

原 著

心筋血流MRIと心筋血流SPECTの冠動脈病変に対する
診断能の比較：メタアナリシスによる検討岩田邦弘・窪田 誠・小笠原克彦¹⁾旭川医科大学病院放射線部
1)北海道大学医学部保健学科放射線技術科学専攻論文受付
2007年3月14日論文受理
2007年11月26日Code Nos. 261
332

緒 言

通常心筋血流の評価は、²⁰¹Tlや^{99m}Tcなどの単光子放出核種によるsingle photon emission computed tomography(以下、SPECT)や、¹⁵Oや、¹³Nなどの陽電子放出核種を用いたpositron emission tomography(以下、PET)などによって行われている。近年、magnetic resonance imaging(以下、MRI)装置を用いて行う薬物負荷造影心筋血流MRI(以下、心筋血流MRI)によって心筋血流の評価が行われるようになった。そして、その結果とcoronary angiography(以下、CAG)で得られた結果とを比較することによって、心筋血流MRIが虚血性心疾患の検出に有用¹⁻³⁾であり、その診断能も心筋血流SPECTと同等以上であるという報告^{4, 5)}がなされている。しかし、これらはいずれも症例数が少ないことから、個々の研究で得られた結果が他の虚血性心

疾患が疑われる被験者に適用可能か否か、その検査方法のエビデンスの有無を考慮した場合、個々の結果のみでは検査の有効性を証明する根拠に乏しい。EBM(evidence-based medicine)を実践するためにも、これらの結果をメタアナリシスなどの臨床疫学的手法を用いて統合・評価することが必要であると考えられる。

昨今、わが国でも診療行為に対するガイドラインの作成が進められている。ガイドライン作成のためには文献の包括的検索によるエビデンスの評価が必要となるため、画像診断領域も今後エビデンスを検討する研究の重要性が増加すると考えられる。

メタアナリシスは、同じテーマに関して過去に行われた複数の独立した研究結果を統合する統計学的手法である。歴史は古く、1904年にPearsonがワクチンの効果を定量的に評価する目的で、腸チフスによる死亡

Comparison with myocardial perfusion MRI and myocardial perfusion SPECT
in the diagnostic performance of coronary artery disease: A meta-analysisKunihiro Iwata, Makoto Kubota, and Katsuhiko Ogasawara¹⁾

Department of Radiology, Asahikawa Medical College Hospital

1)Department of Health Sciences, School of Medicine, Hokkaido University

Received March 14, 2007; Revision accepted Nov. 26, 2007; Code Nos. 261, 332

Summary

We compared the diagnostic abilities of stress myocardial perfusion MRI (myocardial perfusion MRI) and myocardial perfusion SPECT, using a meta-analysis method. We investigated the diagnostic abilities of MRI and SPECT in similar subject groups in reports written in English or Japanese. The reports to be used for analysis were selected according to a "screening standard," which was established in advance. After consolidating the data from the selected reports, we compared (1) the integrated odds ratio, (2) the point estimation values of sensibility/specificity, and (3) the summary ROC curve. For the analysis, six reports were selected (subjects: 153, coronary-artery target sites: 447). Meta-analysis revealed that the diagnostic ability of myocardial perfusion MRI was superior to that of myocardial perfusion SPECT regarding each of the parameters (1)-(3). This is considered to be supportive evidence of the usefulness of myocardial perfusion MRI.

Key words: coronary artery disease, myocardial perfusion, diagnostic performance, meta-analysis

別刷資料請求先：〒078-8510 旭川市緑が丘東2条1丁目1-1
旭川医科大学病院放射線部 岩田邦弘 宛

と予防接種の関連を検討した6つの調査結果について強固なエビデンスを得るため、これらの結果を統合し解析を行ったのがはじめである⁶⁾。臨床試験の評価においては、1985年にYusufらによる心筋梗塞後の β ブロッカーの長期投与の2次予防効果に関する研究⁷⁾を契機に急速に広まった。その研究以降、早期乳がんのアジュバント化学療法に関するメタアナリシス⁸⁾や、急性心筋梗塞後の血栓溶解剤としてのstreptokinaseの静脈内投与の有効性に関するメタアナリシス⁹⁾が実施されている。さらには、これらの結果をまとめた2次資料としてコクランライブラリー¹⁰⁾があり、広く活用されている。

心筋血流MRIにほぼ類似した目的として行われる検査として、負荷心電図、負荷超音波検査、心筋血流SPECTなどが挙げられ、すでにメタアナリシスによるモダリティ間における診断能の比較検討が行われている¹¹⁻¹⁴⁾。しかし、今後その臨床での重要性が増すであろう心筋血流MRIに関しては、メタアナリシスや他のモダリティとの比較検討に関する報告はない。

