

三次元 CT 画像を用いた冠動脈の起始異常 および開口部起始位置の解剖学的調査

工藤正幸¹ 村上卓道² 中内祥文³ 宮崎俊一³ 重吉康史¹

¹近畿大学医学部解剖学教室 ²近畿大学医学部放射線医学教室 (放射線診断学部門)

³近畿大学医学部内科学教室 (循環器内科部門)

抄 録

近年、冠動脈病変の評価において、マルチスライス CT (MDCT) による心電図同期再構成法を用いた冠動脈の血管撮影の有用性が確立されてきている。冠動脈の走行状態や起始分岐異常分類に関する研究は多いが、起始位置の幾何学的な形態調査研究は少ない。本研究は MDCT によって得られた三次元画像を用い、邦人の冠動脈起始異常の発現率およびその分岐形態の幾何学的情報についての解剖学的調査研究である。分岐異常を有した症例は 1,053 例中、高位起始症例が 0 例、左前下行枝と左回旋枝が分離して起始する症例が 8 例 (0.755%)、右冠動脈が左冠尖から分岐する症例が 6 例 (0.570%) の合計 14 例 (1.330%) 認められた。正常分岐症例の評価における冠動脈の分岐角度は、左冠動脈に比べ右冠動脈が有意に鈍角で、左右冠動脈間の分離角度は $139.9^{\circ} \pm 17.3$ 離れて分岐しており、男女間では有意差は無かった。Valsalva 洞底部から冠動脈起始部までの距離は、左冠動脈 (10.84 ± 2.80 mm) に比べ右冠動脈 (11.94 ± 3.05 mm) の方が有意に高い位置で分岐し、男女間では左右冠動脈とも男性の方が高い位置で分岐していた。三次元画像による冠動脈の起始位置の形態評価で、冠動脈の起始の形態は個人差が大きいが判明し、本邦におけるデータベースを構築できた。これは今後、冠動脈形成術施行時の術前評価や解剖教育などに貢献できる。

Key words: マルチスライス CT, 心臓 CT, 三次元画像, 冠動脈, 冠動脈起始異常

緒 言

冠動脈の起始異常や分岐異常に関しては、カテテルを用いた冠動脈造影 (CAG: Coronary Angiography) による形態的な分類および発現頻度の調査研究が諸外国では数多くあるが¹⁻⁵、CT 画像を用いた日本人における開口位置や分岐角度などの幾何学的な情報を含めた冠動脈起始部の解剖学的な調査報告はほとんど無い。近年、CT 装置の技術革新はめざましく、1998年に登場した多列化された検出器を持つ Multi Detector-row CT (MDCT) はこの10年の間に著しい進歩を遂げ、従来の CT 装置に比べ短時間で広い範囲を捉えることが出来るようになった。特にこの数年における64列の検出器を有する MDCT の登場によって、超高速に広範囲の詳細な撮影が可能となり、空間分解能に優れた三次元的なデータ収集が可能となったことから、心臓領域への応用が本格的になっている。心臓領域、特に冠動脈の

画像診断法としては、従来 CAG がゴールドスタンダードとされてきたが、手技として侵襲的方法であり、また画像としても血管内腔の造影剤の投影像のみを観察する方法なので、得られる情報には少なからず限界があった。MDCT による心電同期撮影および画像再構成法を用いた冠動脈の CT Coronary Angiography (CTCA) は、冠動脈病変、特に狭窄病変の評価における有用性はこの数年の技術革新で確立されるようになった⁶⁻⁹。MDCT は低侵襲的に心臓および冠動脈の形態を把握することが可能であり、容易に冠動脈の立体的形状の計測が出来るので、冠動脈の起始部に関する正確な幾何学的形態情報の収集が可能である^{10,11}。本研究の目的は、既存の臨床検査データから、MDCT によって実施された心臓 CT 検査によって得られた画像を用いて冠動脈の形態情報を解析し、冠動脈起始異常の発現率およびその分岐形態の幾何学的情報について解剖学的見地から調査することによって、邦人における起始異常の

発現率と冠動脈起始の開口部の形態を明らかにすることである。

対象と方法

1. 対象

調査対象は、2006年7月より2010年4月まで当院において64列 MDCT を用いて心臓 CT 検査を施行され、無作為に抽出した連続1,217症例である。この中から心臓奇形、大動脈弁強度石灰化症例、人工弁置換術後症例、心電同期不良症例、造影濃度不良症例および18歳未満の症例を調査対象から除外した。また、調査期間中に複数回検査が実施された症例については、そのうちの1検査のみを対象とした。本研究は過去に実施された心臓 CT 検査で得られた画像を再構成して解析した後向き観察調査研究で、近畿大学医学部倫理委員会の承認を受けて実施した。

