研究論文

3D-CT を用いた逆行性心筋保護法における
右心系灌流不全の解剖学的留意点

西村優一・徳留大剛・寺田直正・佐々木 健・渡辺英樹

要 旨

逆行性心筋保護 (retrograde cardioplegia : RCP) の欠点として、右心系灌流不全が知られており、原因の1つに冠状静脈 (coronary vein : CV) の血管走行が挙げられる。右心系に関連する CV は、小心中静脈 (small cardiac vein : SCV)、中心静脈 (middle cardiac vein : MCV) を中心に構成される。これらは、冠状静脈入口部 (coronary sinus ostium : CSOs) 近位部に合流するため、RCP カニューレを深く挿入してはならないことが知られているが、CV 走行には個人差があり、許容される深さは症例によって異なると言える。本研究では、RCP に関連する CSOs 周囲の 3D 画像を作成し、CV 走行の個人差が RCP に与える影響について解剖学的に検討した。全 50 例中、SCV は 36% しか存在せず、すべて CSOs 近位部ではなく MCV に合流しており、最も右房側に合流する CV は MCV であった。CSOs から MCV までの距離は中央値 6.0mm (1.8 ~ 15.6mm) と非常に近接しており、比較対象とした RCP カニューレ付属バルーンの最小サイズが 10.0mm であったことから、MCV より深く挿入される可能性が高い。RCP における右心系灌流不全を最小限にする条件として、RCP カニューレをすべての CV より右房側に留置可能、かつ SCV の発達が良好である必要があるが、今回の検討で条件を満たす症例はなかった。

索引用語：心筋保護、逆行性心筋保護法、冠状静脈、中心静脈、小心中静脈

3D-CT revealed anatomical features of right heart perfusion failure using retrograde cardioplegia

Yuichi Nishimura, Daigo Tokudome, Naomasa Terada, Takeru Sasaki, Hideki Watanabe

Key words : cardio plegia, retrograde cardioplegia, coronary vein, middle cardiac vein, small cardiac vein

I. 緒 言

本研究に関して我々は、第 44 回 JaSECT 金沢大会、2019 年度関東甲信越地方大会、第 45 回 JaSECT 名古屋大会で、継続的に追加報告してきた。上記研究に新たな知見を交え、総論として報告する。

逆行性心筋保護 (retrograde cardioplegia : RCP) は心筋保護法として確立されており、様々な利点が知られている。しかし、右心系灌流不全や心筋保護液分布不均衡が生じやすいことが指摘されている¹⁾。

右心系領域に関連する冠静脈 (coronary vein : CV)

は、右室前壁を走行する小心中静脈 (small cardiac vein : SCV)、心室後中隔を走行する中心静脈 (middle cardiac vein : MCV) を中心に構成され、冠状静脈洞入口部 (coronary sinus ostium : CSOs) の近位部に合流後、右房に流入する²⁾。そのため、RCP カニューレを SCV、MCV より深く挿入、もしくは RCP カニューレ付属バルーンでそれらを閉塞してしまうと、心筋保護液の灌流が不十分となり心筋障害を引き起こす可能性がある^{3,4)}と報告されている。植上らは、RCP 成否の鍵はカニューレの適正な挿入と固定であり、CSOs 近位部に合流する SCV や MCV より右房側にカニューレ先端を留置すること (図 1) が重要であると報告している⁵⁾。しかし、CV には個人差があることも報告されており、SCV や MCV の形状、走行、合流位置は症例によって異なる⁶⁾。つまり、CV の個人差により適正な位置へのカニューレ留置が困難となる症例が存在すると推察される。

そこで本研究では、SCV、MCV、大心中静脈 (great cardiac vein : GCV) を中心とした右心系領域に関連す

○横浜労災病院 臨床工学部

西村優一 (Yuichi Nishimura)

〒 222-0036 神奈川県横浜市港北区小机町 3211

Department of Clinical Engineering, Yokohama Rosai Hospital
3211, Kozukue-cho, Kohoku-ku, Yokohama, 222-0036,
Kanagawa, Japan

[原稿受領日 : 2019 年 7 月 2 日 採択日 : 2019 年 9 月 17 日]

図1 理想的なRCP

るCVの3D画像を作成し、CVの血管走行とRCPカニューレの位置関係を評価し、RCPにおける留意点を解剖学的視点で検討した。

Ⅱ. 研究方法

1. 対象

2017年8月から2018年5月までに、当施設で施行された心臓血管外科手術の中で、RCPを使用した50例を対象とした。RCPカニューレは、体外循環用カニューレフレックスメイト レトロフレックス マニュアルタイプ14Fr（泉工医科工業社製）を使用した。

2. 画像

単純もしくは造影CTより心筋保護に関連する右心系領域、右房、冠状静脈洞（coronary sinus：CS）、GCV、SCV、MCVの3D画像を、画像作成ソフト ziostation2（ザイオソフト社製）で作成した（図2）。CT撮像条件は、管電圧120kV、心電図同期、スライス厚0.5mm、呼気止めとした。