本研究では、近年普及してきている心筋血流MRIと評価方法が確立されている心筋血流SPECTの診断能に関するメタアナリシスを行い、心筋血流MRIは虚血心筋の検出に有用であるというエビデンスになりうるか否かの検証を行うことを目的とした。

1. 方法

1-1 論文検索

まずはじめに、心筋血流MRIと心筋血流SPECTの虚血性心疾患に対する診断能の比較に関する論文の検索を行った。対象言語は英語および日本語とし、key wordsは英語と日本語で同じ意味となる語を選んだ。論文データベースは「MEDLINE」および「医中誌Web Ver.4」とし、論文検索に使用するkey wordsを以下のおりとした。また、検索においてkey wordsはすべての語句を使用した。

MEDLINE: Magnetic Resonance Imaging single photon emission computed tomography coronary artery sensitivity specificity

[検索式]Magnetic Resonance Imaging and single photon emission computed tomography and coronary artery and sensitivity and specificity

医中誌Web Ver.4: MRI, SPECT, 冠動脈, 感度, 特異度

[検索式](MRI/TH or MRI/AL)and (SPECT/TH or SPECT/AL)and (冠動脈/TH or 冠動脈/AL)and (感度と特異度/TH or 感度/AL)and (感度と特異度/TH or 特異度/AL)

検索に設定した期間は、1995年1月より2006年3月までとした。1995年からとしたのは、MRI装置の開発が進み、心臓のような動きのある臓器のダイナミック撮像に必須な超高速撮像法であるEPI(echo planar imaging)シーケンスが臨床用装置に搭載され始めたのがこの年である¹⁵⁾こと、および虚血性心疾患の検査にMRIを使うというプロジェクトが1997年に米国で始まった¹⁵⁾ことによる。画像判定の条件を心筋血流SPECTに近づけるため、cine-MRI検査のみを対象とした論文、遅延造影検査のみを対象とした論文は除外した。さらに、同一の被験者群でMRIとSPECTの診断能を比較していない論文も除外した。また、学会抄録からは詳細な情報が得られないため検索から除外した。なお、検索から得られた総説論文についてはすべてを参照した。

1-2 論文の選択とデータの抽出

収集した論文の中から解析に必要な論文を選択するために、以下の条件を満たすものを解析対象として選択した。

- 1) 感度・特異度算出の際、CAGの結果を黄金律(golden standard)としている。
- 2) データ抽出の際、感度・特異度算出に必要な2×2表が論文中に示されている、または計算可能なデータが論文中に示されている。
- 3) MRI, SPECTともに、必ず安静時および負荷時の撮像を行っている。
- 4) 動物実験データは除外し、人間に対する検討が行われている。

同じ研究グループによって複数回報告された論文については、報告が新しいものを選択した。ただし、データ収集期間が論文に明示してあり、明らかに被験者が異なる場合は、別の論文として扱った。

収集した論文および総説論文については、それぞれの論文における引用文献を参照し新たな論文の検索を行った。続いて、上記1)~4)の条件を設定したのち、2名の診療放射線技師によって解析の対象とする論文を選択した。判断が別れた場合は2名の合議のうえ、選択の可否を決定した。最後にデータの抽出を行い、CAG所見の有無に対する2×2表の作成、感度・特異度の算出を冠動脈領域単位で行った。それらは個々の研究ごとにMRIとSPECTそれぞれについて行った。

1-3 統計処理

一連の統計処理は以下に示す石田ら¹⁶⁾の示す手順で行った。

- 1) 個々の研究の感度、特異度などの診断特性値と診断的オッズ比を計算する。

- 2) Spearmanの順位相関係数を求め、summary receiver operating characteristic curve(以下、サマリーROC曲線)分析の可否を判定する。
- 3) データの均質性について検討する。
- 4) 3)の結果が不均質の場合はその原因を検索し、その原因別に分けて1)~3)を繰り返す。
- 5) データの均質性が認められる場合は、個々の研究を統合するためのモデルを決定する。
- 6) データの統合を行い、サマリーROC曲線、統合オッズ比および感度・特異度の統合値を検討する。

