臨床技術

64 列冠動脈 CT 検査における β 遮断薬静脈投与による心拍数コントロールの効果に関する検討山口隆義¹ 高橋大地¹ 中川真吾¹ 森田真理¹
野田理恵² 中村陽子² 五十嵐慶一³¹ 北海道社会保険病院放射線部² 北海道社会保険病院看護部³ 北海道社会保険病院心臓血管センター

論文受付

2011 年 5 月 25 日

論文受理

2012 年 7 月 8 日

Code No. 251

緒言

近年, computed tomography (CT) 装置のマルチスライス化やガントリ回転速度の高速化, 心電同期技術の進歩に伴って, 冠動脈 CT 検査 (coronary CT angiography; CCTA) が行われるようになった. 特に 64 列以上の CT 装置では, 時間分解能の向上や撮影時間の短縮などによって, 良好な画像が得られるようになった.

CCTA はカテーテルによる冠動脈造影検査と比較した有用性に関する多くの報告¹⁻⁵⁾によって, さまざまなガイドライン^{6,7)}にも取り上げられ, 虚血性心疾患に対する重要な検査法となってきた. しかし, 他部位の撮影

と比較して被ばく線量が多いこと, 冠動脈の高度石灰化やステント植え込み部位における正診率の低下^{8,9)}, 時間分解能不足や息止め不良および不整脈による画質低下や評価困難症例の発生などの課題も多い. この中の時間分解能は, ガントリ回転速度やビームピッチ, 撮影時の心拍数に依存し変化するが, X 線線管とディテクタが一對で, ガントリ回転速度が 0.35 s/rotation 程度の CT 装置においては, 心拍数が高い程, モーションアーチファクトなどの影響によって画質が低下することが知られている¹⁰⁻¹²⁾. 高心拍数例の画像再構成では収縮末期も最適静止心位相の候補となるが, その画質は低く^{13,14)},

Examination of the Effectiveness of Heart Rate Control Using Intravenous β -blocker in 64-slice Coronary Computed Tomography AngiographyTakayoshi Yamaguchi,^{1*} Daichi Takahashi,¹ Shingo Nakagawa,¹ Mari Morita,¹ Rie Noda,² Yoko Nakamura,² and Keiichi Igarashi³¹Department of Radiology, Hokkaido Social Insurance Hospital²Department of Nursing, Hokkaido Social Insurance Hospital³Department of Cardiology, Hokkaido Social Insurance Hospital

Received May 25, 2011; Revision accepted July 8, 2012

Code No. 251

Summary

The purpose of this study is to clarify the effectiveness of the use of β -blocker in coronary computed tomography angiography (CCTA). In 1783 patients, heart rate was controlled by propranolol injection to patients with heart rates of 61 bpm or more. As a result, the scan heart rate (58.8 ± 6.5 bpm) decreased significantly compared with the initial heart rate (72.7 ± 9.4 bpm). Prospective gating method was used by 61.9% including 64.3% of the intravenous β -blocker injection group. Moreover, daily use of oral β -blocker had influence on reduction of the scan heart rate (daily use group: 60.1 ± 6.5 bpm vs. unuse group: 58.5 ± 6.3 bpm $p < 0.01$). When we evaluated the image quality of CCTA by the score, the improvement of the score was obviously admitted by 65 bpm or less of the scan heart rate. The ratio of scan heart rate that was controlled by 65 bpm or less was decreased in the initial heart rate groups that were 81 bpm or more. The incidence of adverse reactions by the propranolol injection was few, and these instances only involved slight symptoms. Therefore, heart rate control with the use of β -blocker is useful for the image quality improvement of CCTA. This form of treatment can be safely enforced.

Key words: computed tomography, coronary computed tomography angiography, heart rate control, beta blocker

*Proceeding author

評価可能な画像が得られるとは限らない。また、モーションアーチファクトは、特に高吸収体の存在するステント植え込み部位や高度石灰化部位での血管内腔評価を著しく困難にする^{15, 16)}。高心拍数例で広く用いられている分割式ハーフ再構成法(multi segment half reconstruction; MSR)では、隣り合う複数心拍のデータから1断面の画像を作成するため、1心拍ごとの冠動脈の動態軌跡の変化や、不完全な息止めで生じる位置ズレの影響によって画質が低下する可能性がある。一方、低心拍数での撮影では、非分割式ハーフ再構成法(single segment half reconstruction; SSR)の使用に加えて、electrocardiogram(ECG) mA modulationや前向きな心電同期撮影法の適応も期待できるため、被ばく低減にも寄与する¹⁷⁻¹⁹⁾。

以上のような背景から、現状では診断困難な症例の減少と、より診断価値の高い画像の取得、および被ばく低減を目的に、低心拍数での撮影となるよう、 β 遮断薬を用いた心拍数コントロールが推奨されている^{6, 7)}。

