

4D MRI를 이용한 경동맥협착증 수술 전후 혈류유동 비교: Results

송시문¹, 고승빈¹, 김두상², 이상형³, 조지현⁴

¹한양대학교 기계공학과

²중앙보훈병원 흉부외과

³서울대학교 보라매병원 신경외과

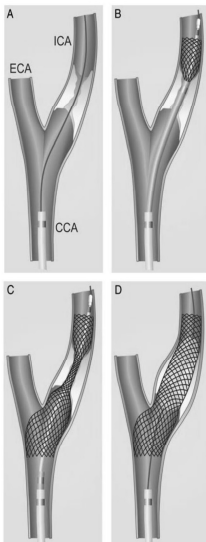
⁴한국기초과학지원연구원 생체영상연구팀

2018. 06. 23.

2018년도 순환기의공학회 하계학술대회

경동맥 협착증 치료

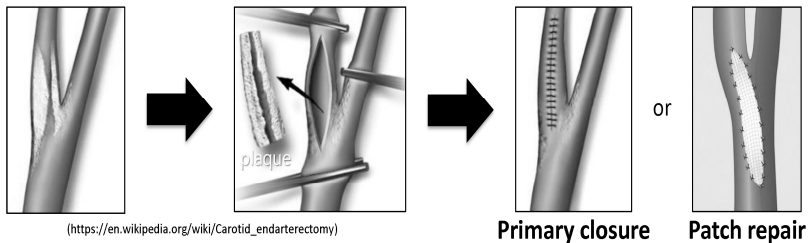
스텐트



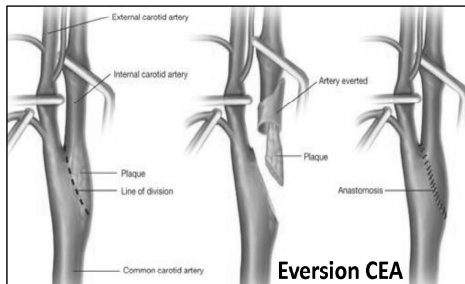
(Marco Roffi et al., European Heart Journal, 2009)

경동맥내막절제술 (Carotid Endarterectomy, CEA)

(Marco Roffi et al., European Heart Journal, 2009)



(https://en.wikipedia.org/wiki/Carotid_endarterectomy)



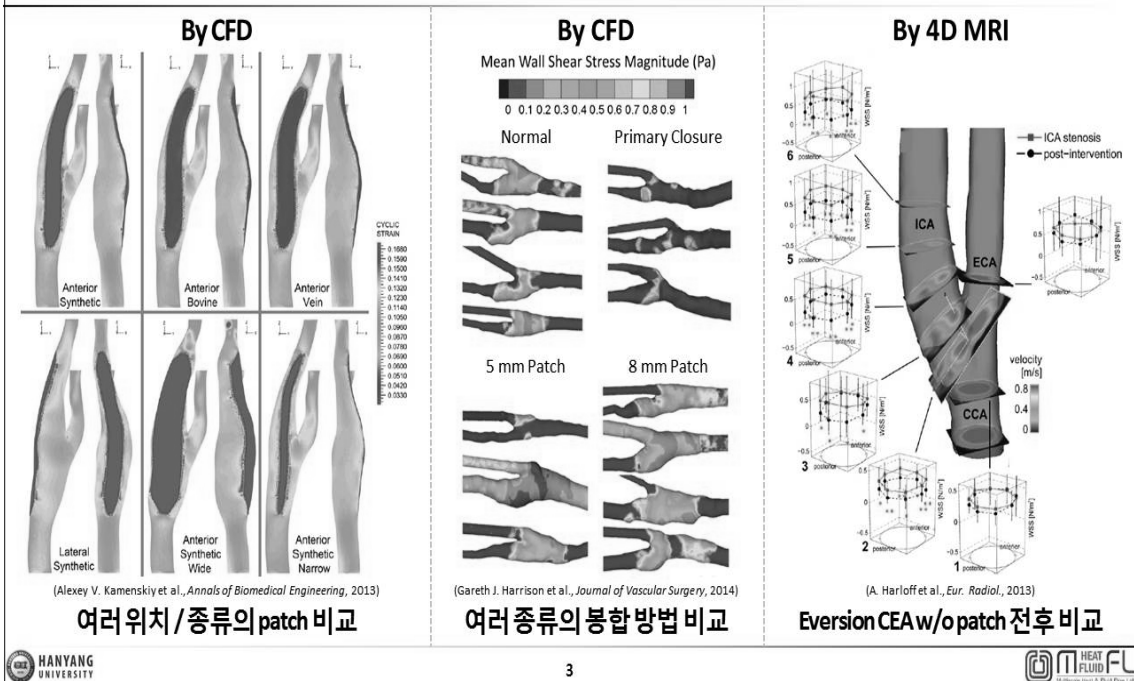
(<https://thoracickey.com/wp-content/uploads/2016/08/image00524.jpeg>)