1-3-1 サマリーROC曲線の作成

得られた2×2表よりサマリーROC曲線の作成の可否を検討するため、Spearmanの順位相関係数を心筋血流MRIおよび心筋血流SPECTについて求め、感度と偽陽性率との間における相関の有無を検討した。相関がある場合($\rho > 0.4$)¹⁶⁾、サマリーROC曲線の作成を心筋血流MRIおよび心筋血流SPECTそれぞれについて行った。続いて、サマリーROC曲線の比較およびサマリーROC曲線の統計学的有意差の検定をMosesらの方法¹⁷⁾により行った。

1-3-2 統合オッズ比および感度・特異度の統合値の計算および公開バイアスの検討

データの抽出により得られた2×2表に基づき、計算方法を選択するためデータの均質性の検定¹⁶⁾を心筋血流MRI、心筋血流SPECTそれぞれについて行った。その結果より統合オッズ比⁶⁾の計算方法を選択し、実際の計算を心筋血流MRIおよび心筋血流SPECTについて行い、得られた統合オッズ比および95%信頼区間を比較検討した。さらに、均質性の検定によりデータの質が心筋血流MRI、心筋血流SPECTともに均質性が否定されなかったと判断された場合は感度・特異度の統合値¹⁶⁾を計算した。

また公開バイアス⁶⁾の有無を、データの抽出により得られた各論文からの診断的オッズ比(心筋血流MRI、心筋血流SPECTそれぞれ)に対し、funnel plotおよびMacaskillらの回帰法⁶⁾を用いて検討した。

2. 結果

2-1 選択された論文

論文検索を行った結果、データベースからの検索および引用文献からの検索において1-1項の条件を満たす論文が47論文選択された。内訳はMEDLINEより36論文、医中誌Web Ver.4より7論文、引用文献からの検索によるものが4論文であった。要旨および論文題名を参照した結果、22論文は今回のメタアナリシスとは明らかに関係のない内容のものだった。また、総説論文からは今回のメタアナリシスに必要な論文は見いだされなかった。最終的に17論文について論文選択の

ための検討を行った。その中から1-2項に示した条件を満たさなかった11論文が除外された。理由を以下に示す。なお、複数の論文で理由が重複していた。

- 1) MRI、SPECTともに安静時および負荷時の撮像を行っていなかった(論文数：7^{18~24)}。
- 2) 感度・特異度算出の際、CAGの結果をgolden standardとしていなかった(論文数：1²²⁾。
- 3) 2×2表もしくは2×2表作成のための感度・特異度に関する情報が論文中に示されていなかった(論文数：6^{18, 23~27)}。
- 4) 他に同じ研究グループでの報告があったが、データ収集期間が明確に示されていなかった(論文数：1²⁸⁾。

以上より、条件をすべて満たした6論文(MEDLINEより5論文、医中誌Web Ver.4より1論文)^{4, 5, 29~32)}、総被験者数(MRI：153人、SPECT：143人)、対象冠動脈総数(MRI：442領域、SPECT：412領域)についてデータの抽出を行った。

2-2 抽出されたデータの概要

2-1項で選択された6論文において対象となった被験者などの概要をTable 1, 2に示す。使用したMRI装置の磁場に関しては1.5Tの機器によるものが4論文、1.0Tが1論文、0.5Tが1論文であった。SPECTの核種はTechnetium製剤(投与量800~1160Mbc)およびThallium製剤(投与量74~111Mbc)がそれぞれ3論文、負荷薬剤はdipyridamoleによるものが4論文、adenosineによるものが2論文であり、SPECTに関しては一部運動負荷を併用していた。また研究デザインは、すべて後ろ向きコホート研究であった。4論文において感度、特異度ともに95%信頼区間に重なりがあるものは、いずれも心筋血流MRIで高い値を示した。

感度の比較において、論文5)では心筋血流SPECTの感度が41%であり、心筋血流MRIの66%に比べ極端な低値を示していた。この理由として著者らは、自らの報告した心筋血流SPECTの診断能が過去の報告に比べ低いこと、心筋血流SPECTは回旋枝領域病変の診断能が最も低いとされていること、および画像の解像度の差を挙げていた。また論文29)では心筋血流MRIの感度が67%であり、心筋血流SPECTの75%に比べ低値を示していた。これに関し直接感度についての言及はないが、心筋血流MRIの画像収集時の制限として、同時に1~2スライスの左室短軸の画像収集のため、心基部の画像が収集できなかったことが画像の解釈に影響を及ぼした可能性を挙げていた。特異度の比較に関して、論文5)では心筋血流MRIの特異度が94%であり、心筋血流SPECTの97%に比べ低値を示しているが、これに関する言及はなかった。また論文30)で

Table 1 Characteristics of included studies.

