

令和 6 年 5 月 24 日現在

機関番号：12501

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2023

課題番号：22K16555

研究課題名（和文）CFDを用いたCABGにおける中枢composite graft吻合の形態的解析

研究課題名（英文）Morphological analysis of central composite graft anastomosis in CABG

研究代表者

焼田 康紀（Yakita, Yasunori）

千葉大学・医学部附属病院・特任研究員

研究者番号：40790671

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では2本以上のfree graftを使用する際の中枢吻合部の形態ごとの血流分布について数値流体力学を用いて解析することで最も長期開存が望める最適な中枢吻合形態を明らかにすることを目的とした。理想的な冠動脈吻合モデルを作成し、グラフトの吻合位置、角度、血管径などを変化させて様々なモデルで血流解析を行い、血行力学変化の違いについて検討した。血流解析の結果として、PiggyBack吻合をする場合2本目のグラフトは1本目の中枢吻合に近い位置で1本目と逆向きに吻合すると流量が多く長期的な開存が見込める可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本邦では諸外国に比べてCABGを行う際に人工心肺を使用しないoff-pump CABG(OPCAB)が多く行われる傾向にある。OPCABの利点として出血・輸血量の減少、術後の肺・腎・脳機能障害の減少、全身性炎症反応の軽減、人工呼吸器からの早期離脱、集中治療室の早期退室、早期退院、死亡率の低下などが挙げられる。心拍動を残したまま上行大動脈にグラフトを吻合するために補助デバイスが使用されるが、free graftの中枢吻合が2ヶ所以上の場合は複数のデバイスを使う必要がある。この様な状況から、中枢吻合を1ヶ所で済ますことができるcomposite graftの有用性を示す必要がある。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to identify the optimal central anastomotic configuration for achieving the longest patency when using two or more free grafts by analyzing the blood flow distribution for each anastomotic morphology using computational fluid dynamics. An ideal coronary artery anastomosis model was constructed, and blood flow analyses were conducted on various models by altering graft anastomotic positions, angles, and vessel diameters to investigate hemodynamic variations. The results of the flow analysis suggested that in the case of PiggyBack anastomosis, the second graft, when anastomosed near the first central anastomosis and in the opposite direction, could potentially yield greater flow rates and longer-term patency.

研究分野：心臓血管外科学

キーワード：数値流体力学 冠動脈外科 心臓血管外科

1. 研究開始当初の背景

冠動脈多枝病変に対する治療戦略として大動脈-冠動脈バイパス術 (CABG) は経皮的冠動脈形成術 (PCI) と比較して術後の新血管イベントの発生が少なく長期成績に優れていることがこれまで多数報告されている。CABG の長期成績を良くするために重要なのは患者個々に適切なグラフトデザインを選択することであり様々な工夫がなされている。その一つはグラフト選択であり、内胸動脈 (ITA)、胃大網動脈 (GEA) といった in situ graft と、大伏在静脈 (SVG) や橈骨動脈 (RA) といった free graft が使用される。一般的に ITA は冠動脈の血管径とほとんど同じで mismatch が少なく血流も豊富で、長期開存率が最も高いとされる。その次は動脈グラフトが有利とされており、静脈グラフトはそれに次ぐ。これはグラフト血管壁の弾性や内膜の構造によるものとされている。最近では SVG を採取する際に静脈周囲の構造を残したままにする non-touch テクニックを用いた SVG の開存率が動脈グラフトとほぼ同等であるという報告が散見されるようになり注目されている。もう一つの工夫は sequential 吻合の順番である。冠動脈多枝バイパスにおいて使用できるグラフトが少ない場合には一本のグラフトを数カ所の冠動脈に吻合する sequential 吻合が多用されるが、この際に狭窄度の強い冠動脈をより中枢側に吻合するとそれ以降のグラフトが閉塞する可能性が高いことが報告されており、吻合の順番が重要となってくる。