3. 3D画像の作成方法

造影CTの場合、CVに造影剤が入るため、比較的容易に他の組織と識別可能である。単純CTでは、他の組織とCT値に大きな差がないため解剖学的特徴と肉眼的な違いから識別していく必要がある。CVは房室間溝を走行しており、周囲に脂肪組織が多く存在している。CVと脂肪組織ではCT値が異なり、CVは白く脂肪組織は黒く見える。その特徴を利用し、CTのスライス画像を尾側から頭側へと動かし、右房とつながり、かつ房室間溝を走行している構造物を探しGCVを同定した。同定したGCVを主流とし、右室前壁を走行する支流をSCV、心室後中隔を走行する支流をMCVと同定した。同定した部位をフリーラインにて手動で囲み3D画像にし、Window LevelおよびWindow Widthを調整後、不要な部位を削除した。

4. 検討方法

- 1) RCPカニューレ付属バルーンに0.5～10.0ccまで段階的に空気を注入し、サイズをそれぞれ測定した。

図2 作成した右心系領域の3D画像

- 2) 右心室前壁を走行する血管をSCV、心室後中隔を走行する血管をMCV、右房とCSの接合部をCSosとし、それぞれの血管構造を確認した。その他、右心系領域に関連するCVを確認した。
- 3) CSosから最も右房側に合流するCVまでの距離を測定した。

Ⅲ. 研究結果

1. バルーンサイズ

注入量を段階的に増加させると、バルーン直径と奥行径が変化した（図3・表1）。CV内に留置される部分であるバルーン奥行径の最小サイズは10.0mmであった。CSosから10.0mm以内に血管分岐がある場合、カニューレの位置にかかわらず、不均等分布が発生すると言える¹⁾。

2. 血管の構造

1) SCV

SCVは18例と全体の36%でしか確認できなかった。SCV径が非常に細く画像に描出されなかった可能性を考慮しなければならないが、心臓解剖やMDCT画像評価においても同様に、SCVの確認は少数であったと報告されている^{6,9)}。SCVが発達していない症例は、RCPでのSCV領域の心筋保護は困難と言えるが、64%と半数以上を占めた。

SCVの正常走行¹⁰⁾は、CSやGCVに直接合流しMCVより右房側に位置するが（図4）、本研究で確認できたSCVはすべてMCVと合流していた。つまり、SCVが存在する症例においては、SCV灌流はMCV灌流に依存すると言える（図5）。これは、解剖学的には異形⁷⁾となるが、CVの走行は多岐にわたり、基本形を断定することは困難であると報告されている^{2,8)}。今回は確認できなかったが、少数ではあるがSCVが右房に直接流入する走行も報告されており⁶⁾、これもまた同様に右心系灌流が低下すると考えられる。

2) MCV

全症例で確認でき、CSosから最も近接したCVであった。心室後中隔を心尖部方向に走行していた。

図3 RCP カニューレ付属バルーンサイズ

表1 RCP カニューレ付属バルーン実測

注入量 (cc)	直径 (mm)	奥行径 (mm)
0.5	7.7	10.0
1.0	9.6	10.0
1.5	12.8	10.0
2.0	14.6	11.2
2.5	16.1	11.6
3.0	17.7	12.2
3.5	19.6	13.0
4.0	20.7	13.6
5.0	22.6	13.8
6.0	24.0	14.3
7.0	25.3	15.8
8.0	26.4	16.6
9.0	27.4	17.2
10.0	28.3	17.8

図4 SCV 正常走行

図5 SCV 合流位置

3) その他

CT 画像での確認はできなかった。しかし、SCV や MCV 以外にも右心系領域を走行する静脈は存在し、右心室前面を走行する前心臓静脈 (anterior cardiac veins: ACVs) や、心房壁および心房中隔から出て右心室前面を走行する細心臓静脈があることが知られている。これらは、右房に直接注ぐため、RCP では有効な灌流が得られないと考えられる。また、ACVs と SCV の発達には逆相関性があると報告されており²⁾、SCV の発達

が未熟であると右房に直接注ぐ ACVs の本数が多くなる。つまり、SCV が確認できない症例での RCP は、右心系灌流が低下する可能性がある。

3. CSos に最も近接する血管までの距離

CSos から MCV 中心までの距離は、1.8 ~ 15.6mm、中央値 6.0mm (図 6) と非常に近接していた。右房小切開にて直視下でバルーンの留置を行ったとしても、多くの症例でバルーンは MCV を越えて留置される、もしくは、MCV を閉塞し留置されることとなる。そのた