2. 心臓 CT 検査

心臓 CT 検査は64列検出器を有する MDCT (LightSpeed VCT, GE ヘルスケア社製, 米国) を用いて実施した。各症例は原則的に右尺側肘静脈に20Gの留置針で血管ルートを確保、ニトログリセリン(血管拡張薬)を舌下噴霧投与後、心電図同期下にて CT 検査を施行した。造影検査に先立ち、撮影範囲を決定するために単純 CT 撮影を行った。続いて動脈内の造影剤濃度が最大となる撮影開始タイミングを決定するため、造影剤10 ml を4 ml/sec で注入し、心臓の4腔が観察できるレベルでシネ撮影を行ない、大動脈が最大に濃染された時間を至適造影撮影開始時間とした。造影心臓 CT 検査の撮影条件は、120 kV, 700 mA, 0.35 sec/rotation, 0.625 mm スライス厚で心電図波形信号を取得しながら撮影した。撮影はヘリカルスキャンモードで実施し、ヘリカルピッチは患者の心拍数に応じて0.16から0.24で可変した。造影剤の注入方法は、370 mgI/ml の非イオン性ヨード系造影剤を用い、患者の体重1 kg あたり0.8 ml を注入時間が13秒になるように造影剤自動注入器 (Dual-shot, 根本杏林堂製, 日本) を用いて注入し、造影剤の注入後は直ちに生理食塩水30 ml を同じ注入速度で注入した。心臓全体の撮影時間は、撮影範囲および患者の心拍数にもよるが7から12秒程度である。放射線被ばく線量を低減するために、60心拍未満の患者では心電図のR波からR波の間隔(R-R 間隔)のうち65から85%の時相を、60心拍以上の患者ではR-R 間隔40から85%を設定管電流で撮影し、それ以外の時相は設定管電流の40%に低減して撮影を行った。画像は心拍動の拡張中期から末期の時相に相当するR-R 間隔60-80%に設定して画像

再構成を行った。得られた画像は画像解析用ワークステーション (Advantage Workstation Volume Share4.2, GE ヘルスケア社製, 米国) に送り、次項に述べる画像解析を行った。

3. 冠動脈の起始異常の調査方法

造影 CT 画像からボリュームレンダリング (Volume Rendering: VR) 画像 (図1) および任意断面再構成 (Multi Planner Reformat: MPR) 画像 (図2) を作成した。冠動脈の VR 画像および MPR 画像から、左右冠動脈の分岐状態を竹本らの報告による冠動脈起始異常について視覚的に調査した¹²。この起始異常は次の3つに分類した。

1) 冠動脈高位起始 (High Take-off)

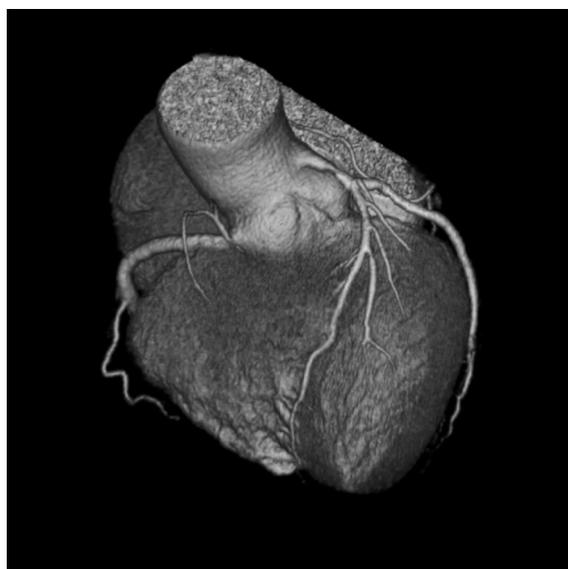


図1 冠動脈のVR画像



図2 冠動脈のMPR画像

2) 左前下行枝と左回旋枝の分離起始 (Separate origin of left anterior descending artery and left circumflex from the left coronary cusp)

3) 冠尖起始異常 (Anomalous origin of coronary artery from opposite coronary cusp)

左冠動脈主幹部が極端に短い症例や、左回旋枝、左前下行枝の分岐状態が VR, MPR 画像で鮮明に判明できない症例 (22例) については、仮想内視鏡 (Virtual Endoscopy: VE) 画像 (図3) を作成し、大動脈洞内部から起始部の分岐状況を観察した。

4. 冠動脈起始部の開口部の形状調査

左右冠動脈起始部で冠動脈の走行に並行した MPR 画像を用いて、Paolo の分類¹³ に従って冠尖部の大動脈血管壁から冠動脈の分岐部の開口状態を次の3つに分類し調査した (図4)。

