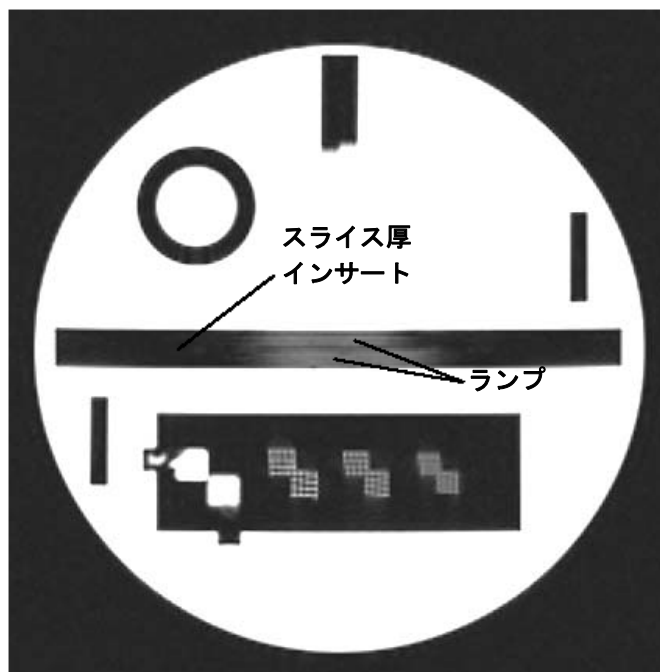


図 10： スライス厚インサートと信号ランプを記したスライス 1

3. 図 11 に示すように、各信号ランプの中央に長方形の ROI を置く。2 つの ROI のそれぞれの平均信号値を記録し、2 つの値の平均値を求める。結果は、ランプの中央の平均信号に近い数である。長方形の ROI がない場合は楕円形の ROI を使用してもよい。

注： この測定を行う際は、ランプが上下方向に ROI で完全に覆われるように注意する。ただし、ROI をランプの外側の高信号領域や低信号領域に逸脱させないようにする。2 つの ROI で求めた信号値の間に大きな（20%を超える）差がある場合、1 つもしくは両方の ROI にランプの外側の領域が含まれていることが原因であることが多い。

4. ステップ 3 で計算したランプ信号の平均値の半分までディスプレイレベルを下げる。ディスプレイウィンドウの設定を最小にしておく。

注： ゼロ信号レベルに 1024 のピクセル値を使用しているスキャナーがある。このようなスキャナーの場合、ステップ 3 で平均信号値を計算する際と、ステップ 4 でディスプレイレベルをその平均値の半分に設定する際に、これを考慮に入れる必要がある。目的は、ランプの中央の平均信号値の半分の信号の数値にディスプレイレベルを設定することである。

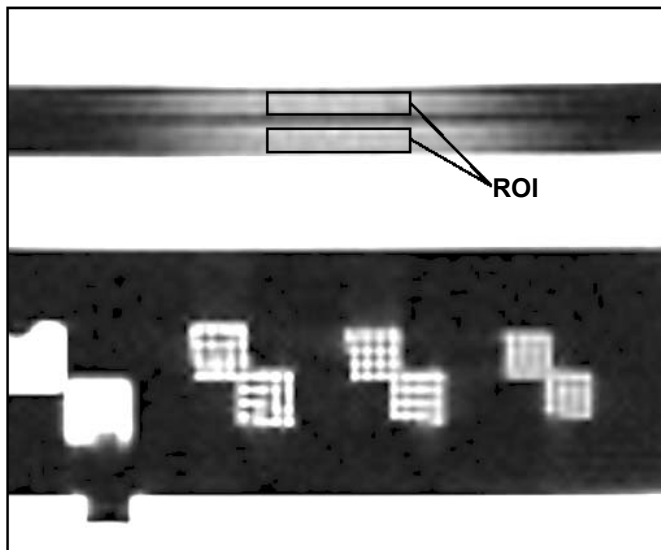


図 11： ランプの平均信号値を測定するために ROI を置いたスライス厚信号ランプを示す、拡大したスライス 1 領域

5. ディスプレイステーションのオンスクリーン長さ測定ツールを用いて、上と下のランプの長さを測定する。これを図 12 に示す。これらの長さを記録する。この試験に必要な測定値はこれだけである。

ランプの信号強度に水平方向の縞が入り、両端が扇状やぎざぎざに見えることがある。この縞は打ち切り誤差アーチファクトが現れたものであり、正常である。この場合、ランプの長さを測定するために、ランプの両端の平均的な位置を推測する必要がある。図 12 はこの問題の例と、測定方である。ランプの両端の推定は誤差の原因となりやすいが、ランプの長さの 1 ミリメートルの誤差は、スライス厚では 10 分の 1 ミリメートルの誤差に過ぎない。従って生じる誤差の影響は小さい。

3.3 測定値の分析方法

以下の公式を用いてスライス厚を計算する。

$$\text{スライス厚} = 0.2 \times (\text{上} \times \text{下}) / (\text{上} + \text{下})$$

ここで、上と下は、上と下の信号ランプの長さの測定値である。例えば、上の信号ランプの長さが 59.5 mm、下の信号ランプの長さが 47.2 mm であれば、スライス厚の計算値は $0.2 \times (59.5 \times 47.2) / (59.5 + 47.2) = 5.26 \text{ mm}$ である。

3.4 推奨される動作基準

両 ACR 画像で測定したスライス厚が $5.0 \text{ mm} \pm 0.7 \text{ mm}$ であること。

3.5 不合格の原因と修正措置

RF 増幅器の非直線性が RF パルス形の歪みを引き起こし、試験が不合格となる可能性がある。多くのスキャナーでは、サービスエンジニアが経験に基づいて、RF 増幅器の直線性をキャリブレーションしなければならない。このキャリブレーションが行われなかったり、間違っていたりすると、試験に合格しない可能性がある。

送信機の高出力 RF 部分、すなわち RF 出力増幅器のどこか、増幅器から送信機コイルに電流を運ぶケーブルや RF スイッチ、送信機コイルそのものに不具合があっても、RF パルスの形状が歪む可能性がある。