しかし、各施設における β 遮断薬の使用基準や投与方法はさまざまであり、その効果に関する報告は関根らの先行研究²⁰⁾もあるが少ない。われわれの施設では64列CT装置の導入時からCCTAを施行しているが、一般的な経口による一時的な β 遮断薬の事前投与では、1)酒石酸メトプロロールの場合、服用から効果が現れるまでに約1時間を要し、院内で服用する場合には患者拘束時間が長くなる。2)心拍数低下が不十分な場合には、経口や静脈注射による β 遮断薬の追加投与が必要になる。3)事前に院外で経口薬を服用する場合の患者管理の問題がある。このような理由から β 遮断薬の静脈注射による心拍数コントロールを積極的に行ってきた。そこで、当施設での静注 β 遮断薬投与による心拍数コントロールの効果とそれによる画質の改善効果、また、副作用の出現などに関して検討したので報告する。

1. 方 法

1-1 対 象

2008年6月から2009年10月の期間にCCTAが施行された1864例のうち、副作用の検討には心房細動81症例を除いた連続1783症例(男性1107, 女性676, 平均年齢 66.2 ± 11.4 歳)を対象とした。また、心拍数や画質に関する検討では、CCTA撮影時に不整脈が認められた症例(心房性期外収縮33例, 心室性期外収縮34例, 上室性頻拍2例, 一度房室ブロック18例, 二度房室ブロック4例, 完全房室ブロック3例, 洞性不整脈19例), ペースメーカー植え込み24例および息止め不良36例を除いた1610症例(男性1009, 女性601, 平均年

齢 65.7 ± 11.5 歳)を対象とした。

1-2 使用機器

CT装置: Light Speed VCT XT(GEヘルスケア・ジャパン株式会社)

Workstation: Advantage Workstation XT(GEヘルスケア・ジャパン株式会社)

自動造影剤注入器: Dual Shot GX(株式会社 根本杏林堂)

ベッドサイドモニタ: BSM-2301(日本光電工業株式会社)

1-3 心拍数コントロール

CT検査室に入室し、寝台にて安静を保った時点で患者の心拍数を観察し、これを入室時心拍数とした。その後、息止め練習を2回程度施行し、息止め時の心拍数を観察した。息止め時の心拍数が61 beats per minute (bpm)以上で、 β 遮断薬非禁忌の患者を β 遮断薬投与群とした。それ以外を β 遮断薬非投与群とした。また、入室時心拍数が60 bpm以下であったものの、CCTA撮影までの間に心拍数の上昇を認め、 β 遮断薬を用いた場合には β 遮断薬投与群に含めた。 β 遮断薬には、塩酸プロプラノロール注射液を用い、心拍数および血圧モニタリング下において、塩酸プロプラノロール注射液2 mgを生理食塩水20 mlに溶解し、3分間で静脈から投与した。目標心拍数を60 bpm以下として、塩酸プロプラノロール注射液を連続で最大10 mgまで使用した。なお、投与中に収縮期血圧が100 mmHg以下となった場合には、投与を中止した。また、塩酸プロプラノロール注射液を最大量まで使用した後の息止時の心拍数が、目標心拍数とならなかった場合、体重および心機能などを考慮して、医師の判断に基づき、さらに4 mgまでの追加投与を行った。また、撮影5分前までに、定量噴霧式エアゾール剤のニトログリセリンを0.3 mg舌下投与した。なお、CCTAの心拍数コントロールを目的とした一時的な経口 β 遮断薬の事前投与は行わなかった。

1-4 撮影条件および最適心拍位相選択

撮影直前の息止時の心拍数が60 bpm以下で、期外収縮等の不整脈出現の可能性が低いと判断された場合に、step and shootによる前向きな心電同期撮影法であるSnapShot™ Pulse(SSP)(GEヘルスケア・ジャパン株式会社)を用い、paddingの設定値は150 msecとした。それ以外では、MSRが可能なビームピッチ(0.16~0.20)によるcardiac helical scan(helical)を用いた。撮影

タイミングは、バルサルバ効果の出現を息止め練習時に確認し、息止めのアナウンスから撮影開始までの時間を調整した。造影方法は、test injection 法または test bolus tracking 法²¹⁾を用い、本スキャンでは、体重 1 kg あたり 280 mgI の造影剤を 12 秒間で注入し、その直後に、造影剤と同じ注入速度で生理食塩水を 7 秒間注入した。使用造影剤濃度は 350 mgI/ml とした。撮影範囲は肺動脈幹レベルから心臓下縁まで、撮影方向は頭尾方向とし、X 線管電圧は 120 kV、X 線管電流は体格に応じて変化させた。撮影スライスは 0.625 mm×64 slice、ガントリ回転速度は 0.35 s/rotation とした。