- A: 血管壁から直交して冠動脈が分岐
- B: 血管壁から屈曲して冠動脈が分岐
- C: 血管壁に一部埋め込まれた状態で血管壁に沿って冠動脈が分岐

5. 冠動脈の起始開口部の角度および大動脈洞 (Valsalva 洞) 底部からの距離

上行大動脈の走行に並行した MPR 画像を作成

し、その画像を用いて Valsalva 洞に直交した断面で、大動脈弁陥凹部分が三分割される断面を作成した (図5)。この画像から McAlpine の解析¹⁴ に従って半月弁結節を軸中心とし、この中心点から右冠動脈洞 (右冠尖) と左冠動脈洞 (左冠尖) の境界に引いた線を基準位置 (0度) に定める。この位置より左右冠動脈の起始部が開口する位置の角度 (分岐角) を計測した (図6)。

次に、Paolo の解析方法¹³ に沿って Valsalva 洞の下端を通る画像位置を基準として、左右冠動脈の起始部の開口する位置を、Valsalva 洞下端からの距離を計測した (図7)。いずれの開口部も造影された血管部分の内腔の中央点を開口位置とした。なお、この開口部の角度および Valsalva 洞からの距離の測定については、分岐異常を有する症例および大動脈閉鎖不全症など Valsalva 洞が完全に閉鎖しない症

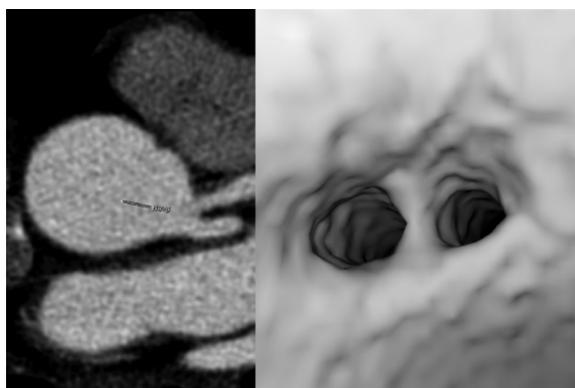


図3 左心室内から冠動脈方向へ観察する VE 画像

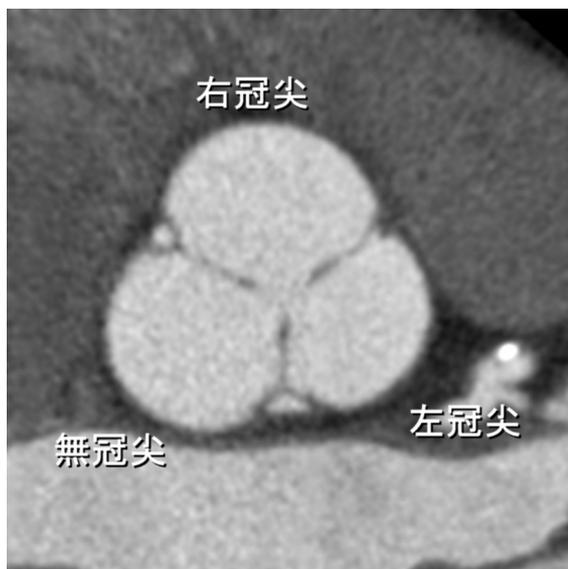


図5 Valsalva 洞に直交した大動脈弁陥凹部分の断面像

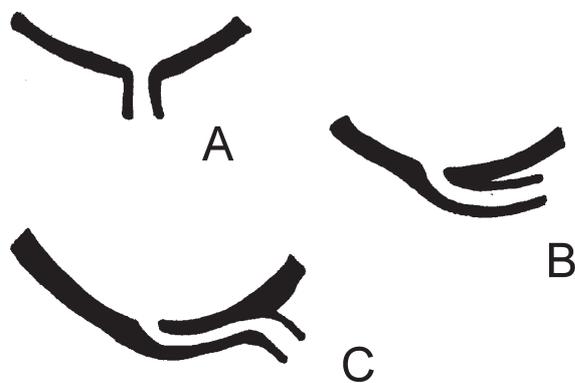


図4 冠動脈開口部の分岐形状分類 (Paolo¹³ の論文より改変引用)