Author	Year of publication	Prevalence of CAD (%)	Patients (n)	Men (n)	Mean age (y)	CAG criteria (%)
Sakuma, et al ⁴⁾	2005	53	40	28	64.6	70
Ogino, et al ⁵⁾	2005	100	22	18	64.5	75
Keijer, et al ²⁹⁾	2000	92	12	10	58	70
Okuda, et al ³⁰⁾	2005	*	33	29	60	75
Panting, et al ³¹⁾	2001	100	26	21	63	50
Thiele, et al ³²⁾	2004	85	20	*	*	70

*: not detected

Table 2 Diagnostic performance of MRI to detect coronary artery disease (a), and diagnostic performance of SPECT to detect coronary artery disease (b).

a

Author	Technique	Blinded interpretation of test results	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Diagnostic odds ratio (95% CI)
Sakuma, et al ⁴⁾	Turbo FLASH	Yes	70	87	15.9 (6.0 - 42.1)
Ogino, et al ⁵⁾	GRE-EPI	*	66	94	30.5 (6.1 - 151.9)
Keijer, et al ²⁹⁾	Turbo FLASH	*	67	92	22.0 (3.4 - 144.2)
Okuda, et al ³⁰⁾	GRE-EPI	*	84	86	33.3 (10.6 - 104.6)
Panting, et al ³¹⁾	SE-EPI	*	77	83	15.7 (4.3 - 56.9)
Thiele, et al ³²⁾	Turbo GRE-SENSE	Yes	75	97	93.0 (10.7 - 812.3)

*: not detected

b

Author	RI	Attenuation correction	Blinded interpretation of test results	Sensitivity (%)	Specificity (%)	Diagnostic odds ratio (95% CI)
Sakuma, et al ⁴⁾	Thallium	No	Yes	61	80	6.3 (2.6 - 15.2)
Ogino, et al ⁵⁾	Technetium	*	*	41	97	22.6 (2.7 - 186.4)
Keijer, et al ²⁹⁾	Thallium	No	*	75	79	11.4 (2.2 - 58.6)
Okuda, et al ³⁰⁾	Technetium	*	Yes	71	78	8.9 (2.7 - 28.9)
Panting, et al ³¹⁾	Thallium	*	Yes	70	78	8.3 (2.5 - 27.1)
Thiele, et al ³²⁾	Technetium	No	Yes	68	84	11.4 (3.3 - 39.4)

*: not detected, CI: confidence interval

は、心筋血流MRIと心筋血流SPECTの被験者数が異なっていた。

2-3 サマリーROC曲線の作成と統計学的有意差の検定

Spearmanの順位相関係数を求めた結果、感度と偽陽性率との間には相関が認められ(心筋血流MRI： $\rho=0.60$ ，心筋血流SPECT： $\rho=0.84$)，サマリーROC曲線による評価を行った(Fig. 1)．二つの曲線について統計学的に検討¹⁶⁾したところ有意差が認められた($p<0.001$)．

2-4 統合オッズ比および感度・特異度の統合値の計算および公開バイアス有無の検討

均質性の検定を行った結果、均質性が否定されなかった(心筋血流MRI： p 値=0.69，心筋血流SPECT： p 値=0.90)ため、感度・特異度の統合値の計算を行

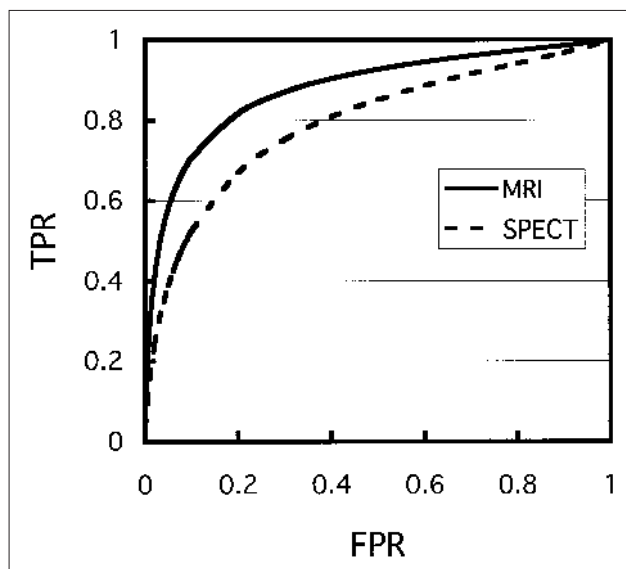


Fig. 1 Comparison of summary ROC curve (MRI, SPECT). TPR: true positive rate, FPR: false positive rate

Table 3 Summary of diagnostic performance of MRI and SPECT.