예후에 있어 CEA 방법 간 차이가 거의 없음

↓

혈류역학적 차이?

경동맥 혈류역학 관련 기존 연구



연구 목표

▪ 4D MRI를 이용, 경동맥내막절제술 수술 전후 & 패치 유무에 따른 in-vitro 혈류 유동 비교 분석

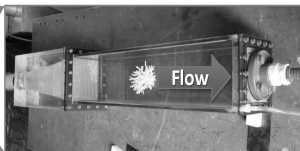
cf) 4D MRI란?

- 상용 MRI 기기를 이용하여 3차원, 3성분 속도장을 시분해 측정할 수 있는 비침습적 기법
- 심혈관유동과 같은 맥동유동의 time-resolved 측정 가능

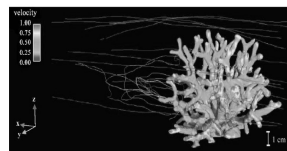
- EX)



Conventional MRI machine



A coral model inside flow passage



Visualized flow around a coral model

(Sandy Chang et al., *American Society of Limnology and Oceanography*, 2009)

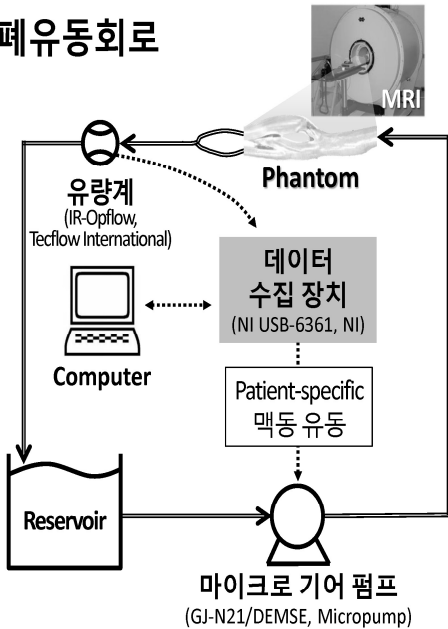
경동맥 모델

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Control carotid <ul style="list-style-type: none"> - 협착 부위 반대쪽 carotid - 정상 carotid로 간주 ▪ Pre-op. carotid <ul style="list-style-type: none"> - Patch와 No-patch 모두 면적 기준 90% 이상 협착 ▪ Post-op. carotid <ul style="list-style-type: none"> - CEA 1주 이후 carotid → Short-term 결과 		Control	Pre	Post	경동맥 정보	
	Patch				나이	68
					성별	남
					협착 정도 (면적 기준)	95%
	No Patch				나이	70
					성별	남
				협착 정도 (면적 기준)	94%	