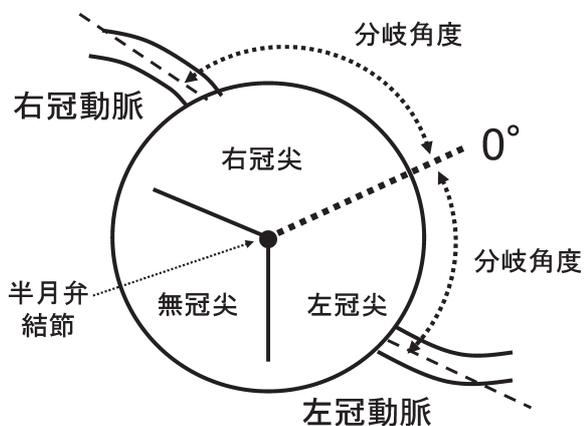


図6 冠動脈起始開口部の角度測定の基準

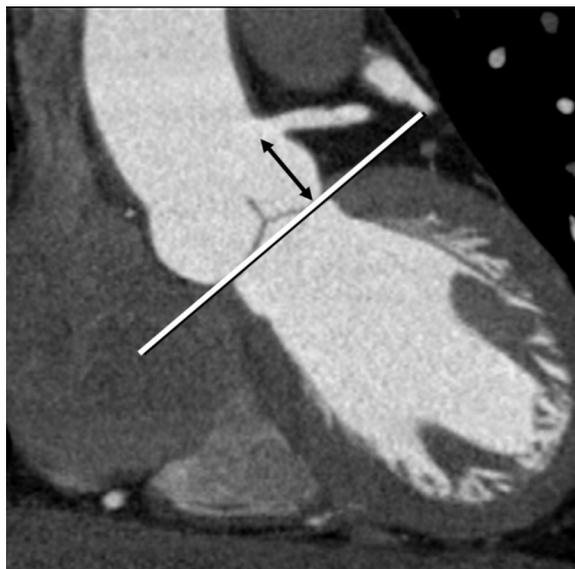


図7 冠動脈起始開口位置のValsalva洞底部からの距離測定基準

例は対象から除外した。

6. 統計学的解析

統計処理のすべては、Minitab Release12 software (Minitab社製, 米国) を使用した。冠動脈の起始の分岐角度と開口位置について、左右および男女別で有意差をt検定によって検討し、p値が0.05以下を有意差ありと判定した。

成 績

1. 患者背景 (表1)

1) 冠動脈起始異常の調査対象となった1,217例のうち除外症例を除いた症例は1,053例あり、内訳は男性680例、女性373例、18-92歳(平均65.2±12.8歳)、平均体重60.8±11.5 kg あった。検査依頼目的の内

訳は表1に示すとおりであった。

2) 冠動脈の起始開口部の角度およびValsalva洞底部からの距離測定のための対象は、1)の症例1,053例のうち分岐異常を有する症例およびValsalva洞が完全に閉鎖しない症例を除外した972例(男性632例、女性340例、平均65.4±12.7歳)であった。

2. 冠動脈の起始異常分類 (表2)

冠動脈の分岐異常を有した症例の一覧は表2に示すとおりであった。1,053例中、冠尖と大動脈の接合部より5 mm以上高位から冠動脈が分岐される高位起始症例は0例(0.000%)、左冠動脈主幹がなく左冠尖から左前下行枝と左回旋枝が分離して起始する症例(図8)が8例(0.755%)、冠尖起始異常で右冠動脈が左冠尖から分岐し、右冠動脈が大動脈と肺動脈の間を走行して右房室間溝に至る症例(図9)

表1 患者背景

症例数	1,053例	
年齢(歳)	65.2±12.8歳	
性別(男)	680例	(64.6%)
(女)	373例	(35.4%)
検査依頼目的	精査目的	スクリーニング
先天性心疾患	13	1
心臓弁膜症	11	
虚血性心疾患	497	262
心不全	30	2
不整脈	104	
心筋疾患	15	6
心臓腫瘍	3	
血圧異常	4	
動脈疾患	29	2
その他・不明	71	3

表2 冠動脈分岐異常症例一覧

患者番号	性別	年齢	分岐異常	検査目的
1	男	49	左前下行枝と左回旋枝分離起始	拡張型心筋症
2	男	54	左前下行枝と左回旋枝分離起始	狭心症
3	男	77	左前下行枝と左回旋枝分離起始	労作性狭心症
4	女	41	左前下行枝と左回旋枝分離起始	無症候性心筋虚血
5	女	78	左前下行枝と左回旋枝分離起始	心筋症疑い
6	女	26	左前下行枝と左回旋枝分離起始	川崎病疑い
7	女	42	左前下行枝と左回旋枝分離起始	狭心症疑い
8	女	48	左前下行枝と左回旋枝分離起始	冠攣縮性狭心症
9	男	73	右冠動脈左冠尖起始異常	狭心症
10	男	65	右冠動脈左冠尖起始異常	陳旧性心筋梗塞
11	男	75	右冠動脈左冠尖起始異常	冠攣縮性狭心症
12	女	21	右冠動脈左冠尖起始異常	高安病
13	女	75	右冠動脈左冠尖起始異常	労作性狭心症疑い
14	女	69	右冠動脈左冠尖起始異常	狭心症疑い