最適心拍位相は、SSP および helical 共に、右冠動脈が体軸方向に走行する付近の 1~2 断面において、撮影されたすべての心拍位相間内を、相対遅延法にて 2% 間隔の画像を作成し、視覚的にすべての冠動脈が最も静止していた位相とした。また、左右冠動脈の最適心拍位相が異なる場合には、複数の位相を選択し評価の対象とした。Helical の場合には、SSR と MSR の 2 種類の画像を作成し、アーチファクトの少ない方を選択した。

1-5 検討項目

1-5-1 心拍数の変化と撮影方法の選択

β 遮断薬非投与群および β 遮断薬投与群ともに、入室時心拍数に対する撮影時心拍数および入室時心拍数から撮影時心拍数を差分した心拍数変化量 (Δ heart rate; Δ HR) との関係と比較した。また、β 遮断薬投与群では、狭心症や高血圧などの治療を目的とした経口 β 遮断薬の常用による内服の有無を確認し、服用群と非服用群に分け、入室時心拍数に対する撮影時心拍数および静注 β 遮断薬投与量との関係、静注 β 遮断薬投与量に対する入室時心拍数、撮影時心拍数および Δ HR との関係について検討した。

撮影方法に関しては、SSP と helical との割合、CCTA 撮影前に観察された不整脈の有無と、撮影時心拍数が 60 bpm 前後における撮影方法の選択割合について検討した。

1-5-2 画質評価

今回の画質評価の定義を、モーションアーチファクトを中心とする冠動脈のボケの程度を評価するものとし、axial 画像および、curved multiplanar reformation 画像を観察し、視覚的に、excellent(score 3)：モーションアーチファクトがなく良好、acceptable(score 2)：モーションアーチファクトは認めるが評価可能、failure 1(score 1)：モーションアーチファクトのため、冠動脈の AHA 分類²²⁾における 1 セグメントのみ評価不能、failure 2(score 0)：モーションアーチファクトのため、2 セグメン

Table 1 Classification of adverse reactions

Adverse reactions
1. hypotension with symptom
2. dyspnea
3. chest discomfort
4. headache
5. vertigo
6. stagger
7. fatigue
8. somnolence
9. exacerbation of Raynaud's phenomenon
10. bradycardia with symptom
11. nausea
12. vomiting

ト以上評価不能、の 4 段階に評価してスコア化した。ただし、体軸方向において心拍データの接合部に出現する stair step artifact および、ステント植え込み部位や高度石灰化部位は評価の対象外とした。画質の分類は CT 検査に従事する診療放射線技師 4 名にて行った。

1-5-3 β 遮断薬投与における副作用

β 遮断薬投与群においては、β 遮断薬投与に起因すると思われる副作用の有無とその種類を評価した (Table 1)。

なお、統計学的解析として、2 群間の比較には Student's t-test、多群間の比較には ANOVA および post hoc test にて Scheffe、クロス集計にはカイ二乗検定を用い、 $p < 0.05$ を有意とした。

今回の検討に際しては、当院の倫理委員会の承認 (受付番号 2010-22) を得て行った。また、画質の分類に従事した観察者に対しては、論文掲載に関する同意を得た。

2. 結果

2-1 心拍数の変化と撮影方法の選択

β 遮断薬投与群は 1783 例中 1268 例と全体の 71.1% であり、使用量の平均は 6.6 ± 3.7 mg であった。また、不整脈例などを除く 1610 例において、β 遮断薬非投与群 ($n=448$) でも、入室時心拍数と比較して撮影時心拍数は軽度低下していたが、β 遮断薬投与群 ($n=1162$) においては、入室時心拍数が 72.7 ± 9.4 bpm であったのに対し、撮影時心拍数は 58.8 ± 6.5 bpm と有意に低下していた (Fig. 1)。

β 遮断薬投与群において、入室時心拍数を 10 心拍ごとの群に分けた場合の β 遮断薬使用率と使用量を Table 2 に、入室時心拍数と撮影時心拍数の比較を Fig. 2 に示す。入室時心拍数が高い程、撮影時心拍数は高

Fig. 1 Comparison of β -blocker(-) group or β -blocker(+) group between initial heart rate and scan heart rate.

Table 2 Ratio and dose using propranolol in each initial heart rate groups

Initial heart rate (bpm)	Ratio using propranolol	Dose of propranolol (mg)*
31-40	0% (0/5)	
41-50	0% (0/43)	
51-60	18.0% (65/361)	3.3±2.2
61-70	86.4% (586/678)	5.1±3.1
71-80	97.7% (344/352)	8.3±3.2
81-90	96.7% (118/122)	9.9±2.6
≥91	100% (49/49)	11.6±2.5

*ANOVA: $p < 0.0001$, Post-hoc: $p < 0.05$ (Scheffe)

Fig. 2 Comparison of scan heart rate between each initial heart rate groups in the intravenous β -blocker injection group.

Fig. 3 Comparison of Δ HR between each initial heart rate groups in the intravenous β -blocker injection group.