極端に悪い勾配のキャリブレーション、勾配の切り替え性能の不良も、試験の不合格の原因となる。

これらの考えられる原因の全てに、サービスエンジニアによる修正措置が必要である。

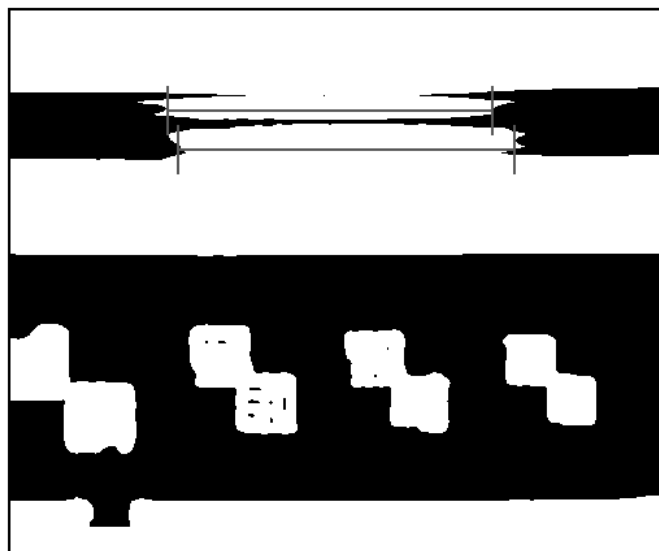


図 12： スライス厚信号ランプを示す、スライス 1 の拡大領域。ディスプレイウィンドウはゼロ、レベルはランプの平均信号レベルの半分である。ランプの長さの測定値を画像上に示す（灰色のライン）。

4.0 スライス位置精度

4.1 スライス位置精度とは何か

スライス位置精度試験は、ロカライザ画像を基準にして、スライスを特定の位置に規定できる精度を評価する。

この試験に不合格であるということは、収集したスライスの実際の位置が、正常に機能しているスキャナーに通常見られる既定の位置と大きく異なることを意味する。

4.2 どのような測定を行うか

この試験では、スライス 1 とスライス 11 の既定の位置と実際の位置の差を測定する。ACR の T1 と T2 画像に測定を行う。

スライス 1 とスライス 11 は、それぞれファントムの下と上の端にある交差した 45°くさびの角頂に来るように規定されていることを序文で述べた (図 1)。スライス 1 と 11 で、交差したくさびはファントムの上部 (前側) に、隣接した黒い縦の 1 対のバーとして表示される。図 13 に、交差したくさびの縦のバーを記したスライス 1 と 11 を示す。

スライス 1 と 11 のどちらも、交差したくさびの角頂とスライスが正確に配置されている場合には、画像上でくさびは同じ長さの黒いバーに見える。くさびのデザインによっ

て、スライスが角頂より上にずれていると、観察者の右手 (解剖学的左手) のバーが長くなる (図 14a)。スライスが角頂より下にずれていると、左のバーが長くなる (図 14b)。

ACR の T1 と T2 画像のスライス 1 と 11 に測定を行う。各画像に以下の手順を使用する。

1. スライスを表示する。交差したくさびの縦のバーが拡大した画像の表示部分内に見えるように、画像を 2~4 倍拡大する。
2. 縦のバーの両端がはっきりわかるように一ぼやけないように、ディスプレイウィンドウを調整する。つまり、かなり狭いディスプレイウィンドウを使用する。ディスプレイレベルの設定は重要ではないが、ファントムの明るい全て水の部分の信号の約半分のレベルに設定する。
3. オンスクリーン長さ測定ツールを用いて、左と右のバーの長さの差を測定する。測定する長さを図 14 に矢印で示す。

左のバーの方が長い場合は、長さの値の前にマイナスを付ける。例えば、バーの長さの差が 5.0 mm で、左のバーの方が長い場合、測定値を -5.0 mm と記録する。

全部で 4 つの長さを測定する。

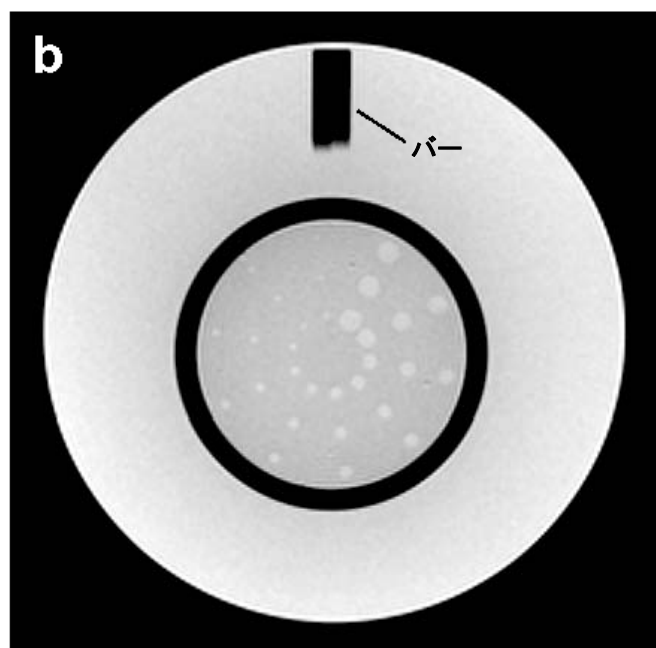
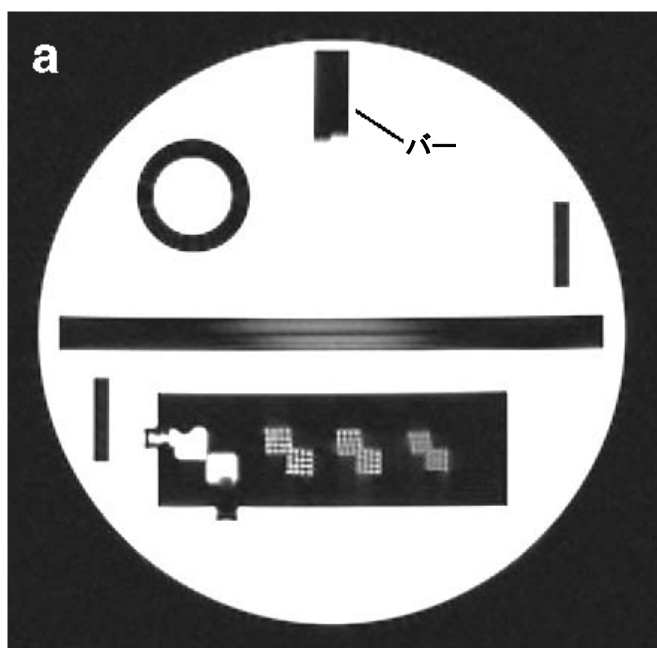