が6例(0.570%)、起始異常は合計14例(1.330%)認められた。また、分岐異常ではないが、左冠動脈主幹部の長さが5mm以下である、いわゆる Short main trunk¹⁵は14例(1.330%)認められた。冠動脈高位起始と冠尖起始異常の発現率に男女差は認められず、左冠動脈主幹部が無い症例は、女性が約1.5倍男性より多かった。起始異常の症例は狭心症など虚血性心疾患を有する症例が大部分であった。

3. 冠動脈起始部の開口部の形状 (表3)

起始部の開口部の形状については表3に示すと



図8 左冠動脈主幹がなく左冠尖から左前下行枝と左回旋枝が分離して起始する症例 (VR 画像)

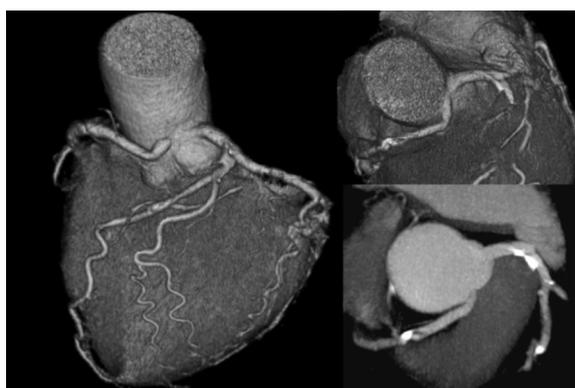


図9 右冠動脈が左冠尖から分岐し、右冠動脈が大動脈と肺動脈の間を走行して右房室間溝に至る症例 (VR 画像および MPR 画像)

表3 冠動脈起始部の開口部の形状

分類	左冠動脈	右冠動脈
A	924 (95.062%)	962 (98.971%)
B	46 (4.733%)	8 (0.823%)
C	2 (0.206%)	2 (0.206%)

りであった。左冠動脈側に大動脈血管壁から屈曲して分岐する例が、右冠動脈側に比べ3倍高率に出現した。屈曲して分岐する例は全体の5%未満、大動脈血管壁に一部埋め込まれた状態で血管壁に沿って分岐する例は0.5%未満と極めて稀な分岐形状であることがわかった。

4. 冠動脈の起始開口部の角度および Valsalva 洞底部からの距離 (表4, 表5, 表6)

分岐異常を有する症例および Valsalva 洞が完全に閉鎖しない症例を除外した972例における左右の冠動脈の分岐角度 (表4) は、左冠動脈に比べ右冠動脈が有意に鈍角で、男女とも同じ結果であった (図

表4 左右冠動脈の分岐角度

	左冠動脈	右冠動脈	P
全症例	63.0°±12.2	76.9°±11.2	P=0.0000
男性	62.5°±12.2	77.1°±11.2	P=0.0000
女性	63.9°±12.3	76.5°±11.2	P=0.0000
P	P=0.093	P=0.41	

Mean±SD

表5 左右冠動脈間の分離角度

	分離角度	P
全症例	139.9°±17.3	
男性	139.7°±17.2	P=0.46
女性	140.4°±17.5	

Mean±SD

表6 冠動脈開口部の Valsalva 洞底部からの距離 (mm)

	左冠動脈	右冠動脈	P
全症例	10.84±2.80	11.94±3.05	P=0.0000
男性	11.62±2.73	12.98±2.74	P=0.0000
女性	9.39±2.32	10.00±2.63	P=0.0012
P	P=0.0000	P=0.0000	

Mean±SD

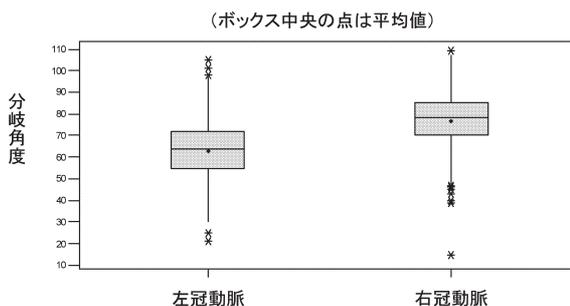


図10 左右冠動脈の分岐角度の比較

10). 左右とも男女間では分岐角度に有意差は認められなかった。左右冠動脈間の分離角度は男女間で有意差は無く、全体として 139.7 ± 17.3 離れて分岐していた。(表5, 図11)