く、 β 遮断薬使用量も多かった。また、 Δ HRは入室時心拍数が高い程、大きかった(Fig. 3)。

β 遮断薬投与群における経口 β 遮断薬常用の有無に関しては、服用群が197例、非服用群が890例、不明が75例であった。非服用群では服用群に比べて入室時心拍数は有意に高く、撮影時心拍数は有意に低かった

(Fig. 4)。入室時心拍数を10心拍ごとの群に分けた場合の撮影時心拍数の比較では、入室時心拍数が61から90 bpmの範囲で服用群の方が有意に高かった(Fig. 5)。しかし、静注 β 遮断薬投与量においては61~70 bpmの群以外で有意差を認めなかった(Fig. 6)。一方、各静注 β 遮断薬投与量における Δ HRは、2.0 mg投与群を除き

Fig. 4 Comparison of initial heart rate and scan heart rate in the intravenous β -blocker injection group between daily use of oral β -blocker and unused.

Fig. 5 Comparison of scan heart rate in each initial heart rate groups in intravenous β -blocker injection group between daily use of oral β -blocker and unused.

服用群の方が有意に低かったが、入室心拍数は 10.0 mg 投与群以外、撮影時心拍数は 4.0 mg と 6.0 mg 以外で有意差を認めなかった (Table 3)。また、服用群と非服用群の入室時心拍数と撮影時心拍数および非服用群の Δ HR は、静注 β 遮断薬投与量群間で差を認めた (ANOVA: $p < 0.0001$) が、服用群の Δ HR には差を認めなかった (ANOVA: $p = 0.09$)。

撮影方法に関しては、対象とした 1610 症例の中で、撮影直前の息止時の心拍数が 60 bpm 以下で、期外収縮などの不整脈出現の可能性が低いと判断され、SSP が選択された割合は 61.9% (997/1610) であり、その内、 β 遮断薬非投与群は 35.7% (356/1610)、 β 遮断薬投与群は 64.3% (641/997) の割合であった。また、心拍数が 60 bpm 以下の群において helical が選択されたのは 20.3%

Fig. 6 Comparison of dose of propranolol injection in each initial heart rate groups between daily use of oral β -blocker and unused.

(241/1185) で、その内の 16.6% で CCTA 撮影前の心電図において不整脈(すべて期外収縮)が観察され、SSP が選択された場合と比べて差を認めた (Table 4)。

2-2 画質評価

全撮影時心拍数域を対象とした場合、評価困難なセグメントを有する割合は 2.5% (41/1610) であった。また、撮影時心拍数を 5 心拍ごとの群に分けた場合の画質は、心拍数が高い程、評価困難なセグメントを有する割合は増加する傾向を認めた (Fig. 7)。各撮影時心拍数群における画質スコアは、心拍数が 51~55 bpm 以下の群間および 66~70 bpm 以上の群間では変化はなかったが、その他の心拍数の群間では、心拍数が高い程、スコアは有意に低下した (Fig. 8)。そこで、平均の画質スコアが 2 以上であった 65 bpm 以下を撮影時適正心拍数とした場合の各入室時心拍数群に対する撮影時適正心拍数の割合を、常用の経口 β 遮断薬服用群と非服用群に分けて Fig. 9 に示す。入室時心拍数が 61~70 bpm では、服用群と非服用群共に 80% 前後の適正心拍数への達成率であったが、71~80 bpm では非服用群で 57.3% であったのに対し服用群では 16.7% であった。

2-3 β 遮断薬投与における副作用

β 遮断薬投与による副作用は、3.2% (40/1268) に認められた。Fig. 10 に副作用の内訳を示す。 β 遮断薬使用における副作用によって、検査が施行されなかった例はなかった。また、造影剤投与後による副作用として、ショックは 2 例あり、 β 遮断薬の投与も事前になされていたが、適切な処置によって死亡例はなかった。

Table 3 Comparison of initial heart rate and scan heart rate and Δ HR with each dose of propranolol groups between daily use of oral β -blocker and unuse