図 13： 交差した 45°のくさびが 1 対の縦バーで示されたスライス 1 (a) とスライス 11 (b) の画像。これらの画像では、右と左のバーの長さの差が小さく、位置が正しいスライスを示している。

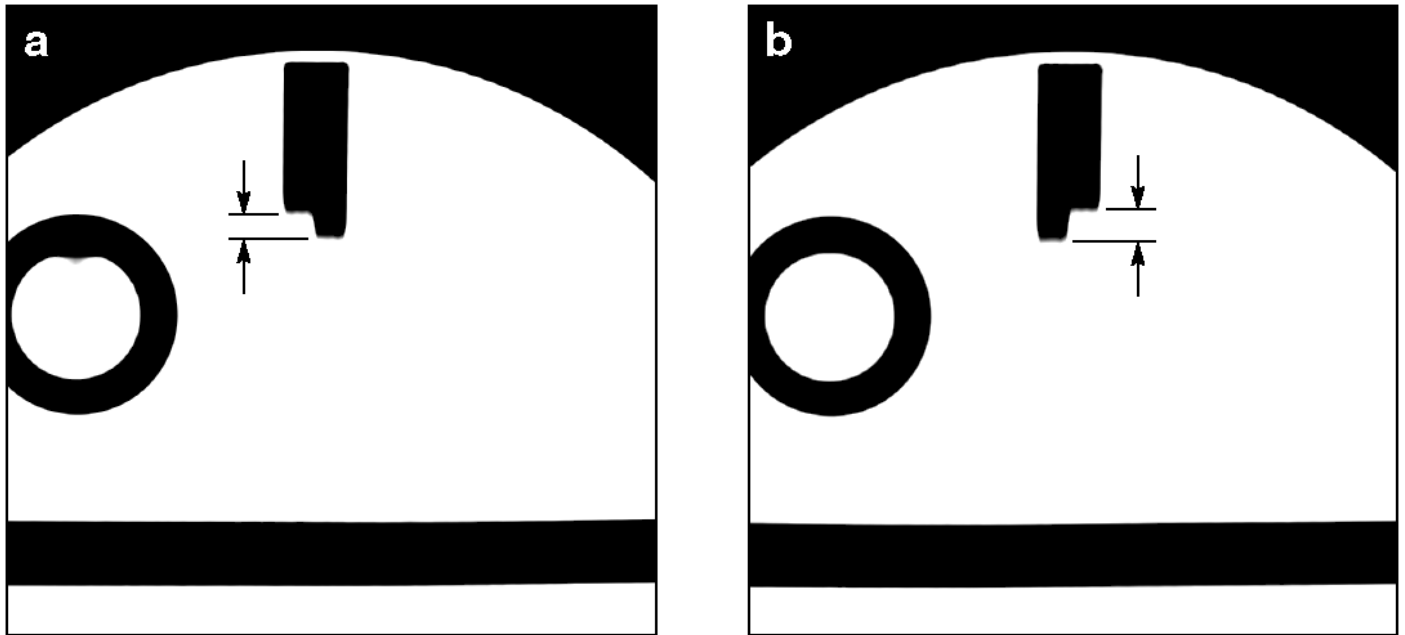


図 14： スライス位置誤差の測定を示すスライス 1 の画像。矢印は、測定すべきバーの長さの差を示す。
 (a) 右のバーが長いのは、スライスの位置が上にずれているからである。この長さの差をプラス値で表す。
 (b) 左のバーが長いのは、スライスの位置が下にずれているからである。この長さの差をマイナス値で表す。

4.3 測定値の分析方法

本項目における合否基準は、バーの長さの差で規定される。

交差したくさびに 45°の勾配があるので、バーの長さの差は実際のスライスのずれの 2 倍である。例えば、バーの長さの差が -5.0 mm であれば、スライス は交差したくさびの角頂から 2.5 mm 下にずれている。

4.4 推奨される動作基準

バーの長さの絶対差が 5 mm 以下であること。

7.5 項で説明するように、スライス 11 の場合バーの長さの差が 4 mm を超えると、低コントラスト物体検出能のスコアに悪影響を及ぼす。従って、この試験において 5 mm は容認できるが、バーの長さの差を 4 mm 以下に保つことが望ましい。

4.5 不合格の原因と修正措置

スキャナーオペレータがスライス位置の設定を誤ると不合格になる可能性がある。これはおそらく最も多い不合格の原因である。軸位断画像をロカライズと比べると、スライス 1 と 11 がロカライズ画像の交差したくさびの角頂にそろわないので、この種のエラーが明白になる。不合格の他の原因は、クロスリファレンス画像にスライス位置エラーとして表れない。ここで生じるエラーが他のエラーの原

因にもなり、容認できる性能レベルが容認できないレベルになる可能性があるので、スライスをできるだけ慎重に規定することが重要である。

多くのスキャナーは、既定の画像スタックの中心をグラジエントのアイソセンタに合わせるために、患者台の位置を上下方向にシフトする。この台のシフトはロカライズが作成された後に行われるので、台のポジショニング機構のエラーがスライス位置のエラーを引き起こす。スライス 1 とスライス 11 のバーの長さの差が、同じ符号で、大きさにおいて類似している場合は、台のポジショニングエラーが原因と考えられる。

特にグラジエントのキャリブレーションや B_0 の均一性が不良であると、この試験に不合格となる。この場合、通常、幾何学的精度試験も不合格か不合格に近い結果となる。

上述の問題—不適切なスライスの規定、台のポジショニング機構のエラー、グラジエントのキャリブレーションや B_0 の均一性の不良—が、それ自体は不合格となるほど悪くはないが、不運にも 2 つか 3 つ組み合わさってしまったことによってこの試験が不合格になることもある。従って、不合格の原因が 1 つの問題ではないと思われる場合、サービスエンジニアによる B_0 をシミング、グラジエントの再キャリブレーション、台のポジショニング機構が過剰な動きをしないかの確認を行うことが望ましい。その後、でき