Valsalva 洞底部から冠動脈起始開口部までの距

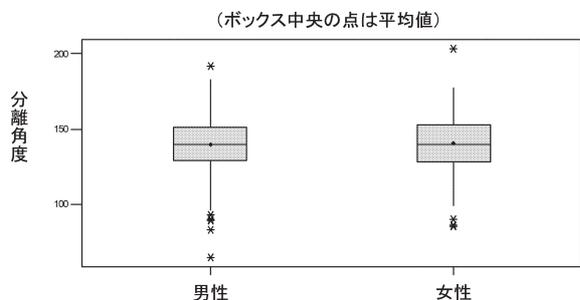


図11 左右冠動脈分離角度の男女間の比較

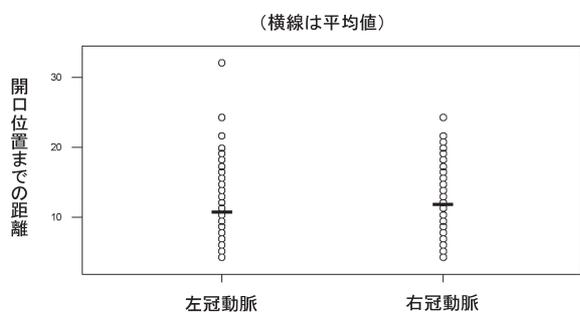


図12 左右冠動脈開口部の Valsalva 洞からの距離の比較：全例

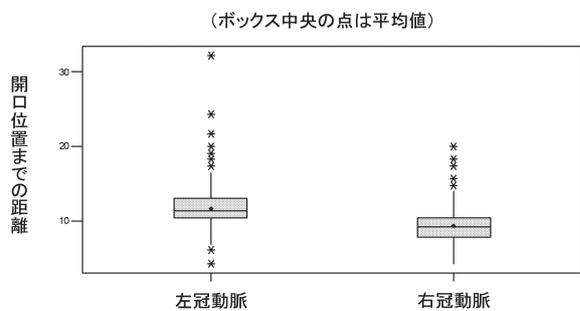


図13 左右冠動脈開口部の Valsalva 洞からの距離の比較：男性

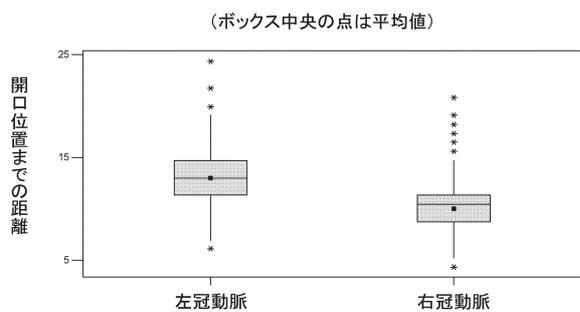


図14 左右冠動脈開口部の Valsalva 洞からの距離の比較：女性

離は、全症例、男女別とも左冠動脈に比べ、右冠動脈の方が有意に高い位置で分岐し(表6, 図12), 男女間では左右冠動脈とも有意に男性の方が女性に比べ、高い位置で分岐していた(図13, 図14).

考 察

本検討で日本人における MDCT を用いた冠動脈の起始異常の発現率および開口部起始位置の幾何学的形態を明らかにした。冠動脈起始異常には、大動脈からの起始異常、冠動脈からの起始異常、肺動脈起始症があり、それぞれ様々な型に分類される。大動脈からの起始異常としては、他側からの冠尖起始、過剰冠動脈、高位起始があり、単冠動脈症も含まれるが一般的には起始異常は比較的予後が良く、臨床的意義は乏しいとされていた¹⁶。しかし、左冠動脈右冠尖起始および右冠動脈左冠尖起始では大動脈と肺動脈の間を冠動脈が走行することやスリット状の冠動脈口により、左冠動脈無冠尖洞起始では大動脈からの鋭角的な分岐角のため、突然死や心筋梗塞の合併症が報告されるようになってきた¹⁶。また起始異常では冠動脈のカテーテルの選択的挿入が困難な場合もあり、このためその形態を確認することは臨床的に重要である。