Dose of propranolol (mg)	Daily use of oral β -blocker	n	Initial heart rate (bpm)	Scan heart rate (bpm)	Δ HR (bpm)
2.0	+	41	64.7 $\pm$ 4.3	54.0 $\pm$ 3.8	10.7 $\pm$ 3.9
	-	188	65.6 $\pm$ 4.6	54.2 $\pm$ 4.2	11.5 $\pm$ 4.9
4.0	+	40	66.7 $\pm$ 4.6	57.5 $\pm$ 3.1**	9.2 $\pm$ 3.9**
	-	200	68.2 $\pm$ 5.2	55.5 $\pm$ 4.3**	12.7 $\pm$ 6.0**
6.0	+	23	70.6 $\pm$ 7.0	60.7 $\pm$ 5.4*	9.9 $\pm$ 6.7**
	-	117	73.6 $\pm$ 7.1	58.2 $\pm$ 4.7*	15.4 $\pm$ 6.6**
8.0	+	16	72.5 $\pm$ 6.7	61.6 $\pm$ 5.8	10.9 $\pm$ 6.2*
	-	66	74.4 $\pm$ 9.1	59.3 $\pm$ 6.4	15.1 $\pm$ 7.7*
10.0	+	58	73.5 $\pm$ 7.3**	63.5 $\pm$ 5.1	10.0 $\pm$ 5.7**
	-	247	78.6 $\pm$ 9.1**	61.9 $\pm$ 6.0	16.8 $\pm$ 7.8**
$\geq$ 12.0	+	19	80.5 $\pm$ 10.7	66.5 $\pm$ 8.5	14.0 $\pm$ 10.4*
	-	72	84.8 $\pm$ 11.1	65.8 $\pm$ 6.5	19.0 $\pm$ 8.8*

Unpaired t-test: *p<0.05, **p<0.01

Table 4 Ratio of scan procedure in each scan heart rate groups, and ratio of cardiac rhythm before scan in each scan procedure groups

Scan heart rate (bpm)	Scan procedure	Cardiac rhythm (before scan of CCTA)		
		n	Sinus	Arrhythmia
$\leq$ 60 (n=1185)	SSP	944	98.7% (932/944)	1.3% (12/944)*
	helical	241	83.4% (201/241)	16.6% (40/241)*
60< (n=425)	SSP	53	100.0% (53/53)	0.0% (0/53)
	helical	372	95.7% (356/372)	4.3% (16/372)

χ^2 -test: *p<0.0001

Fig. 7 Classification of image quality in each scan heart rate groups.

Fig. 8 Comparison of image quality score between each scan heart rate groups.

Fig. 9 The ratio of scan heart rate that was controlled by 65 bpm or less in each initial heart rate groups.

Left: daily use of oral β -blocker (+)
Right: daily use of oral β -blocker (-)

Fig. 10 The incidence of the adverse reactions after injection of propranolol.

3. 考 察

CCTA は、カテーテルによる冠動脈造影の代替検査として期待度が高い。しかしながら、単 X 線管型の 64 列 CT 装置では、空間分解能や時間分解能、被ばく線量、造影不良、不整脈などのさまざまな要因によって、すべての評価を代替するまでには至っていない。その多くは、CT 装置の有する性能に依存するが、検査の運用上で、一部でもその要因が排除可能であれば、CCTA の有用性は向上する。

時間分解能の不足に関しては、撮影時の心拍数が低ければ、拡張中期における心臓静止時間の延長によって、相対的な時間分解能の向上が期待できるため、 β 遮断薬による心拍数コントロールは、検査の運用上において、装置の時間分解能不足を補えうる方法であると考えられる。

今回のわれわれの検討では、60 bpm 以下を目標心拍数として静注 β 遮断薬の投与を行った。これには、モーションアーチファクトなどの低減による画質の改善に加え、SSP の適応心拍数の範囲を考慮した。前向きな心電図同期撮影法の機構や適応心拍数についての報告はさまざまであるが^{11, 17, 23-25)}、この中には、SSP において撮影時心拍数が 60 bpm を超える場合にはモーションアーチファクトの発生が避けられず、評価不能部位の出現頻度も高いとの報告もある。また、SCCT のガイドライン²⁶⁾でも 60 bpm 以下が推奨されており、これらを参考とした。

3-1 心拍数の変化と撮影方法の選択

60 bpm 以下を目標心拍数として静注 β 遮断薬の投与を行った結果、約 70% で β 遮断薬の投与がなされた。これは、われわれと同様の塩酸プロプラノール注射液単独投与の場合における関根らの報告²⁰⁾と一致していた。また、撮影時心拍数の平均は、 β 遮断薬投与群においても目標心拍数を下回っており、入室時心拍数と比較しても有意に低下していた。さらに、入室時心拍数が 90 bpm を超える高心拍数の群においても、撮影時心拍数の平均は 70.4 bpm と低下しており、 β 遮断薬投与による平均の Δ HR も 28.6 bpm であった。よって、高心拍数においても β 遮断薬による心拍数低下の効果は十分に期待できると考えられた。

しかしながら、高血圧治療などによる経口 β 遮断薬の常用は、静注 β 遮断薬の効果に影響していた。経口 β 遮断薬の服用群は、非服用群に比べて入室時心拍数は低く、服用による心拍数低下の影響が示唆された。一方、撮影時心拍数は服用群で高く、入室時心拍数別の検討でも同様であり、服用群では静注 β 遮断薬によ