る限り慎重にスライスを規定し、新しい画像データセットを収集する。

5.0 画像強度均一性

5.1 画像強度均一性とは何か

画像強度均一性試験は、画像体積の中央近く、従ってヘッドコイルの中央近くにおいたファントムの大きな水のみ領域に対し、画像強度の均一性を測定する。

臨床使用のヘッドコイルは、通常のようにヒトの頭に設置したときに、コイルの中央近くの空間感度が全く均一である。この試験に不合格であるということは、スキャナーの画像強度が、正しく機能しているシステムに通常見られるものよりかなり大きく変動していることを意味する。画像強度均一性の欠落はスキャナーの欠陥であり、ヘッドコイルの不良や高周波サブシステムの問題であることもしばしばである。

5.2 どのような測定を行うか

この試験では、ファントムの物理的に均一な、大きな水のみ領域内の、高信号と低信号のレベルを測定する。ACR の T1 と T2 画像に測定を行う。

2 つの画像のそれぞれに対し、以下の手順に従って測定を行う。

1. スライス位置 7 を表示する。
2. 図 15 に示すように、画像に大きな円形の関心領域 (ROI) を配置する。この ROI の面積は $195\text{ cm}^2 \sim 205\text{ cm}^2$ ($19,500 \sim 20,500\text{ mm}^2$) であること。この ROI で、画像の均一性を測定する領域の境界を定める。

この ROI については数字を記録しなくてよい。ただし、ACR T1 画像の場合、ゴースト信号率試験 (6.0 項) で、この ROI の内側の平均ピクセル強度が必要となる。従って、今この値を記録しておく、後で手間が省ける。

3. ディスプレイウィンドウを最小に設定し、大きな ROI の内側全体が白くなるまでレベルを下げる。ここで、ROI の中に黒いピクセルの小さな約 1 cm^2 の領域ができるまで、レベルをゆっくり上げる。これが大きな ROI の中の最も低い信号の領域である。

黒いピクセルの領域が複数現れることもある。この場合、最も大きな黒い領域に注目する。

明確な黒い領域ではなく、複数の広いはっきりしない黒い部分や、黒と白のピクセルが混じった部分が表れる現れることもある。この場合、最も大きな黒い部分の最も黒い 1 cm^2 部分の位置を目視で推定する。

4. ステップ 3 で確認した低信号領域に 1 cm^2 の円形の ROI を配置する。図 16a は、この時点で通常画像がどのように見えるかを示したものである。

この 1 cm^2 の ROI の平均ピクセル値を記録する。これが、測定した低信号値である。

最も黒い場所がはっきりしないため、ROI をどこへ配置すべきか不明な場合、いくつかの場所を試してみて、平均ピクセル値が最も低いところを選ぶ。

5. 白いピクセルの小さな約 1 cm^2 の領域を除く全てが大きな ROI の内側に残るまで、レベルを上げる。これが最も高い信号の領域である。

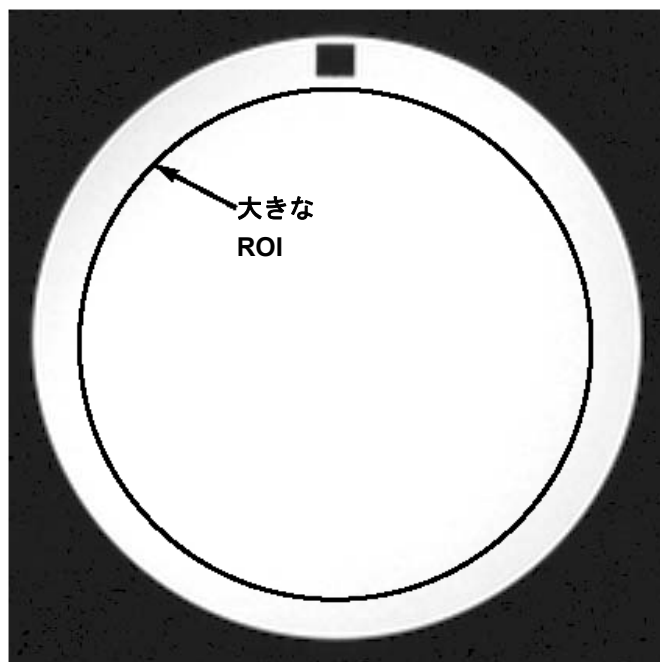


図 15： 画像均一性を測定する内側の境界線を決める大きな 200 cm^2 の ROI のサイズと配置を示すスライス 7 の画像。

白いピクセルの領域が複数残ることもある。この場合、最も大きな白い領域に注目する。

明確な白い領域ではなく、黒と白のピクセルが混じった複数の拡散した部分が現れることもある。この場合、最も大きな明るい部分の最も明るい 1 cm² 部分の位置を推定する。

6. ステップ5で確認した高信号領域に 1 cm² の円形の ROI を配置する。図 16b は、この時点で通常画像がどのように見えるかを示したものである。

この 1 cm² の ROI の平均ピクセル値を記録する。これが、測定した高信号値である。

最も明るい場所がはっきりしないため、ROI をどこへ配置すべきか不明な場合、いくつかの場所を試してみて、平均ピクセル値が最も高いところを選ぶ。

注： 一部のディスプレイワークステーションには、ROI 内のピクセルの最小値と最大値を報告する ROI ツールがある。高信号値と低信号値としてこの数値を使いたいところであるが、

それは勧められない。画像にノイズがあるので、ピクセルの最大値と最小値を使用すると、高信号は系統的に過大評価され、低信号は過小評価される。この系統的誤差が大きい場合は、試験が不合格の方向へ偏る。

5.3 測定値の分析方法

測定したそれぞれの AC 画像の高信号値と低信号値を併合し、percent integral uniformity (総合均一率、PIU) と呼ばれる値を出す。以下の公式から PIU を計算する。

$$PIU = 100 \times (1 - \{ (高 - 低) / (高 + 低) \})$$

この公式で、高は測定した高信号値、低は測定した低信号値である。

5.4 推奨される動作基準

磁場強度が 3 テスラ未満の MRI システムの場合、PIU が 87.5% 以上であること。磁場強度が 3 テスラの MRI システムの場合、PIU が 82.0% 以上であること。

