

平成21年 6月 8日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19500438

研究課題名（和文）MRI 検査用ダイナミック運動負荷試験装置の開発

研究課題名（英文）MRI examination during dynamic muscular exercise

研究代表者

千田 浩一（CHIDA KOICHI）

東北大学・大学院医学系研究科・准教授

研究者番号：20323123

研究成果の概要：被験者が、臥位でMRI装置ガントリー内に入った状態（通常のMRI検査と同じ状態）で、MRI検査時において足踏み歩行運動負荷によるダイナミック運動負荷試験を行うことが可能な負荷装置を開発した。当負荷装置は、ステンレス等の非磁性体部品を用いて作製し、高磁場に対する安全性は問題なく、運動負荷装置が安定に動作した。また当負荷装置は、MRI画像に悪影響を与えないことを確認し、シネMRIやリンMRSの実施が可能であった。さらに運動負荷時の負荷量（血圧および心拍数の増加）は十分であった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：放射線科学

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション医学

キーワード：医療・福祉、循環器・高血圧、リハビリテーション

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、磁気共鳴診断(MRI)検査の進歩は目覚しく、また心臓MRIは非侵襲的かつ簡便な心疾患診断法として極めて有用な検査法となっている。

(2) 一方、運動負荷時において、心機能や心筋エネルギー代謝状態の測定を行う事は、その予備能を評価するうえで大変重要であり、また心疾患患者の治療効果判定にも有用である。

(3) 現在心臓リハビリが、心機能や心筋エ

ネルギー代謝状態を改善しているかどうかは十分明らかでない。そこで心臓リハ前後において詳細に心機能を調べるため、運動負荷試験時のMRI検査が必要であると考えた。

(4) 既存の運動負荷装置は鉄などの磁性体でつくられているため、MRI検査室の高磁場内に持ち込むことは禁忌である。そのため市販のMRI検査用の運動負荷装置は、今までは無かった。つまり検査中に運動負荷を行えないことが、MRIによる心機能検査の大きな弱点であった。

## 2. 研究の目的

(1) 心臓 MRI は非侵襲的かつ簡便な心疾患診断法である。一方、運動負荷時において、心機能や心筋エネルギー代謝状態の測定を行う事は大変重要である。そこで心臓 MRI 検査時において、実用可能な負荷試験について検討する。

(2) 運動負荷時の MRI 検査を行うため、臨床用の MRI 検査室内で実用可能な動的（ダイナミック）運動負荷装置を開発し、非侵襲的かつ高精度な心機能検査法を確立する。

## 3. 研究の方法

(1) MRI 検査時の実用可能な負荷試験に関する検討

①アデノシン負荷(薬物負荷)MRI の評価：

東北大学病院において施行された心疾患患者に対するアデノシン負荷 MRI について、後ろ向きに調査検討を行った。

②ハンドグリップ負荷(等尺性)時による MRI の検討：

健常人ボランティアにおいてハンドグリップ負荷時による MRI を行い、運動負荷強度について調査した。

(2) MRI 検査室用の動的（ダイナミック）運動負荷装置の開発と評価

①足踏み歩行負荷装置を用いた MRI 検査室用の動的（ダイナミック）運動負荷試験装置の開発：

- ・被験者が、臥位で MRI 装置ガントリー内に入った状態(通常の MR 検査と同じ状態)で、MRI 検査中に足踏み歩行運動負荷によるダイナミック運動負荷試験を行うことが可能な負荷装置を開発する。
- ・市販の足踏み歩行負荷装置を、強化プラスチックやステンレス等の非磁性体部品や電磁シールド材を用いて大幅に改造することで、MRI 検査室用のダイナミック運動負荷装置を開発する。
- ・足踏み歩行負荷(踏み込み負荷)装置の主な構成部分は、足踏みペダル、ステンレス製スプリングコイル、固定(支柱)部分である。
- ・ステンレス製スプリングコイルは、高負荷用と低負荷用の2種類作製する。

②開発した MRI 検査室用の動的（ダイナミック）運動負荷装置の評価：

②-1. 基礎評価

開発した運動負荷装置を臨床用 MRI 検査室内に持ち込み、以下についての評価を行う。

- ・高磁場に対する安全性が確保出来ているか、そして運動負荷装置が安定に動作するか。

- ・運動負荷装置が MRI 画像に悪影響を与えないか（ノイズ発生は無いかなどを確認）。
- ・シネ MRI およびリン MRS が可能か（ファントム実験を行い確認）。
- ・足踏み歩行負荷装置の、MRI 検査装置寝台への固定は十分であるか。