る心拍数低下の効果が低いと考えられた。経口 β 遮断薬の影響は、関根ら²⁰⁾からも一時的な経口 β 遮断薬の事前投与を含めた同様の報告がなされており、これを支持する結果となった。さらに、各静注 β 遮断薬投与量群別の比較では、服用群内での Δ HR は 10 心拍数程度と、各投与量群間で差を認めなかった。しかし、各投与量群間の入室時心拍数が異なっており、各投与量群内における撮影時心拍数は非服用群とほぼ同等まで低下していることから、各群の投与量相応の心拍数低下の効果が得られている可能性がある。だが、服用群における Δ HR は、静注 β 遮断薬の投与量に依存しない可能性も否定できず、今回の検討では、これに関する結論は見出せなかった。

撮影方法に関しては、全体の 61.9% で SSP を用いることが可能であった。また、その内の 64.3% が β 遮断薬の投与によって SSP の適応となっていた。SSP などの前向きな心電同期撮影法では、低いピッチファクタを用いる helical に比べ、被ばく線量を大幅に低減することが可能である¹⁷⁻¹⁹⁾。よって、 β 遮断薬の使用による前向きな心電同期撮影法の適応増加は、被ばく低減にも大きく寄与するものと考ええる。しかし、撮影時心拍数が 60 bpm 以下であっても、約 20% で SSP が用いられなかった。これには、CCTA 撮影直前における期外収縮などの不整脈出現頻度や撮影時心拍数の予測困難などの要因が含まれ、SSP の適応を決定するうえでの限界と考えられた。

SSP の特徴として、体軸方向における心拍データの接合部に stair step artifact が出現する場合がある。SSP は 1 心拍おきに撮影されるため、連続心拍データで画像再構成を行う helical と比較してその出現頻度は高いとされるが、画像クオリティには差がないことや、stair step artifact は診断能劣化に影響せず、むしろ被ばく低減の観点からも SSP の有用性が数多く報告^{17-19, 27, 28)}されており、心拍数が安定していれば、その使用を躊躇する理由はないものと考ええる。

3-2 画質評価

このような心拍数コントロール下において得られた臨床例による画質評価では、評価不能なセグメントを有する割合は 2.5% という結果であった。撮影時心拍数別では、低心拍数側での画質の向上が明らかであり、高心拍数になる程に評価不能の割合は増加し、スコアも低くなる傾向にあった。特に、心拍数が 66 bpm 以上においては評価不能の割合が 20% 程度と高い結果であった。この要因としては、主に拡張中期および収縮末期位相における冠動脈の静止時間と時間分解能とのミスマッチ

が考えられる。よって、より低い心拍数へのコントロールが重要であることには異論はないであろう。実際に、本研究と類似するさまざまな報告やガイドラインでも、心拍数コントロールの有効性が提唱されている^{11, 12, 29)}。

今回の検討では、撮影時心拍数が 66 bpm 以上では画質スコアに変化がなく、平均の画質スコアが 2 以上となる 65 bpm 以下への心拍数コントロールが、診断不能セグメントの発生を減少させると考えられる。そこで、画質スコア改善の視点から、撮影時適正心拍数を 65 bpm 以下とした場合、入室時心拍数 80 bpm までは適正心拍数への達成率が 80% 程度見込めるため心拍数コントロール適応の一つの目安になると考えられた。しかし、入室時心拍数が 80 bpm を超える場合、常用の経口 β 遮断薬服用群では約 20% 程度の達成率で、非服用群での 80~90 bpm と 90 bpm を超える場合では、それぞれ 57.3%, 30% という結果であり、この範囲における心拍数コントロールの適応は各施設の判断になるものと考ええる。

3-3 β 遮断薬投与における副作用

β 遮断薬投与による副作用に関しては、軽微なものばかりで、その発生率も低く、投与は安全に行われていた。また、 β 遮断薬投与によって出現した副作用が原因で、検査が施行できなかった例はなかった。頻度の高い「頭痛」に関しては、ニトログリセリン投与による影響も考えられ、「吐気」や「嘔吐」に関しては、すべて造影剤投与後に発生していたため、造影剤による副作用の可能性も考えられるが、複数の薬剤を使用することによる副作用の分類には限界があった。血圧の低下に関しては、血圧のモニタリングを行い、収縮期血圧の閾値を 100 mmHg と設定することで、「症状を伴う血圧低下」は、わずか 0.2% であった。一方、造影剤投与後による副作用としてショックが 2 例発生した。適切な処置によって、死亡例などはなかったが、 β 遮断薬投与時のアナフィラキシー反応では、エピネフィリン治療に抵抗することがあり、グルカゴン投与が奨められているため⁵⁾、ショックに備えた薬剤の整備が重要である。また、 β 遮