以上のようにグラフト血管の性状や末梢吻合の方法によるグラフトの長期開存性に関する報告はこれまで多くなされているが、グラフトの中枢側の要素による開存率の違いはこれまであまり論じられていない。in situ graft は中枢吻合が必要ないが、free graft は一方の端を上行大動脈に吻合して in flow を得る必要がある。しかし、上行大動脈に高度な石灰化や血栓、粥腫が存在する場合、free graft の中枢吻合ができる部位が限られる場合がある。このようなときに2本以上の free graft を使用するために、graft 同士を吻合して composite graft を作成し、中枢吻合の数を減らす工夫がなされてきた。形態としては、graft 同士を端端吻合して graft を延長する I-graft や、Y字に吻合する Y-graft などがある。一般にこれらの composite graft は単独グラフトに比べて開存率が劣るとされており積極的に使用されない。しかしながら、中枢吻合ができる部位が限られる場合にはこういった方法を組み合わせてグラフトデザインを考える必要がある。

また、中枢吻合を1ヶ所にする方法として、Sushi 吻合 (piggyback 吻合) がある。これは、1本目のグラフト中枢部の背側を切り開いてもう1本のグラフトを吻合する方法であり、中枢吻合部での吻合径と graft 径との mismatch によるグラフト内腔の狭小化を防ぐ効果もある。Sushi 吻合を行ったグラフトには行う前に比べてより多くの血流が流れるようになるとの報告もあるが、術後中長期でのグラフト開存率などの報告はほとんどないため、これらを明らかにすることで、長期開存のために



	Q <sub>m</sub> (ml/min)	D.F.	P.I.
Sushi 吻合前 1st FG	58.3±43.2	68.9±10.4	2.2±1.0
Sushi 吻合後 1st FG	82.1±61.2	68.9±11.2	2.4±1.7
	P=0.0004	N.S.	N.S.
2nd FG	67.8±47.4	73.7±13.8	2.8±1.2

Makita et al. 2011

より良い中枢吻合の形態を明らかにし CABG の長期成績をよくすることが目的である。

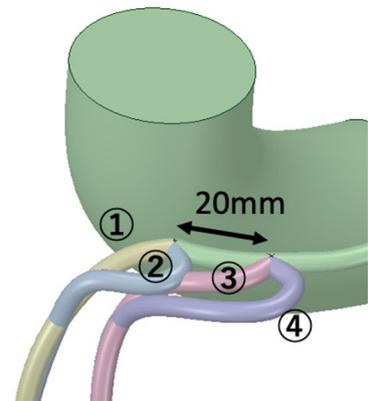
## 2 . 研究の目的

本研究では 2 本以上の free graft を使用する際の中枢吻合部の形態ごとの血流分布について Computational Fluid Dynamics (CFD) を用いて解析することでグラフトに実際に流れる血流量や、血管壁や吻合部にかかるせん断応力 Wall shear stress (WSS)、せん断応力のベクトルゆらぎを示す Oscillatory shear index (OSI) などを測定し、最も長期開存が望める最適な中枢吻合形態を明らかにすることを目的とする。 具体的には、sushi 吻合における第 2 グラフトの吻合位置、角度、血管径などを変化させて様々なモデルで血流解析を行い、血行力学変化の違いについて検討する。

## 3 . 研究の方法

大動脈-冠動脈中枢吻合の 3D モデルを中枢吻合の形態ごとに作成し、それぞれのモデルで冠動脈血流の流線パターン (Streamline)、WSS、OSI などを測定し、その分布マップを作成する。吻合は右図のように大動脈からの距離、吻合角度、血管径などの違いを反映させて数種類作成する。

3D モデリングソフトは space claim を使用、血流解析には ANSYS を使用した。血液は粘性  $0.0035\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、密度  $1060\text{kg}/\text{m}^3$  と一般的な性状に設定した。まず正常解剖の冠動脈 CT から冠動脈モデルを作成し、ここに上行大動脈から LCX へのバイパスを作成。それから一本目のバイパスにもう一本のバイパスを繋いで RCA へとバイパスする血管モデルを作成した。は piggyback 吻合、はいわゆる V-graft、は Y-graft と呼ばれる形状を再現している。RCA に向かうグラフトの長さはほぼ同じになるように走行させている。流入条件は心拍動と仮定して心拍数 60 回、心拍出量毎分 5 L の拍動流とし、各流出部は圧力 0 と設定した。このモデルで血流解析を行い、血管壁にかかる WSS や OSI といった壁応力を可視化し、またグラフト末端での血流量を測定した。