Modality	Summary Odds Ratio (95% CI)	Weighted Average of Sensitivity (95% CI)	Weighted Average of Specificity (95% CI)
MRI	24.8 (14.4 - 42.6)	75% (68 - 81%)	89% (85 - 93%)
SPECT	9.2 (5.6 - 15.1)	64% (57 - 71%)	83% (77 - 88%)

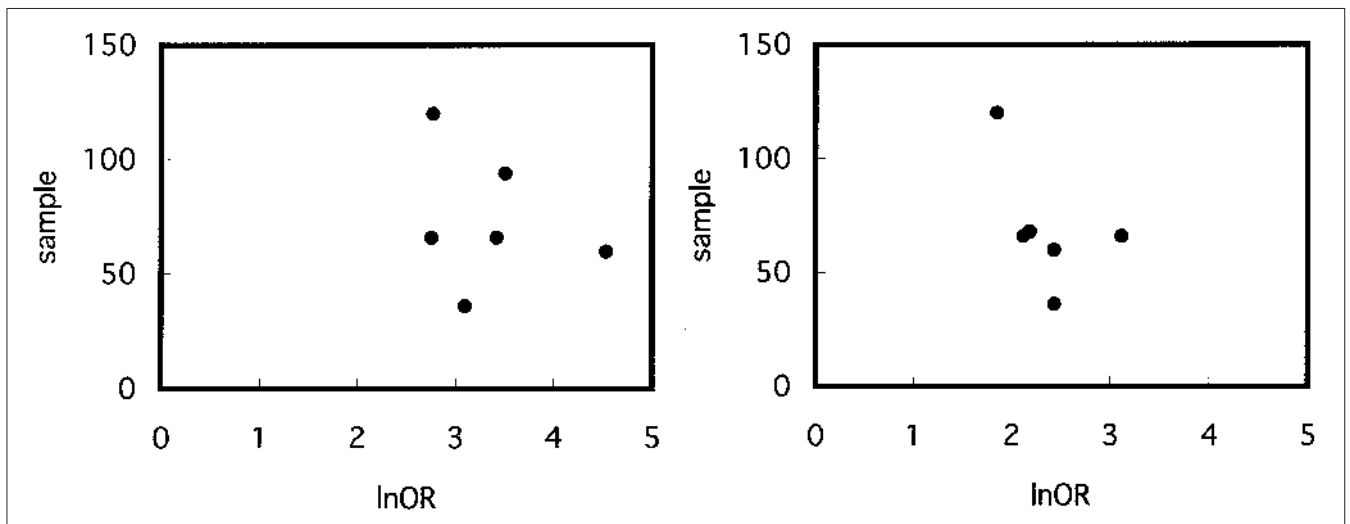


Fig. 2 Funnel plot.
Sample: Number of coronary arteries.
(a)MRI, (b)SPECT

a | b

い、統合オッズ比の計算は母数効果モデルであるMantel-Haenszel法⁶⁾を用いて計算した。計算結果をTable 3に示す。統合オッズ比、感度・特異度の統合値のいずれも統計学的有意差はみられなかったが、心筋血流SPECTよりも心筋血流MRIの方が高い値を示した。また公開バイアス有無の検討においてはfunnel plot (Fig. 2)上、形状が左右対称といえず公開バイアスの存在が疑われたが、Macaskillらの回帰法⁶⁾の計算結果(心筋血流MRI: $p=0.87$, 心筋血流SPECT: $p=0.52$)、公開バイアスなしの仮定は否定されなかった。

3. 考 察

統合オッズ比の比較、感度・特異度の統合値の比較、サマリーROC曲線の比較およびサマリーROC曲線の統計学的有意差の検定を行った。その結果、統合オッズ比や感度・特異度の統合値の比較においては統計学的有意差を認めなかったが、サマリーROC曲線の比較においては統計学的有意差があり、心筋血流MRIの方が心筋血流SPECTより診断能に優れていることが示唆された。心筋血流SPECTと比較して心筋血流MRIが有利な点として以下の点が挙げられる。

1)心筋血流MRIの空間分解能が心筋血流SPECTに比べ

高い^{4, 30, 32)}。

2)心筋血流MRIは、放射線を使用しないため心筋血流SPECTにおける光子の減弱によるアーチファクトの発生のようなことが起こらない^{30, 32)}。

これらから導かれる以下に示す心筋血流MRIの臨床的な特徴は、本研究で行ったメタアナリシスの結果を支持するものと考えられる。

- 1)心内膜下虚血の描出に優れる³³⁾。
- 2)心筋血流SPECTにあるような男性の左室下壁および女性の左室前壁における偽陽性所見の発生³⁴⁾というようなことが起こらない。