断薬によるヨード造影剤の副作用の重篤化や、発生頻度の増加が報告されているが^{5, 30)}、今回の検討では、そのような傾向は見られなかった。

その他、 β 遮断薬を用いることによる問題点として、心収縮力の低下による心機能解析への影響が考えられる³¹⁾。冠動脈の評価のみであれば問題はないと考えるが、左室壁運動の評価や左駆出率の評価も合わせて行う際には注意が必要である。また、異型狭心症に対しては β 遮断薬の投与は禁忌であるが、スクリーニング検査として CCTA が施行される場合には、冠痙攣を誘発してしまう可能性もあるため、投与時における心電図および血圧のモニタリングは重要である。

今後の課題としては、更なる画質の改善と、心電同期撮影法の適応拡大が挙げられる。それには、時間分解能の更なる向上が必須と考えられるが、前述のごとく MSR を用いた時間分解能向上は理想的ではない。現状では、2X 線管型の CT 装置による時間分解能の短縮が理想的と考えられるが、これを用いても、高心拍数例における収縮末期画像は、低心拍数での拡張中期画像の代替とはならない^{13, 14)}。今後、期待される冠動脈プラークの詳細評価や、エネルギーサブトラクションによる石灰化弁別などを考えても、モーションアーチファクトのない画像が理想的であることはいうまでもなく、心拍数コントロールの必要性は継続されるものと推察する。

4. 結 語

冠動脈 CT 検査における β 遮断薬投与による心拍数コントロールの効果に関する検討を行った。 β 遮断薬を用いることによる心拍数低下効果によって、画像のクオリティは向上し、心電同期撮影法の適応は 61.9% であった。また、副作用は軽微であり、安全な投与が可能であった。よって、 β 遮断薬を用いた心拍数コントロールは、検査精度を向上させ、被ばく低減にも寄与する可能性もあり有用である。

なお、本論文の要旨は、第 38 回日本放射線技術学会秋季学術大会(2010 年 10 月、仙台)において発表した。

参考文献

- 1) Kuettner A, Beck T, Drosch T, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary imaging using 16-detector slice spiral computed tomography with 188 ms temporal resolution. *J Am Coll Cardiol* 2005; 45(1): 123-127.
- 2) Mollet NR, Cademartiri F, Nieman K, et al. Multislice spiral computed tomography coronary angiography in patients with stable angina pectoris. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43(12): 2265-2270.
- 3) Mollet NR, Cademartiri F, van Mieghem CA, et al. High-resolution spiral computed tomography coronary angiography in patients referred for diagnostic conventional coronary angiography. *Circulation* 2005; 112(15): 2318-2323.
- 4) Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2005; 46(3): 552-557.
- 5) Leschka S, Alkadhi H, Plass A, et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J* 2005; 26(15): 1482-1487.
- 6) 日本循環器学会, 日本医学放射線学会, 日本核医学会, 他. 循環器病の診断と治療に関するガイドライン(2007-2008 年度合同研究班報告)「冠動脈病変の非侵襲的診断法に関するガイドライン」. *Circ J* 2009; 73(Suppl. III): 1019-1089.
- 7) Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, et al. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol* 2006; 48(7): 1475-1497.
- 8) Ehara M, Kawai M, Surmely JF, et al. Diagnostic accuracy of coronary in-stent restenosis using 64-slice computed tomography: comparison with invasive coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49(9): 951-959.
- 9) Cademartiri F, Schuijf JD, Pugliese F, et al. Usefulness of 64-slice multislice computed tomography coronary angiography to assess in-stent restenosis. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49(22): 2204-2210.
- 10) Raff GL, Gallagher MJ, O'Neill WW, et al. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 2005; 46(3): 552-557.
- 11) 山口隆義. 64 列 MDCT による冠動脈撮影法. *日放技学誌* 2009; 65(1): 104-111.
- 12) 新井雄大, 近藤 武, 森田ひとみ, 他. 冠動脈 MDCT の画質に影響を与える因子の検討. *日放技学誌* 2010; 66(9): 1204-1212.
- 13) Seifarth H, Wienbeck S, Püsken M et al. Optimal systolic and diastolic reconstruction windows for coronary CT angiography using dual-source CT. *AJR Am J Roentgenol* 2007; 189(6): 1317-1323.
- 14) Araoz PA, Kirsch J, Primak AN, et al. Optimal image reconstruction phase at low and high heart rates in dual-source CT coronary angiography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2009; 25(8): 837-845.
- 15) Groen JM, Greuter MJ, van Ooijen PM, et al. A new approach to the assessment of lumen visibility of coronary artery stent at various heart rates using 64-slice MDCT. *Eur Radiol* 2007; 17(7): 1879-1884.
- 16) Pugliese F, Cademartiri F, van Mieghem C, et al. Multidetector CT for visualization of coronary stents. *Radiographics* 2006; 26(3): 887-904.
- 17) Earls JP, Berman EL, Urban BA, et al. Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: improved image quality and reduced radiation dose. *Radiology* 2008; 246(3): 742-753.
- 18) Maruyama T, Takada M, Hasuike T, et al. Radiation dose reduction and coronary assessability of prospective electrocardiogram-gated computed tomography coronary angiography: comparison with retrospective electrocardiogram-gated helical scan. *J Am Coll Cardiol* 2008; 52(18): 1450-1455.
- 19) Shuman WP, Branch KR, May JM, et al. Prospective versus retrospective ECG gating for 64-detector CT of the coronary arteries: comparison of image quality and patient radiation dose. *Radiology* 2008; 248(2): 431-437.
- 20) 関根貴子, 児玉隆秀, 近藤 武, 他. 冠動脈 MDCT 撮影におけるプロプラノール静注の有用性と安全性. *日放技学誌* 2010; 66(12): 1539-1547.
- 21) 山口隆義, 高橋大地. 新しい造影方法である test bolus tracking 法の開発と, 冠動脈 CT 造影検査における有用性について. *日放技学誌* 2009; 65(8): 1032-1040.
- 22) Austen WG, Edwards JE, Frye RL, et al. A reporting system on patients evaluated for coronary artery disease. Report of the Ad Hoc Committee for Grading of Coronary Artery Disease, Council on Cardiovascular Surgery, American Heart Association. *Circulation* 1975; 51(4 Suppl): 5-40.
- 23) 佐野始也, 松谷英幸, 近藤 武, 他. 高ヘリカルピッチを用いた前向き心電図同期ヘリカルスキャンによる冠動脈 MDCT の被ばく低減効果. *日放技学誌* 2010; 66(7): 774-780.
- 24) Roberts WT, Wright AR, Timmis JB, et al. Safety and efficacy of a rate control protocol for cardiac CT. *Br J Radiol* 2009; 82: 267-271.
- 25) Gopal A, Mao SS, Karlsberg D, et al. Radiation reduction with prospective ECG-triggering acquisition using 64-multidetector computed tomographic angiography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2009; 25(4): 405-416.
- 26) Halliburton SS, Abbara S, Chen MY, et al. SCCT guidelines on radiation dose and dose-optimization strategies in cardiovascular CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2011; 5: 198-224.
- 27) Hirai N, Horiguchi J, Fujioka C, et al. Prospective versus retrospective ECG-gated 64-detector coronary CT angiography: assessment of image quality, stenosis, and radiation dose. *Radiology* 2008; 248(2): 424-430.
- 28) Goitein O, Beigel R, Matetzky S, et al. Prospectively gated coronary computed tomography angiography: uncompromised quality with markedly reduced radiation exposure in acute chest pain evaluation. *Isr Med Assoc J* 2011; 13(8): 463-467.
- 29) Abbara S, Arbab-Zadeh A, Callister TQ, et al. SCCT guidelines for performance of coronary computed tomographic angiography: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2009; 3(3): 190-204.
- 30) Lang DM, Alpern MB, Visintainer PF, et al. Increased risk for anaphylactoid reaction from contrast media in patients on beta-adrenergic blockers or with asthma. *Ann Intern Med* 1991; 115(4): 270-276.
- 31) Mo YH, Jaw FS, Wang YC, et al. Effects of propranolol on the left ventricular volume of normal subjects during CT coronary angiography. *Korean J Radiol* 2011; 12(3): 319-326.