生体における冠動脈の起始異常は文献的には0.6~1.3%の頻度であり^{1-4,17-20}、竹本¹²や Kimbirisら¹⁸によれば、起始異常は左回旋枝と右冠動脈の起始異常がほとんどである。日本における高齢者剖検例によれば、冠動脈奇形の頻度は5,850例中55例(0.94%)であり²¹、本検討と類似した報告である。先天性冠動脈奇形の診断のゴールドスタンダードはCAGで、異常血管が確認されることにより冠動脈奇形の診断されてきた。しかし、血管撮影法は侵襲的手法であり、症状の無い患者に侵襲的検査を加えるのは必ずしも適当ではなく、より低侵襲的な検査法が望ましい。その点ではMDCTを用いた心電図同期CTCAは低侵襲的であり、スクリーニング法としての利用も可能である。CAGにより最多症例(126,595例)を検討したYamanakaら⁴の報告には、冠動脈起始異常以外の分岐異常なども含んで冠動脈奇形を報告しており、この中から本研究の対象と同じ異常を比較すると、高位起始0.013%、左前下行枝と左回旋枝の分離起始0.41%、左冠尖から右冠動脈が分岐0.107%と出現率は異なるものの、いずれも非常に稀な頻度であることがわかった。CAGと本法CTCAでの出現率が異なる要因として、CAGは侵襲的な検査のため、検査対象が症状のある症例に集中する傾向があると推測される。低侵襲的なCTCAはスクリーニング検査としても施行されて

いるため、CAG に比べて幅広い検査適応があり、CAG より全成人に対する異常症例の発現率に近いと考えられる。また、CAG は二次元投影画像であるため観察する方向に制限があり、加えて造影剤で濃染された血管腔しか描出できないため、左冠動脈の慢性完全閉塞病変 (chronic total occlusion) などでは分岐異常が判断できない場合が起こり得る。閉塞病変でない場合でも観察角度によって左冠動脈本幹部の欠損と Short main trunk 症例との区別がつかない場合があるので、検出不良例が存在する可能性がある。

冠動脈奇形では、異常血管の有無の確認に加えて異常血管の走行、例えば大動脈・肺動脈との位置関係や分岐角などの把握が、近年、盛んに行われている経皮的冠動脈治療 (Percutaneous Coronary Intervention: PCI) のための基礎データとして役立つ可能性が高い。PCI 施行の際のガイディングカテーテル選択には、上行動脈の形状、Valsalva 洞の大きさおよび冠動脈近位部の走行などの把握が重要であり、PCI 成功の重要な因子である¹⁵。これらを確実に診断する上では CTCA は極めて有用である^{22,23}。特に冠動脈起始部の分岐角度は、PCI 施行時のガイディングカテーテルの選択に必要な情報で、主に右冠動脈や分岐異常、分岐角度の不適合などガイディング手技が困難な症例に遭遇した際にカテーテルの形状を変更する情報の一つと成り得る²⁴。

冠動脈の起始開口部は、上行大動脈と Valsalva 洞との境部分 (Sinotubular ridge²⁵) よりわずかに下の Valsalva 洞に開口し、Baroldi ら²⁶ によれば、右冠動脈は左冠動脈より高位に開口している割合が高い。本検討でも同様に右冠動脈が有意に左冠動脈より Valsalva 洞の底部を基準として高位に開口し、しかも女性より男性の方が有意に高位で開口していることが判明した。

これらの結果から、邦人における冠動脈の分岐に関するデータベースの構築が期待でき、解剖学的に邦人における冠動脈の形態情報をデータベース化することによって、PCI や冠動脈大動脈バイパス移植術 (coronary artery bypass graft: CABG) の術前、術後などへの臨床応用や解剖学教育などの基礎医学へ展開することができる。これまで冠動脈の形態観察には主として血管撮影や、数少ない剖検例によって行われてきたが、最新の MDCT による心臓検査は、低侵襲的で描出能に優れており、最近の CT 装置では体軸方向の分解能は 0.5–0.6 mm と測定精度が高く、形態を観察するには大変有用である。被ばくと造影剤使用という欠点が存在するが、MDCT による心電同期撮影および画像再構成法を

用いた CTCA は、冠動脈疾患に関しても形態診断と有用な情報を提供する。冠動脈の分岐分類のみの研究はこれまでにいくつかなされているが、形態情報 (幾何学的数値データ) を調査したものはほとんどなく、本研究での解剖学的な調査結果は臨床画像診断、教育上重要であると考えられる。豊富なデータで様々な形態を参照することで、冠動脈造影による統計結果から冠動脈発達の正常および異常のパターンを明らかにした。

謝 辞

本稿を終えるにあたり、臨床データの収集にご協力いただきました。近畿大学医学部附属病院中央放射線部の山田浩司技術科長をはじめ診療放射線技師の皆様に深く感謝申し上げます。