またメタアナリシスの結果からも、心筋血流MRIの虚血性心疾患に対する診断能は、評価方法が確立されている心筋血流SPECTと同等以上であるという過去の報告を追認する結果が得られた。少なくとも虚血性心疾患の診断に関しては、不整脈、体内金属保有、閉所恐怖症などの一部の被験者を除けば心筋血流MRIは有用であるというエビデンスになりうると考えられる。

本稿において用いたサマリーROC曲線は、論文ごとに異なる検査陽性基準(狭窄率)を加味したうえでメタアナリシス結果を視覚的に表示でき、また他の先行研究である虚血性心疾患の診断に関するメタアナリシス論文との比較が可能である。同じ診断能の評価である

統合オッズ比の比較は、論文ごとに異なる検査陽性基準を加味していないため、それぞれの結果(統計学的有意差の有無)に差が出たことが考えられる。

今回のメタアナリシスの限界として、第1に、解析対象となる論文数が6論文と外的妥当性³⁵⁾を考えると少数であったことが挙げられる。これは分析側が起因とするバイアス^{6, 35)}の混入を可能な限り少なくし、解析対象とする論文の質を均質にするために論文の選択条件を設定したためである。解析対象論文数が少ないため、心筋血流SPECTの核種による診断能の違いや、心筋血流MRIにおける機種別の性能(磁場強度や撮像シーケンスの違い)による診断能の違いなどのサブグループ解析を諦めざるを得なかった。この点に関しては、解析に加える条件を満たす論文が増えることが必要ではあるが、累積メタアナリシス⁶⁾などの手法により逐次データの検索、集積と分析を繰り返す必要がある。

第2に、心筋血流MRI単独でCAGの結果をgolden standardとして診断能を検討している論文の存在である。これらの論文に関しては別途メタアナリシスを行い、診断能の評価が必要であると考えられる。またメタアナリシスはデータを統合することによって統計学的検出力を高めることができる³⁵⁾という利点があるが、その解析は主に出版された論文を基に行うため各種のバイアス⁶⁾を含むことが知られている。

本研究では、主に心筋血流MRIと心筋血流SPECTの虚血性心疾患に対する診断能の比較について検討を行った。心筋血流SPECTには心筋虚血の検出だけではなく、冠動脈疾患が疑われる被験者における重大心事故リスクの層別化を図るといった大きな臨床的意義³⁶⁾がある。心筋血流MRIの重大心事故リスクの予測に関し

ては、Ingkanisornら³⁷⁾が心筋血流MRI検査を施行した胸痛患者28例を1年間追跡し、重大心事故をエンドポイントとした予測能を検討したところ感度100%、特異度93%と報告している。しかし、多症例での報告はまだ行われていない³⁸⁾。「心筋血流MRIは心筋血流SPECTを置換することができるか?」という命題に対して、心筋血流MRIの重大心事故リスクの予測に関するデータの集積を行い、心筋血流SPECTとの比較による評価を本研究と同様に行う必要がある。

4. 結 語

心筋血流MRIと心筋血流SPECTの診断能を比較するために、メタアナリシスの手法を用いて統合オッズ比、ならびに感度・特異度の統合値の算出およびサマリーROC曲線による評価により、それぞれの診断能を評価・検討した。その結果、検討したすべての項目で心筋血流MRIの方が診断能に優れているという結果が得られ、心筋血流MRIの診断能は心筋血流SPECTと同等以上とする過去の報告^{4, 5)}を支持する結果となった。このことは心筋血流MRIの有用性を支持するエビデンスの一つとして意義があるものと考えられた。