図表の説明

- Fig. 1 β 遮断薬投与群と β 遮断薬非投与群における入室時心拍数と撮影時心拍数の比較
- Fig. 2 静注 β 遮断薬投与による各入室時心拍数群における撮影時心拍数の比較
- Fig. 3 静注 β 遮断薬投与による各入室時心拍数群における Δ HR の比較
- Fig. 4 静注 β 遮断薬投与群における入室時心拍数と撮影時心拍数の経口 β 遮断薬の常用の有無による比較
- Fig. 5 各入室時心拍数群における経口 β 遮断薬の常用の有無による撮影時心拍数の比較
- Fig. 6 各入室時心拍数群における経口 β 遮断薬の常用の有無による静注塩酸プロプラノロールの使用量の比較
- Fig. 7 各撮影時心拍数群における画像クオリティ
- Fig. 8 各撮影時心拍数群における画質スコアの比較
- Fig. 9 各入室時心拍数群における撮影時心拍数が 65 bpm 以下の比較(左: 経口 β 遮断薬の常用あり, 右: 経口 β 遮断薬の常用なし)
- Fig. 10 塩酸プロプラノロール投与後に発生した各副作用の割合

- Table 1 副作用の分類
- Table 2 各入室時心拍数群における塩酸プロプラノロールの使用率と使用量
- Table 3 各静注塩酸プロプラノロール使用量における入室時心拍数と撮影時心拍数および Δ HR の経口 β 遮断薬常用の有無による比較
- Table 4 撮影方法の選択割合と CCTA 撮影前に不整脈が観察された頻度

問合先

〒 062-8608 札幌市豊平区中の島 1 条 8 丁目 3-18
北海道社会保険病院放射線部 山口隆義