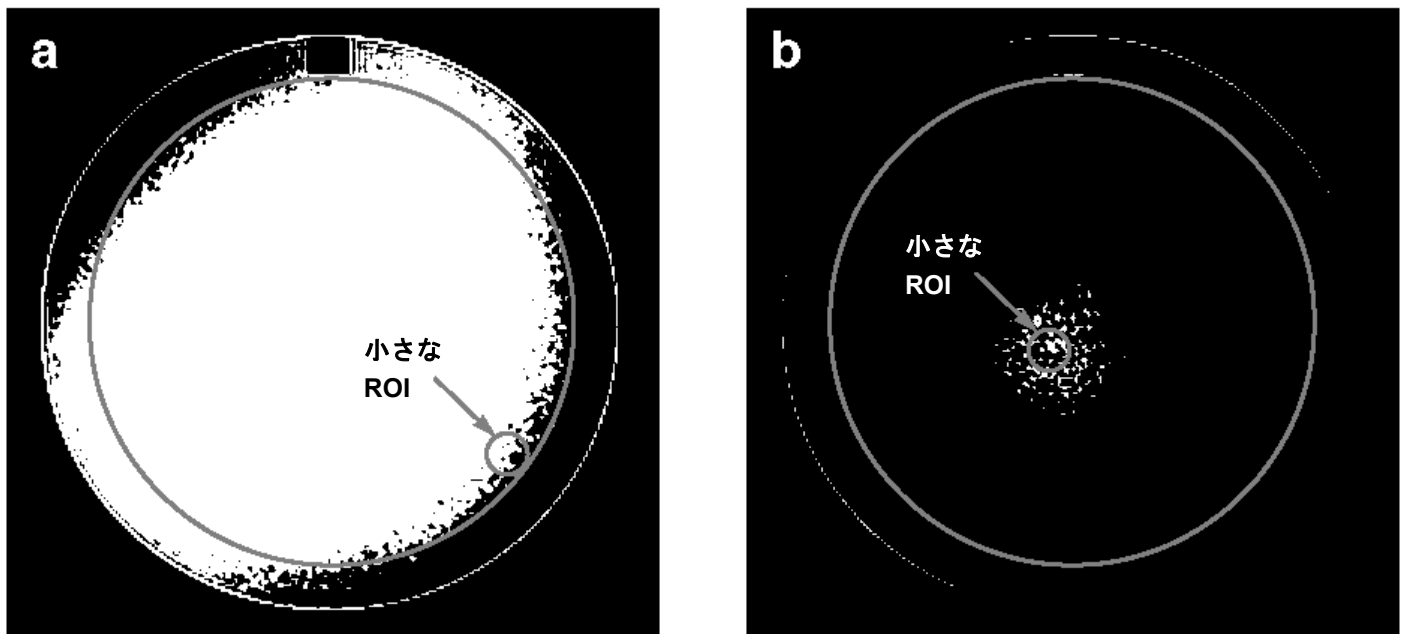


図 16： 画像均一性測定のための画像のウィンドウと小さな 1 cm² の ROI の配置を示すスライス 7 の画像。

- (a) 低信号値測定のためのウィンドウと ROI 配置の例。この場合、小さな ROI の正確な配置場所は完全には明らかでない。上記ステップ 3 のガイダンスに従ったものである。大きな ROI の内側にある 2 つの黒い領域の、最も大きな部分の内側の最も大きな 1 cm² の黒い領域であると目視で推定した場所に ROI を配置した。
- (b) 高信号値測定のためのウィンドウと ROI 配置の例。上記ステップ 5 のガイダンスに従い、大きな ROI の内側にある明るい部分の最も明るい 1 cm² 領域であると目視で推定した場所に ROI を配置した。

5.5 不合格の原因と修正措置

ファントムをスキャンする際は、ヘッドコイルの中央にファントムを置くことが重要である。ファントムがヘッドコイルの片側の方に近いと、画像の強度が均一でなくなり、この試験に不合格になることが予測される。この問題は、前後（AP）方向の中心にないときに最も多く発生する。ファントムを AP 方向の中心に置くには、通常の患者用ヘッドサポートを外すか、何らかのクッションを加えること、または両方が必要であろう。コイルの中心にファントムがないことは時にフィルミングされた画像にも明白に表れている場合がある。中心にないことを示すもう一つの指標は、ファントムがコイルの伝導エレメントに近すぎる場合、画像に明るい点が現れることである。スキャナーが正常に機能していると思われ、通常の量の信号対雑音比で、ゴーストのない頭部画像を撮る場合、ファントムが中心にないと不合格の原因になるかもしれない。

画像のゴーストは画像強度の変動を引き起こし、従って試験に不合格となる。本試験に不合格になるほどのゴーストは画像上に明白に現れ、ゴースト信号率（6.0 項）のような別の試験の不合格の原因になる可能性がある。ゴーストは、ハードウェアの問題の非常に非特異的な症状である。一般に、これは、測定される信号がパルスサイクルごとに不安定であることが原因であり、受信器、送信器、勾配サブシステムが発生源である。ファントムの動きもゴーストを引き起こす可能性がある。ファントムがヘッドコイル内で安定しており、動きや振動がないようにする。ファントムの動きが原因でないとしたら、通常はサービスエンジニアにゴーストの原因を追跡し、修正するよう依頼する必要がある。

画像強度均一性の低下は、ヘッドコイルのコンポーネントの不具合、ボディコイルをヘッドコイルから誘導性減結合するメカニズムの不具合が原因かもしれない。これらの場合、通常、画像の信号対雑音比は著しく低くなり、すなわち一般的に粒子が粗く見える。サービスエンジニアは、これらの問題を診断し、修正することが求められる。

6.0 ゴースト信号率

6.1 ゴースト信号率とは何か

ゴースト信号率の試験は、画像のゴーストのレベルを評価する。ゴーストとは、撮影した物体のコピー（ゴースト）が、正しい位置からずれて画像の上にぼんやり重なったアーチファクトである。低レベルのゴーストが多くある場合は、物体のコピーとして認識されずに、真の画像のより明るい領域から位相エンコード方向に発出した信号のスマアとしか見えないかもしれない。ゴーストは、パルスサイ