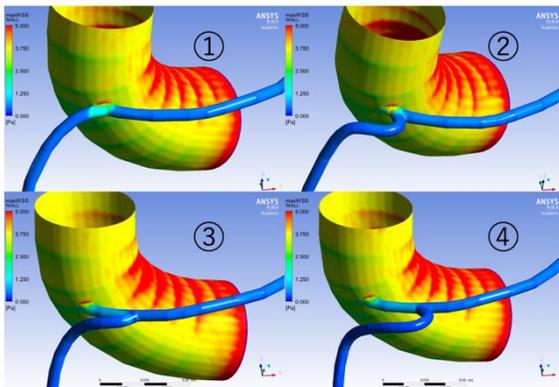


## 4 . 研究成果

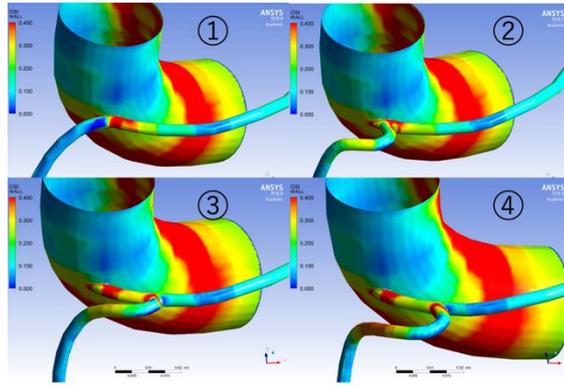
WSS について、どのモデルでも中枢吻合部には高い WSS 領域を認めた。 のモデルでは吻合の toe に高い WSS の分布を認めており、それ以外のモデルでは高い WSS の分布は認めなかった。 OSI について、どれもグラフト同士の吻合部に高い OSI の分布を認めた。 ではグラフトの共通管部分に高い OSI 領域を認めた。グラフト血流量について、LCX のグラフトの血流量はどのモデルも流量が変わらなかったが、RCA のグラフトについては から の順に流量は減少した。

以上より血流解析の結果として、1 本目のグラフトの中枢吻合から 2 本目のグラフトの吻合部までの距離が長くなるほど 2 本目のグラフトに流れる血流量が低下すること明らかになった。さらに、1 本目と 2 本目のグラフトを逆向きに吻合した方が 2 本目のグラフトの血流は増加する傾向にあった。以上から、PiggyBack 吻合をする場合 2 本目のグラフトは 1 本目の中枢吻合に近い位置で 1 本目と逆向きに吻合すると流量が多く長期的な開存が見込める可能性が示唆された。

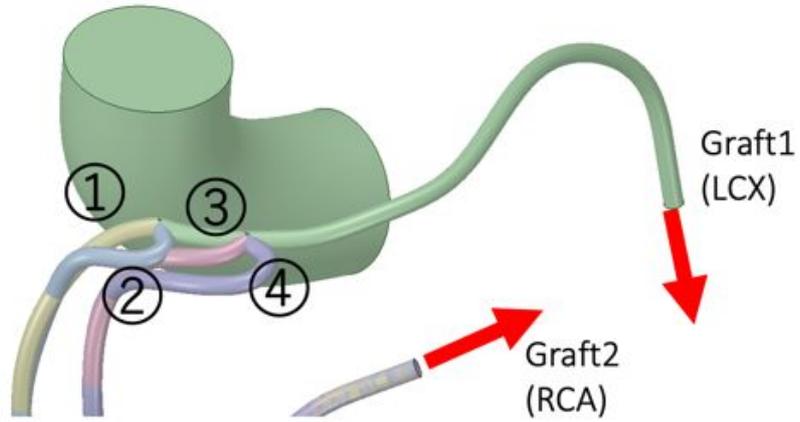
• Wall Shear Stress



• Oscillatory Shear Index



• Graft flow



	graft flow (ml/min)		
	graft1	graft2	
①	5.060	4.597	
②	5.076	4.420	
③	4.889	3.898	
④	4.815	3.601	

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------