②-2. 健常人ボランティアによる評価

開発したダイナミック運動負荷装置を臨床用 MRI 検査室内に持ち込み、以下についての評価を行う。

- ・健常ボランティアに対して運動負荷試験時（およびその前後）でのシネ MRI 検査およびリン MRS 検査を行う。
- ・開発した運動負荷装置を用いて、運動負荷前後における、心筋のエネルギー代謝状態や心機能評価が可能であるかどうかを検討する（シネ MRI は左室拡張末期および収縮末期容積、左室駆出率、ウォールモーション、心拍出量等を計測評価する。リン MRS はクレアチンリン酸(PCr)とアデノシン3リン酸(ATP)のスペクトルを定量し、PCr/ATP 比を求め評価する)。
- ・運動負荷量について検討する。負荷前後での、心拍数、収縮期血圧、拡張期血圧を調査する。
- ・開発した運動負荷装置によるダイナミック運動負荷と、ハンドグリップ負荷(等尺性)を交互に行い、負荷量について比較する。

## 4. 研究成果

(1) MRI 検査時の実用可能な負荷試験に関する検討結果

①アデノシン負荷(薬物負荷)MRI の評価：

アデノシン負荷 MRI について分析し、その有用性と問題点を明らかにし、生理的な負荷である動的（ダイナミック）運動負荷装置と比較するうえで有用な情報を提供した。この成果は、研究協力者の永坂竜男氏が、北米放射線学会(RSNA)で報告した。(T. Nagasaka, K. Chida, et al. Usefulness of Stress Perfusion MRI with Continuous Adenosine Injection in Patients with Cardiac Diseases. Radiological Society of North America 2007)

②ハンドグリップ負荷(等尺性)時による MRI の検討結果：

ハンドグリップ負荷により心拍数および血圧は上昇した(負荷前と負荷後：収縮期血圧は  $116 \pm 18$  と  $133 \pm 18$  mmHg、心拍数は  $48 \pm 14$  と  $64 \pm 7$  bpm)。だが負荷強度としては十分ではなく、動的（ダイナミック）負荷の必要性が確認できた。

なおこの研究成果は、欧文誌に掲載された。(Chida K, et al. Feasibility of cardiac MR examination during quantitative

isometric muscular exercise. *Acta Cardiologica*. 63. 547-552. 2008年)

## (2) MRI 検査室用の動的 (ダイナミック) 運動負荷装置の開発と評価結果

### ①足踏み歩行負荷装置を用いた MRI 検査室用のダイナミック運動負荷装置の開発:

Fig. 1 は作製したステンレス製の固定 (支柱) 部分の設計イラストである。

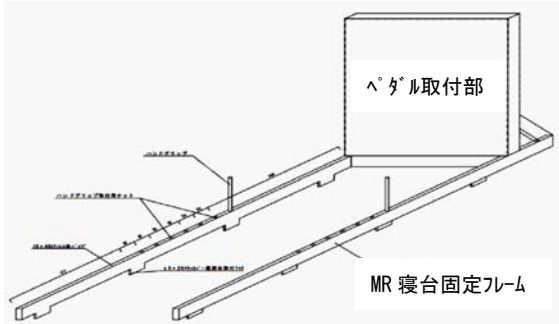


Fig. 1 非磁性体ステンレス製の固定部

Fig. 2 は今回作製した足踏み歩行負荷装置を用いた MRI 検査室用のダイナミック運動負荷装置の概観写真である。



Fig. 2 開発した運動負荷装置の概観



Fig. 3 開発した運動負荷装置の足踏ペダル部分の拡大写真

Fig. 3 は作製したダイナミック運動負荷装置の足踏ペダル部分である。白い円筒シリンダー部分の内部に、ステンレス製のスプリングコイルが装着してある。

なお、高負荷用 (21N/mm) と低負荷用 (6N/mm) の 2 種類のスプリング製コイルを作製し、両者は交換が可能である。

### ②開発した MRI 検査室用の動的 (ダイナミック) 運動負荷装置の評価結果:

#### ②-1. 基礎評価結果

開発した運動負荷装置を臨床用 MRI 検査室内に持ち込み評価した。

非磁性体を用いているため、高磁場に対する安全性は問題なく、運動負荷装置が安定に動作した。

また、運動負荷装置が MRI 画像に悪影響 (アーチファクト) を与えないことを確認し、シネ MRI の実施が可能であった。

さらに低感度であるリン MRS においても、ノイズの発生などの影響も無く、問題なく実施可能であった。

また、運動負荷装置の、MRI 検査装置寝台への固定は十分であることが確認できた。

#### ②-2. 健常人ボランティアによる評価結果

開発したダイナミック運動負荷装置を臨床用 MRI 検査室内に持ち込み検討した。

Fig. 4 は今回作製した足踏み歩行負荷装置を用いた MRI 検査室用のダイナミック運動負荷装置を、臨床用 MRI 検査室内に持ち込み、実際に健常人ボランティアによる評価を行ったときの概観写真である。