クル繰り返しの間の信号の不安定性の結果である。この試験では、ゴースト信号のレベルを測定し、真の（一次）画像の信号レベルのパーセンテージで報告する。

ゴーストは、信号がないはずの画像のバックグラウンド部分で最も顕著であるが、通常は画像の主要部分にも同じように重なり、人工的に画像強度を変えてしまう。この試験に不合格であるということは、正しく機能しているスキャナーに見られるよりはるかに高いレベルでゴースト信号があることを意味する。

6.2 どのような測定を行うか

この試験では、ACR T1 画像のスライス 7 で測定する。ワークステーションの ROI ツールを用いて、5 つの強度を測定する。すなわち、ファントムの一次画像の平均強度と、ファントムの外側の 4 箇所のバックグラウンドの平均強度を測定する。図 17 のように ROI を配置する。

画像における位相エンコードの影とは、位相エンコード方向に沿って物体を移動させる様にして掃き出される画像部分である。ゴーストは、この位相エンコードの影の範疇に入る。バックグラウンドの ROI は FOV の 4 端に配置されるので、2 つはファントムの位相エンコードの影の中になり、2 つはならない。よって、バックグラウンド ROI の 2 つはゴースト信号のサンプルとなり、2 つにはゴースト信号がない。平均背景強度の対照にするためにゴーストのないバックグラウンド ROI が 2 つ必要であり、これはいくつかの要因（最も顕著なのは雑音）による影響を受ける可能性がある。

この測定の手順は以下の通りである。

1. ACR T1 画像のスライス 7 を表示する。
2. 図 17 に示すように、画像上に大きな円形の ROI を配置する。この ROI の面積は $195\text{ cm}^2 \sim 205\text{ cm}^2$ ($19,500 \sim 20,500\text{ mm}^2$) であること。ROI はファントムのほぼ中心に配置するが、このスライスファントムの上部に現れる小さな黒い四角が入ってはならない。

この ROI の平均ピクセル値を記録する。

ワークステーションで円形の ROI が出ない場合は、四角い ROI を使用してもよい。四角い ROI の面積は $130\text{ cm}^2 \sim 140\text{ cm}^2$ ($13,000 \sim 14,000\text{ mm}^2$) であること。

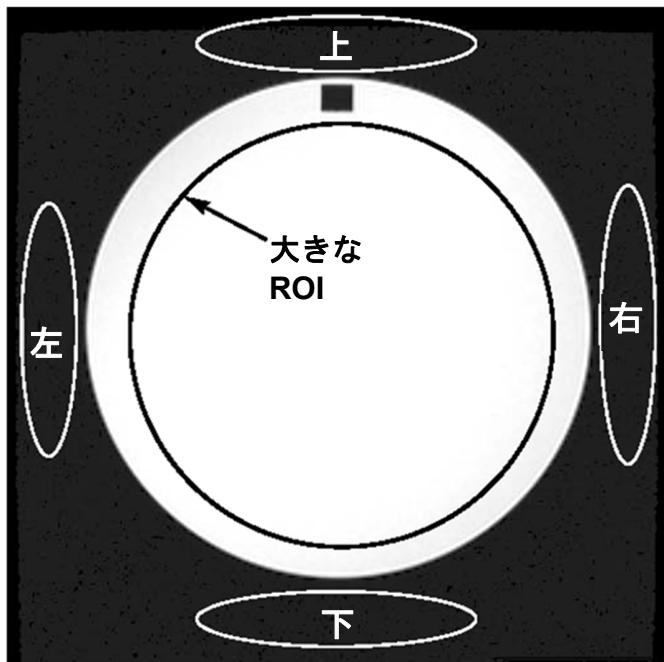


図 17： ゴースト信号率測定のための ROI 配置を示したスライス 7 の画像。

3. 図 17 に示すように、楕円形の ROI を、FOV の 4 端に沿って、ただし接触しないように配置する。

ROI の長さと幅の比が約 4 : 1、総面積が約 10 cm^2 (1000 mm^2) になるようにする。図 17 に記載したように、これらの ROI を、上、下、左、右と呼ぶ。

どの ROI かわかるように、それぞれの ROI の平均ピクセル値を記録する。

バックグラウンドの ROI をファントムの端や FOV の端に接触させず、ファントムの端と FOV の端の中心に配置することが重要である。ファントムが FOV の中心から外れていると、ファントムと FOV の端の間に収めるために、一部の ROI の幅を小さくする必要があるかもしれない。ROI の幅を収めるために必要なだけ減らし、長さを増やして約 10 cm^2 の面積にする。図 17 の上と右の ROI がこの例である。

ワークステーションで楕円形の ROI が出ない場合は、ほぼ同じサイズの四角い ROI を使用してもよい。

6.3 測定値の分析方法

以下の公式を用い、ゴーストの値を一次信号の割合として計算する。

$$\text{ゴースト比} = \frac{|((\text{上} + \text{下}) - (\text{左} + \text{右}))|}{2 \times (\text{大きな ROI})}$$

ここで、上、下、左、右、大きな ROI は、その ROI の平均ピクセル値である。公式の右端を囲っている縦の線は、囲った値の大きさ（絶対値）を取ることを意味する。

6.4 推奨される動作基準

ゴースト比は 0.025 以下であること。

6.5 不合格の原因と修正措置

ゴーストは、収集の間にファントムが動いたり振動したりすることによって起こる可能性がある。ファントムをヘッドコイルにしっかり固定し、動かないようにする。

ゴーストは、ハードウェアの問題の非特異的な症状である。一般に、これは、測定される信号がパルスサイクルごとに不安定であることが原因であり、受信器、送信器、勾配サブシステムが発生源である。ファントムの動きが原因でないとしたら、通常はサービスエンジニアにゴーストの原因を追跡し、修正するよう依頼する必要がある。

非デジタル受信器がついているスキャナー（1990 年以前に設計されたほとんどのスキャナー）は、直交受信器不均衡ゴースト、または受信直交ゴーストと呼ばれるゴーストが出やすい。この種のゴーストの原因は、測定される信号がパルスサイクルごとに不安定であることではなく、アナログ受信器の直交チャネルの不均衡である。このゴーストは、ゴーストが 1 つだけあり、一次画像の起点からの反射なので、一般に他の種類のゴーストと区別しやすい。例えば、画像の左下の物体に、画像の中心から等しい距離にある右上に受信直交ゴーストができる。受信直交ゴーストは、受信器の直交チャネルを均衡させると修正され、サービスエンジニアによって修正できる。