謝 辞

本研究に際し、貴重なご助言を頂きました山口大学医学部附属病院医療情報部・准教授 石田 博先生に深く感謝申し上げます。

本研究の一部は日本放射線技術学会第34回秋季学術大会(札幌)にて発表した。

参考文献

- 1) Nagel E, Klein C, Paetsch I, et al.: Magnetic resonance perfusion measurements for the noninvasive detection of coronary artery disease. *Circulation*, 108(4), 432-437, (2003).
- 2) Takase B, Nagata M, Kihara T, et al.: Whole-heart dipyridamole stress first-pass myocardial perfusion MRI for the detection of coronary artery disease. *Jpn Heart J*, 45(3), 475-486, (2004).
- 3) Al-Saadi N, Nagel E, Gross M, et al.: Noninvasive detection of myocardial ischemia from perfusion reserve based on cardiovascular magnetic resonance. *Circulation*, 101(12), 1379-1383, (2000).
- 4) Sakuma H, Suzawa N, Ichikawa Y, et al.: Diagnostic accuracy of stress first-pass contrast-enhanced myocardial perfusion MRI compared with stress myocardial perfusion scintigraphy. *AJR Am J Roentgenol*, 185(1), 95-102, (2005).
- 5) 荻野義信, 吉岡邦浩, 上嶋健治: Perfusion MRIによる心筋虚血の評価: ^{99m}Tc-tetrofosminを用いた心筋SPECTとの比較検討. *日磁医誌*, 25(2), 96-107, (2005).
- 6) 丹後俊郎: メタ・アナリシス入門—エビデンスの統合をめざす統計手法. 朝倉書店, 東京, (2002).
- 7) Yusuf S, Peto R, Lewis J, et al.: Beta blockade during and after myocardial infarction: an overview of the randomized trials. *Prog Cardiovasc Dis*, 27(5), 335-371, (1985).
- 8) Early Breast Cancer Trialists' Collaborative Group: Effects of adjuvant tamoxifen and of cytotoxic therapy on mortality in early breast cancer. An overview of 61 randomized trials among 28,896 women. *N Engl J Med*, 319(26), 1681-1692, (1988).
- 9) Lau J, Antman EM, Jimenez-Silva J, et al.: Cumulative meta-analysis of therapeutic trials for myocardial infarction. *N Engl J Med*, 327(4), 248-254, (1992).
- 10) コクラン共同計画ホームページ URL: <http://www.cochrane.org/> (2007年8月1日確認)
- 11) Kwok Y, Kim C, Grady D, et al.: Meta-analysis of exercise testing to detect coronary artery disease in women. *Am J Cardiol*, 83(5), 660-666, (1999).