図6 CSos-MCV 距離

図7 臨床で想定されるカニユーレ位置

め、心筋保護液は GCV などを経由し、静脈 - 静脈シャント (V-V シャント) にて MCV へ灌流するが、右房が開放されていることから心筋保護液は MCV 経由で右房へ流出するため、SCV を含む MCV より右室側に分岐する CV への灌流は不十分となる可能性がある (図 7)。RCP カニユーレのブラインド挿入やバルーンの奥行径が大きいセルフインフレートタイプの使用は、上記の可能性をさらに高くすると言える。

IV. 考 察

RCP 施行時、先端圧や回路内圧が上昇し、灌流が不可能となる症例をしばしば経験する。CV の主要血管は GCV と MCV であり、その両方が閉塞すると灌流不可能な圧上昇が発生すると考えられ、RCP カニユーレの先当たりを除くと僧帽弁手術や心臓脱転時に発生することが多い。これらの操作で房室間溝を走行する GCV を閉塞してしまうことは予測できるが、心室後中隔を走行する MCV を同時に閉塞してしまう可能性は低い。つまり、カニユーレの先当たりを除く急激な圧上昇は、RCP カニユーレが MCV を越えて留置されていると考えられ (図 8)、臨床にて RCP が圧上昇なく施行可能であっても、心筋保護液は GCV のみに灌流している可

図8 圧上昇原因

図9 臨床で想定される RCP

図 10 冠状動脈、冠状静脈の支配領域

能性があり、MCV を中心とした右心系領域の灌流低下が推察される (図 9)。

RCP 投与の正確性の判断として、冠状動脈口からの back flow 目視があり、特に右冠状動脈からの流出が重要であることが知られている。しかし、右冠状動脈の一部は、GCV-MCV シャント領域に灌流することが予測できるため (図 10)、RCP カニューレが CV に深く留置され右心系灌流が低下した状態であったとしても、RCP での back flow 目視は可能であると推察する。また、冠状動脈口が開放されているため、CV から右冠状動脈に流入した心筋保護液のほとんどは、圧力が低く流れやすい冠状動脈口に灌流すると考えられる。この灌流は順行性投与と異なり、右冠状動脈全体に圧力が掛からないため、不均等分布の原因となると考える。したがって、右冠状動脈からの back flow が目視可能であっても、右心系の心筋保護が十分ではない可能性があり注意が必要である。

V. 結 論

RCP 施行時の右心系灌流不全が最小限となる CV 走行の条件は、RCP カニューレがすべての CV より右房側に留置可能であり、かつ SCV の発達が良好である必要があるが、今回の検討では条件に当てはまる症例はなかった。また、RCP カニューレの先端圧モニタリングや、右冠動脈からの back flow 目視は、右心系灌流不全を否定する判断材料としては不十分である可能性がある。以上より、RCP 単独の心筋保護では右心系灌流不全に留意する必要があると考える。

本稿のすべての著者には規定された COI はない。

●参考文献

- 1) 日本心臓血管外科学会：心筋保護法標準テキストブック．初版，東京，文光堂，2016．p74-76.
- 2) 福島孝男：冠状静脈洞に流入する心臓静脈の形態と冠状動脈優位型との関係．日医大誌，62 (5)：70-88，1995.
- 3) Menasche P, Kural S, Piwnica A, et al. : Retrograde coronary sinus perfusion : A safe alternative for ensuring cardioplegic delivery in aortic valve surgery. Ann Thorac Surg, 34 (6) : 647-658, 1982.
- 4) Menasche P, Piwnica A : Retrograde cardioplegia through the coronary sinus. Ann Thorac Surg, 44 (2) : 214-216, 1987.
- 5) 樋上哲哉, 橘 一俊, 長谷川武生 : 逆行性持続的冠灌流法. CIRCULATION Up-to-date, 5 (6) : 585-592, 2010.
- 6) Ortale JR, Gabriel EA, Marquez CQ, et al. : The anatomy of the coronary sinus and its tributaries. Surg Radiol Anat, 23 (1) : 15-21, 2001.
- 7) Chiribiri A, Kelle S, Nagel E, et al. : Visualization of the cardiac venous system using cardiac magnetic resonance. Am J Cardiol, 101 (3) : 407-412, 2008.
- 8) Ma H, Tang Q, Li D, et al. : Contrast-enhanced whole-heart coronary MRA at 3.0T for the evaluation of cardiac venous anatomy. Int J Cardiovasc Imaging, 27 (7) : 1003-1009, 2010.
- 9) Malago R, Pezzato A, Mucelli RP, et al. : Non invasive cardiac vein mapping : role of multislice CT coronary angiography. Eur J Radiol, 81 (11) : 3262-3269, 2012.
- 10) DOTE ANATOMY TOPICS, <https://anatomytopics.wordpress.com/2008/12/12/12-the-blood-vessels-of-the-heart-conducting-system-innervation-of-the-heart-the-histology-of-blood-vessels-the-formation-of-granulocytes-granulocytopoiesis/>, Accessed 3 June 2019.

[本稿の要旨は第 44 回・第 45 回日本体外循環技術医学会大会にて報告した]