7.0 低コントラスト物体検出能

7.1 低コントラスト物体検出能とは何か

低コントラスト物体検出能試験は、低コントラストの物体を画像で識別できる度合いを評価する。このために、ファントムには、サイズとコントラストが異なる低コントラスト物体のセットが組み込まれてある。

低コントラスト物体を検出する能力は、主に、画像のコントラストノイズ比（SNR）によって決まり、ゴーストのようなアーチファクトがあると低下する。

磁場強度の異なるスキャナーは SNR の性能が大きく異なるため、通常はこれらの差を考慮してスキャンプロトコルを調整する。従って、ACR 画像に加え、この低コントラスト物体検出能の試験は現場の画像にも適用される。ほとんどのスキャナーは ACR 画像の試験に合格するが、そうであれば現場の画像の試験にも十分合格する。

この試験に不合格であるということは、スキャナーが撮った画像に表示される低コントラスト物体が、ほとんどの正しく機能している臨床機よりも、はるかに少ないことを意味する。さらに、現場の臨床プロトコルを使用してもこの欠陥は現れる。

7.2 どのような測定を行うか

ACR と現場の画像に測定を行う。低コントラスト物体は 8 から 11 の 4 つのスライスに現れる。各スライスに、低コントラスト物体が小さなディスクの列で現れ、その列が車輪のスポークのようにサークルの中心から放射状に広がっている。各スポークに 3 つのディスクがあり、各サークルに 10 のスポークがある。図 18 は、10 のスポークがあるスライス 11 のサークルである。

1 つのスライスのディスクは全て同じコントラストである。スライス 8 から 11 の順に、コントラスト値は 1.4%、2.5%、3.6%、5.1% である。1 つのスポークのディスクは全て同じ径である。12 時の位置から時計回りに、ディスクの径は最初のスポークの 7.0 mm から 10 番目のスポークの 1.5 mm まで徐々に小さくなっている。

実際は、低コントラストのディスクは、4 つのスライスの場所でファントムにマウントされた薄いプラスチックシートに穴あけられた穴である。コントラストは、プラスチックシートによってスライスから水溶液がずれたことによって発生するので、パルス系列、TR、フリップ角、磁場強度と関連しない。

この試験の測定では、4 つのスライスのそれぞれに見られる完全なスポークの数を数える。4 つの軸位断画像のそれぞれに行う。

以下の手順に従って、スライスに見られる完全なスポークの数を計算する。

1. 計算対象のスライスを表示する。コントラストの最も高い物体があるスライス 11 から始めるとよい。
2. 低コントラスト物体が最もよく見えるように、ディスプレイウィンドウの幅とレベルの設定を調整する。通常は、かなり狭いウィンドウが必要であり、バックグラウンドと物体がはっきり区別できるようにレベルを慎重に調整する必要がある。
3. ここで完全なスポークの数を計算する。最も大きな径のディスクがあるスポークから数え始める。このスポークは 12 時かそれより少し右の位置にあり、これをスポーク 1 と呼ぶ。スポーク 1 から、複数のディスクがバックグラウンドと識別できなくなる場所まで、時計回りに数える。

数えた完全なスポークの数がこのスライスのスコアである。このスコアを記録する。

3 つのディスクが全て識別できるスポークを完全なスポークとする。個々のディスクではなく、完全なスポークの数を数える。

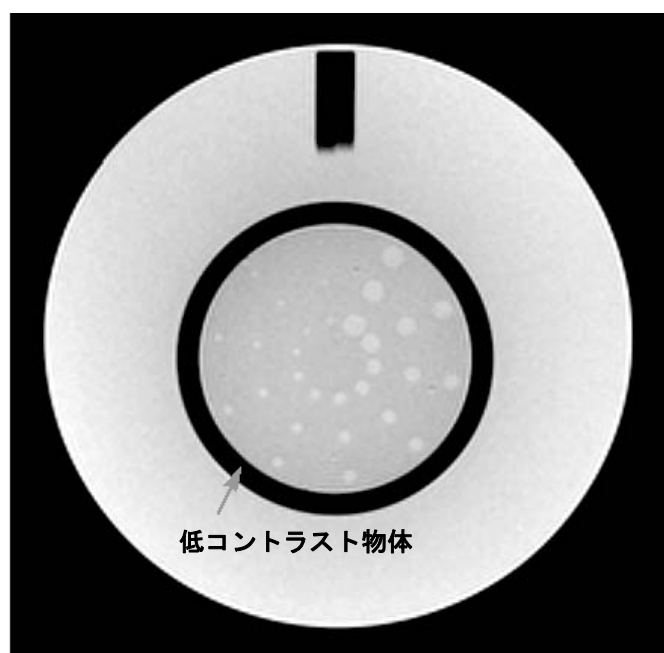


図 18： 低コントラスト物体検出能試験のための低コン

トラスト物体のサークルを示したスライス 11 の画像。

スキャナーはこの試験に合格する。

一例として、完全なスポークが 10 未満であるスライス 8 の画像を図 19 に示す。この画像のスコアは、完全なスポークが 9 である。

完全でないスポークの後に、これより小さい完全なスポークがある場合がある。これはカウントしない。最初の不完全なスポークのところでカウントを止める。

識別できる境界にあるディスクは、これをカウントするかどうかを決めるのが難しい。ぎざぎざに見えたり、歪んで見えたりしていても OK である。問題は、わかっているディスクの位置に、バックグラウンドとは異なる何らかのしみや点があり、合理的な確信を持って実際にそこに何かがあると言えるかどうかということである。この判断をする際、かろうじて識別できるディスクのように見えるノイズやアーチファクトによる強度の変動を判断するために、ディスクのない部分を見ると有用であろう。より明るいバックグラウンドのノイズ変動と同じように見えるディスクは識別できると見なされない。

ほとんどのスキャナーは、下記の動作基準の項に示す最低合格スコアを大きく超えている。ほとんどの場合、かろうじて見えるディスクの判断にあれこれ迷って時間を費やす必要はない。控えめにスコアをつけて、最終スコアが合格点を下回るという限られた場合に再考すればよい。