- 12) Fleischmann KE, Hunink MG, Kuntz KM, et al.: Exercise echocardiography or exercise SPECT imaging? A meta-analysis of diagnostic test performance. *JAMA*, 280(10), 913-920, (1998).
- 13) Imran MB, Khan MA, Aslam MN, et al.: Diagnosis of coronary artery disease by stress echocardiography and perfusion scintigraphy (abstract). *J Coll Physicians Surg Pak*, 13(8), 465-470, (2003).
- 14) Kim C, Kwok YS, Heagerty P, et al.: Pharmacologic stress testing for coronary disease diagnosis: A meta-analysis. *Am Heart J*, 142(6), 934-944, (2001).
- 15) 松田 豪：高速撮像技術。日放技学誌, 59(10), 1209-1217, (2003)。
- 16) 石田 博, 井上裕二：4. メタ・アナリシス：サマリーROC曲線。臨床検査, 49(12), 1355-1361, (2005)。
- 17) Moses LE, Shapiro D, Littenberg B: Combining independent studies of a diagnostic test into a summary ROC curve: data-analytic approaches and some additional considerations. *Stat Med*, 12(14), 1293-1316, (1993).
- 18) Cain PA, Ugander M, Palmer J, et al.: Quantitative polar representation of left ventricular myocardial perfusion, function and viability using SPECT and cardiac magnetic resonance: initial results. *Clin Physiol Funct Imaging*, 25(4), 215-222, (2005).
- 19) Gutberlet M, Fröhlich M, Mehl S, et al.: Myocardial viability assessment in patients with highly impaired left ventricular function: comparison of delayed enhancement, dobutamine stress MRI, end-diastolic wall thickness, and TI201-SPECT with functional recovery after revascularization. *Eur Radiol*, 15(5), 872-880, (2005).
- 20) Lund GK, Stork A, Saeed M, et al.: Acute myocardial infarction: evaluation with first-pass enhancement and delayed enhancement MR imaging compared with ²⁰¹Tl SPECT imaging. *Radiology*, 232(1), 49-57, (2004).
- 21) Friedrich MG, Niendorf T, Schulz-Menger J, et al.: Blood oxygen level-dependent magnetic resonance imaging in patients with stress-induced angina. *Circulation*, 108(18), 2219-2223, (2003).
- 22) Penzkofer H, Wintersperger BJ, Knez A, et al.: Assessment of myocardial perfusion using multisection first-pass MRI and color-coded parameter maps: a comparison to ^{99m}Tc Sesta MIBI SPECT and systolic myocardial wall thickening analysis. *Magn Reson Imaging*, 17(2), 161-170, (1999).
- 23) Takahashi N, Inoue T, Oka T, et al.: Diagnostic use of T2-weighted inversion-recovery magnetic resonance imaging in acute coronary syndromes compared with ^{99m}Tc-pyrophosphate, ¹²³I-BMIPP and ²⁰¹TlCl single photon emission computed tomography. *Circ J*, 68(11), 1023-1029, (2004).
- 24) Kusunoki K, Nomura M, Kageyama N, et al.: Detection of coronary arterial microvascular disorders using ^{99m}Tc-tetrofosmin uptake increase during exercise and coronary blood flow velocity patterns obtained by magnetic resonance imaging. *Heart Vessels*, 19(1), 1-7, (2004).
- 25) Wagner A, Mahrholdt H, Holly TA, et al.: Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *Lancet*, 361(9355), 374-379, (2003).
- 26) Matheijssen NA, Louwerenburg HW, van Ruyge FP, et al.: Comparison of ultrafast dipyridamole magnetic resonance imaging with dipyridamole SestaMIBI SPECT for detection of perfusion abnormalities in patients with one-vessel coronary artery disease: assessment by quantitative model fitting. *Magn Reson Med*, 35(2), 221-228, (1996).
- 27) Bremerich J, Buser P, Bongartz G, et al.: Noninvasive stress testing of myocardial ischemia: comparison of GRE-MRI perfusion and wall motion analysis to ^{99m}Tc-MIBI-SPECT, relation to coronary angiography. *Eur Radiol*, 7(7), 990-995, (1997).
- 28) Ishida N, Sakuma H, Motoyasu M, et al.: Noninfarcted myocardium: correlation between dynamic first-pass contrast-enhanced myocardial MR imaging and quantitative coronary angiography. *Radiology*, 229(1), 209-216, (2003).
- 29) Keijzer JT, van Rossum AC, van Eenige MJ, et al.: Magnetic resonance imaging of regional myocardial perfusion in patients with single-vessel coronary artery disease: quantitative comparison with ²⁰¹Thallium-SPECT and coronary angiography. *J Magn Reson Imaging*, 11(6), 607-615, (2000).
- 30) Okuda S, Tanimoto A, Satoh T, et al.: Evaluation of ischemic heart disease on a 1.5 Tesla scanner: combined first-pass perfusion and viability study. *Radiat Med*, 23(4), 230-235, (2005).
- 31) Panting JR, Gatehouse PD, Yang GZ, et al.: Echo-planar magnetic resonance myocardial perfusion imaging: parametric map analysis and comparison with thallium SPECT. *J Magn Reson Imaging*, 13(2), 192-200, (2001).
- 32) Thiele H, Plein S, Breeuwer M, et al.: Color-encoded semi-automatic analysis of multi-slice first-pass magnetic resonance perfusion: comparison to tetrofosmin single photon emission computed tomography perfusion and X-ray angiography. *Int J Cardiovasc Imaging*, 20(5), 371-384, (2004).
- 33) 佐久間肇, 石田七香, 竹田 寛, 他：心臓MRIの最近の発展。映像情報Medical, 38(10), 976-983, (2006)。
- 34) 富口静二, 汲田伸一郎, 橋本 順, 他：多施設共同研究による²⁰¹Tl心筋SPECTにおける吸収散乱補正の臨床的有用性の検討。核医学, 39(1), 37-46, (2002)。
- 35) 増井健一：ここからはじめるメタ・アナリシス—Excelを使って簡単に。真興交易医書出版部, 東京, (2003)。
- 36) 多田村栄二, 久保滋人, 山室正樹, 他：心臓のイメージング—核医学からMRI, MDCTまで。日本医放会誌, 63(8), 378-384, (2003)。
- 37) Ingkanisorn WP, Kwong RY, Bohme NS, et al.: Prognosis of negative adenosine stress magnetic resonance in patients presenting to an emergency department with chest pain. *J Am Coll Cardiol*, 47(7), 1427-1432, (2006).
- 38) Berman DS, Hachamovitch R, Shaw LJ, et al.: Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: Noninvasive risk stratification and a conceptual framework for the selection of noninvasive imaging tests in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Nucl Med*, 47(7), 1107-1118, (2006).

図表の説明

- Fig. 1 MRIとSPECTのサマリーROC曲線による比較
- Fig. 2 Funnel plot(a : MRI, b : SPECT)
sample (y軸)は解析対象となった冠動脈数
- Table 1 解析対象とした論文の概要
- Table 2 データ抽出結果.
a : MRI診断能, b : SPECT診断能
- Table 3 MRIとSPECTのメタアナリシスによる診断能統合結果