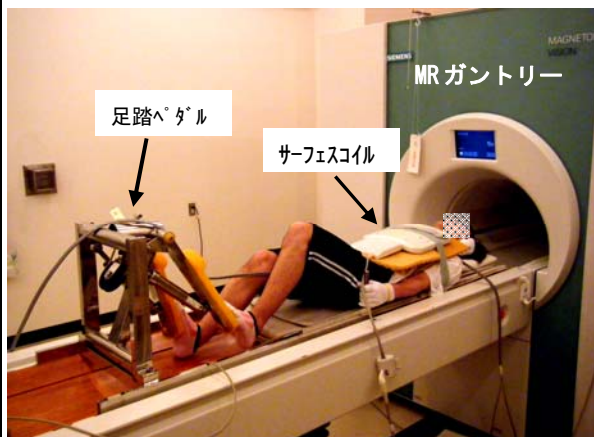


Fig. 4 MRI 検査室用の運動負荷装置の概観

健常ボランティアにおいて、運動負荷試験前後でのシネ MRI およびリン MRS は可能であった。

シネ MRI により心機能評価 (左室拡張末期および収縮末期容積、左室駆出率、ウォールモーション、心拍出量等) を計測評価できた。

リン MRS により心筋のエネルギー代謝状態の評価 (クレアチンリン酸 (PCr) とアデノシン 3 リン酸 (ATP) のスペクトルを定量し、PC

r /ATP 比を求め評価) が可能であった。

開発したダイナミック運動負荷装置における、運動負荷時の負荷量(血圧および心拍数の増加)は十分であった。

Fig. 5 は、臥位で MRI 装置ガントリー内に入った状態(通常の MRI 検査と同じ状態)で、足踏み歩行運動負荷によるダイナミック運動負荷試験を健常人ボランティアが実際にやっているところの概観写真である。



Fig. 5 MRI 検査室用の運動負荷装置の実際(ガントリー内に入ったところ)

開発した運動負荷装置によるダイナミック運動負荷と、ハンドグリップ負荷(等尺性)の負荷量について、初期的な検討した結果を表 1 に示す。ダイナミック運動負荷は、十分な負荷強度を有していることが分った。

表 1. ダイナミック運動負荷とハンドグリップ負荷の負荷量(血圧と心拍数)

	血圧 (mmHg)		心拍数 (bpm)
	収縮期	拡張期	
安静時	109±6	63±5	56±6
ハンドグリップ負荷	125±5	87±10	77±8
ダイナミック負荷	180±17	121±13	103±7

今後は、健常人ボランティアによる検討をさらに進め、基礎データを蓄積し、その後、心疾患(心臓リハビリ)患者による臨床的検討を目指す予定である。

また早い時期に、本成果(MRI 検査用ダイナミック運動負荷装置の開発)について、学会発表および論文投稿を行う予定である。さらに特許申請へ向け準備する。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

①Chida K, Nagasaka T, Kohzuki M, Saito H,

Mori I, Maruoka S, Takahashi S, Yamada S, Zuguchi M. Feasibility of cardiac MR examination during quantitative isometric muscular exercise. *Acta Cardiologica*. 63 巻. 547-552 頁. 2008 年、査読有

[学会発表] (計 1 件)

①T. Nagasaka, K. Chida, I. Yanagawa, A. Ichinose, R. Koshida, S. Higano, D. Itou, K. Yamanaka, H. Shimura, S. Takahashi. et al. Usefulness of stress perfusion MRI with continuous adenosine injection in cardiac patients. *Radiological Society of North America* (93rd RSNA) (Chicago). 2007 年 11 月 25 日.

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

千田 浩一 (CHIDA KOICHI)

東北大学・大学院医学系研究科・准教授

研究者番号: 20323123

(2) 研究分担者(2007 年度)

上月 正博 (KOHZUKI MASAHIRO)

東北大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号: 70234698

洞口 正之 (ZUGUCHI MASAYUKI)

東北大学・大学院医学系研究科・名誉教授

研究者番号: 20172075

(3) 連携研究者(2008 年度)

上月 正博 (KOHZUKI MASAHIRO)

東北大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号: 70234698

洞口 正之 (ZUGUCHI MASAYUKI)

東北大学・大学院医学系研究科・名誉教授

研究者番号: 20172075

(4) 研究者協力者

永坂 竜男 (NAGASAKA TATSUO)

東北大学・大学病院・主任技師

伊藤 大輔 (ITO DAISUKE)

東北大学・大学病院・技師

志村 浩孝 (SHIMURA HIROTAKA)

東北大学・大学病院・技師