7.3 測定値の分析方法

各画像で、各スライスで数えた完全なスポークの数を合計する。

例えば、ACR T2 画像のスライス 8 に 3、スライス 9 に 5、スライス 10 に 9、スライス 11 に 10 のスポークがカウントされたら、ACR T2 画像の合計スコアは $3+5+9+10=27$ である。

7.4 推奨される動作基準

ACR 画像のそれぞれにおいて、磁場強度が 3 テスラ未満の MRI システムは合計スコアが少なくとも 9、磁場強度が 3 テスラの MRI システムは 37 であること。そうであれば、スキャナーはこの試験に合格する。

ACR 画像のいずれかの合計スコアが推奨値を下回る場合、現場の両画像でスキャナーが合格するかどうかを評価する。

現場の画像のそれぞれにおいて、磁場強度が 3 テスラ未満の MRI システムは合計スコアが少なくとも 9、磁場強度が 3 テスラの MRI システムは 37 であること。そうであれば、



図 19： 低コントラスト物体のサークルを示した、スライス 8 の拡大トリミング画像。この画像では完全スポークが 9 と採点される。印刷画像では 9 番目のスポークが見えにくい。

スキャナーは、ACR の T1 と T2 画像、あるいは現場の T1 と T2 画像で合格しなければならない。ACR 画像の 1 つ、現場画像の 1 つだけでは合格にならない。

7.5 不合格の原因と修正措置

最もよくある不合格の原因は、スライスの位置が正しくないことである。低コントラスト物体を作る薄いプラスチックシートが正しく機能するためには、スライス 8 から 11 がファントム内のほぼ正しい位置になければならない。スライスが 2 mm を超えてずれていると、そのスライスの低コントラスト物体のコントラストが大きく低減する。これが原因かどうかをチェックする最も簡単な方法は、スライス 11 を見ることである。スライス 11 の交差した 45°くさびのバーの長さの差はスライスの位置ずれの 2 倍であるという 4.0 項（スライス位置の精度）を思い出していただきたい。従って、スライス 11 のバーの長さの差が 4.0 mm 未満であることを確認する。そうでない場合は、スライス 11 の交差したくさびのバーの長さの差が 4.0 mm 未満になるようにスライスの規定を調整し、再度画像を収集する。

この試験の不合格は、ファントムが傾いていることが原因である可能性がある。ファントムが傾くと、スライスの一部が正しい位置からはずれ、スライスの位置不良で説明したものと同種の問題が起こる。この点については、ファントムの上下軸のグラジエント（回転）は問題ではなく、他の2軸のグラジエントが問題である。左右軸のグラジエントは、ロカライザに明確に現れる。ロカライザの FOV の端でファントムが四角に見えない場合、位置を正してからデータ収集を続けるべきである。ファントムに付随する非磁気バブルレベルを用いると、ヘッドコイル内にファントムを水平に保ち、この種の傾斜を回避することができる。前後軸の傾斜は画像では見えにくい。これは、部分容積が軸スライス全体で均一であるべき構造物の、右から左へのフェードとして検出されることが多い。この種の傾斜を避ける最善の方法は、ファントムをヘッドコイルに正確に配列することである。これには配列ライトが有用であるが、それ自体が正しく配列されていないことがある。

ギャップ 5 mm の 5 mm スライスに設定できないスキャナーもある。このような場合、1 回の収集で必要なスライス位置を全て収集できない。認可資料に含まれる現場のスキャン法に、許容できる別の収集法について指針が記載されている。ギャップ 5 mm の 5 mm スライスに設定できない医療施設は、スライスのずれが低コントラスト物体検出能試験に影響を及ぼす可能性に特に注意しなければならない。

ゴーストアーチファクトが、低コントラスト物体の検出能力に影響を及ぼし、試験を不合格にする可能性がある。不合格の原因がゴーストである場合、画像の検査で明らかになるはずである。画像収集の間、ファントムが安定し、動きや振動がないようにする。それでもゴーストが問題である場合、サービスエンジニアに原因究明と修正を依頼すべきである。一部のスキャナーは、従来の T2 スピンエコーと高速スピンエコーの画像において、小さいが顕著な量のゴーストが現れるのは正常である。見えるゴーストが正常かどうか疑わしい場合は、信号の安定性とゴーストに関する製造業者の診断テストを行うようサービスエンジニアに依頼する。

画像にゴーストがなく、スライスの位置が正確であれば、この試験の不合格は、画像の不適切な信号対雑音比 (SNR) が原因である可能性が最も高い。サービスエンジニアに、スキャナーの SNR が製造業者の規格内であるかの確認を依頼する。

8.0 助言と勧告

サービスエンジニアには、数週間前からシステムのチェックの予告を行い、許認可のための画像収集が行われるまでに全てが正しく動作する状態にしておくことが推奨される。

許認可のための画像を収集する少なくとも 1 時間前にスキャナーのハードウェアの電源を入れる。これは主に、夜間にスキャナーの電源を切っておく医療施設に向けた助言である。

ファントムをヘッドコイルの中心近くに配置する。これは、通常患者の頭を置く場所ではないかもしれない。ファントムに刻まれたセンターマークを、上下方向に沿ってコイルの中心に合わせる。ファントムがコイルの左右と前後の中心にも来るようにする。そうすると画像が均一になる。

ゴーストアーチファクトが出ないように、必要に応じてファントムが動かないようにクッションやパッドを使用する。

スキャン中はスキャンルームのドアを確実に閉めて、ラジオ波干渉で画像が汚染されないようにする。これは臨床スキャンにも適応されるよい方法である。

7.5 項で説明したように、スライス 8 から 11 をファントムの正しい位置にできるだけ近づけ、ファントムを主軸とほぼ合わせ、傾けないようにすることが重要である。

ACR T2 画像の測定をする際は、セカンドエコー画像を実際に使用する。多くのスキャナーのスライス番号の割付方法のために、誤ってファーストエコー画像（プロトン）で測定がなされがちである。

水溶液の熱膨張を可能にするために、製造業者が数 cm³ の小さな気泡をファントムに故意に残しておくのが通常である。その気泡がさらに小さい気泡に分解され、ファントム内の構造物に付着し、試験の採点を阻害する可能性がある。ファントムを振らないようにすること。