文 献

1. Chaitman BR, Lesperance J, Saltiel J, Bourassa MG (1976) Clinical angiographic and hemodynamic findings in patients with anomalous origin of the coronary arteries. *Circulation* 53: 122–131
2. Baltaxe HA, Wixson D (1977) The incidence of congenital anomalies of the coronary arteries in the adult population. *Radiology* 122: 47–52
3. Trivellato M, Angelini P, Leachman RD (1980) Variations in coronary artery anatomy: normal versus abnormal. *Cardiovasc Dis Dec* 7: 357–370
4. Yamanaka O, Hobbs RE (1990) Coronary artery anomalies in 126,595 patients undergoing coronary angiography. *Cathet Cardiovasc Diag* 21: 28–40
5. Topaz O, DeMarchena EJ, Perin E, Sommer LS, Mallon SM, Chahine RA (1992) Anomalous coronary arteries: angiographic findings in 80 patients. *Int J Cardiol* Feb 34: 129–138
6. Hoffmann MH, Shi H, Schmid FT, Gelman H, Brambs HJ, Aschoff AJ (2004) Noninvasive coronary imaging with MDCT in comparison to invasive conventional coronary angiography: a fast-developing technology. *AJR Am J Roentgenol* 2004 Mar 182: 601–608
7. Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, Arbab-Zadeh A, Niinuma H, Gottlieb I, Paul N, Clouse ME, Shapiro EP, Hoe J, Lardo AC, Bush DE, de Roos A, Cox C, Brinker J, Lima JA (2008) Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med* Nov 27; 359: 2324–2336
8. 栗林幸夫 (2006) 新・心臓病診療プラクティス 8: 画像で心臓を診る 東京 文光堂, p2-8
9. 栗林幸夫 (2008) 心臓 MDCT 開発の歴史と将来 心臓血管画像 MOOK 東京 産業開発機構株式会社 p10-15
10. Komatsu S, Sato Y, Ichikawa K, Kunimasa T, Ito S, Takagi T, Lee T, Matsumoto N, Takayama T, Ichikawa M (2008) Anomalous coronary arteries in adults detected by multislice computed tomography: presentation of cases from multicenter registry and review of the

- literature. *Heart Vessels* 23: 26-34
11. 南都伸介 (2009) *Interventional Cardiologist のための冠動脈CT情報 Coronary Intervention*, 第5巻, 第2号, メディアアルファ
 12. 竹本明子, 氷見和久 (2001) 1) 冠動脈奇形, 1. 虚血性心疾患 IV疾患の画像診断, 循環器の画像診断ガイド 総合臨牀 /50 増刊号 402-408, 1510-1516
 13. Paolo A (1989) Normal and anomalous coronary arteries: definitions and classification. *American Heart Journal* Volume 117 Issue 2 February p418-434
 14. McAlpine WA (1975) *Heart and Coronary Arteries. An Anatomical Atlas for Clinical Diagnosis, Radiological Investigation and Surgical Treatment.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
 15. 延吉正清 (1990) 冠動脈造影法 東京 医学書院
 16. 小林 亨 (1996) 冠動脈起始異常. 日本臨牀 領域別症候群シリーズ12 循環器症候群 I 東京 日本臨牀社 p803-806
 17. Engel HJ, Tomes C, Page HL (1975) Major variations in anatomical origin of the coronary arteries: angiographic observations in 4,250 patients without associated congenital heart disease. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1: 157-169
 18. Kimbiris D, Iskandrian AS, Segel BL, Bemis CE (1978) Anomalous aortic origin of coronary arteries. *Circulation* 58: 606-615
 19. Donaldson RM, Raphael M, Rodley-Smith R, Yacoub MH, Ross DN (1983) Angiographic identification of primary coronary anomalies causing impaired myocardial perfusion. *Cathet Cardiovasc Diagn* 9: 237-249
 20. Winkins CE, Betancourt B, Mathur VS, Massumi A, Castro CM, Garcia E, Hall RJ (1988) Coronary artery anomalies: a review of more than 10,000 patients from the Clayton Cardiovascular Laboratories. *Texas Heart Institute J* 15: 166-173
 21. 中山雅文, 大川真一郎, 今井 保, 久保木謙二, 千田宏司, 前田 茂, 渡辺千鶴子, 伊藤雄二, 杉浦昌也 (1993) 老年者にみられた冠動脈奇形, 脈管学 Vol. 33 No. 02
 22. Ghersin E, Litmanovich D, Ofer A, Lessick J, Dragu R, Rispler S, Beyar R, Engel A (2004) Anomalous origin of right coronary artery: diagnosis and dynamic evaluation with multidetector computed tomography. *JCAT* 28: 293-294
 23. 山科 章, 冠動脈病変の非侵襲的診断法, 日獨医報(2010) Volume 55, Number 1, 9-17
 24. 光藤和明, PTCA テクニック (1995) 東京 医学書院
 25. Amplatz K, Formanek G, Stanger P, Wilson W (1967) Mechanics of selective coronary artery catheterization via femoral approach. *Radiology* 89: 1040-1047
 26. Baroldi G, Scmazzone G (1967) Coronary circulation in the normal and the pathologic heart. Office of the Surgeon General Department of the Army Washington D.C.