실험 셋업 / 측정 조건

▪ 폐유동회로



▪ 작동 유체

- 글리세린 수용액 (황산구리 소량 첨가)
- Viscosity = 4.06 cP / Density = 1102 kg/m³

▪ MRI 기기 / RF 코일

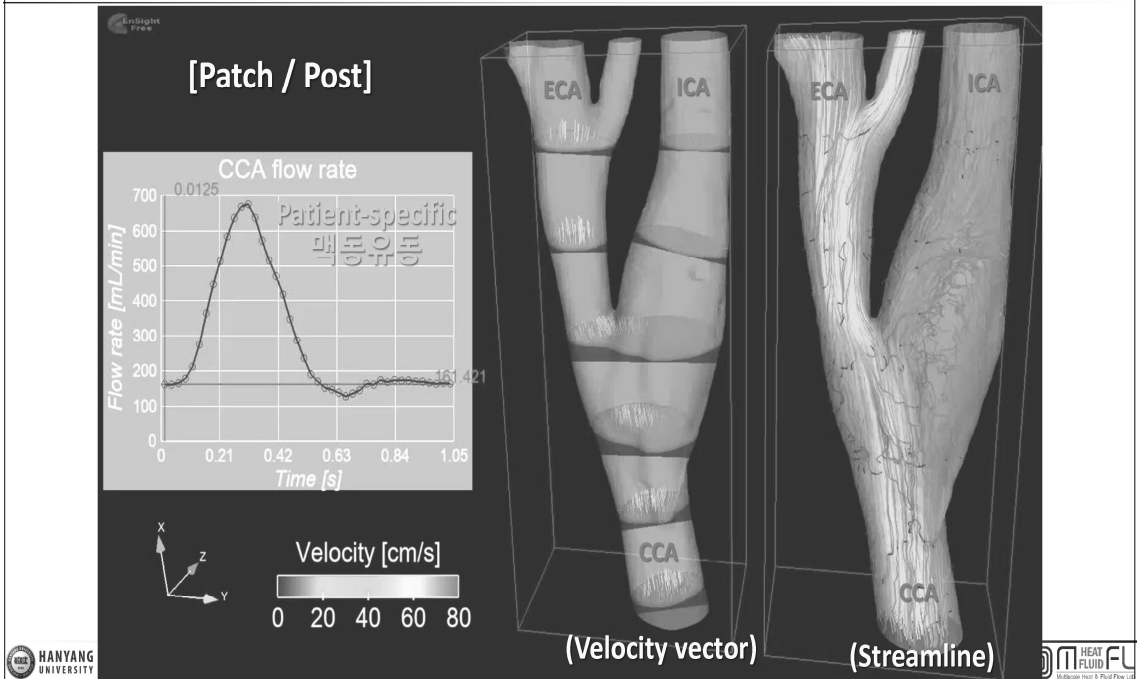
- Bruker 4.7 T MRI 기기
- @ 한국기초과학지원연구원 오창센터
- 72 mm birdcage RF 코일

▪ 측정 조건

- 공간해상도 = 0.35 x 0.35 x 0.35 mm
- 시간해상도 = 25 ms

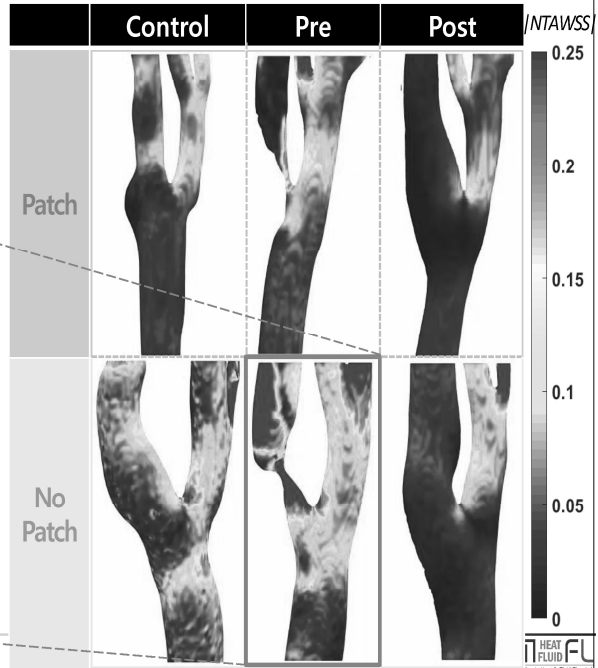
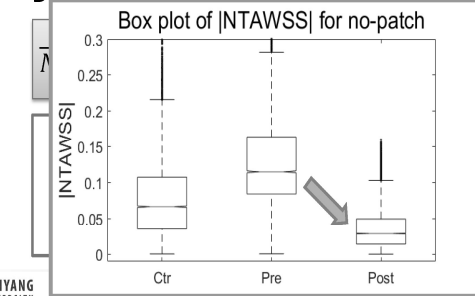
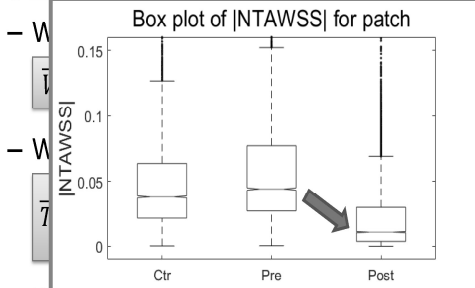


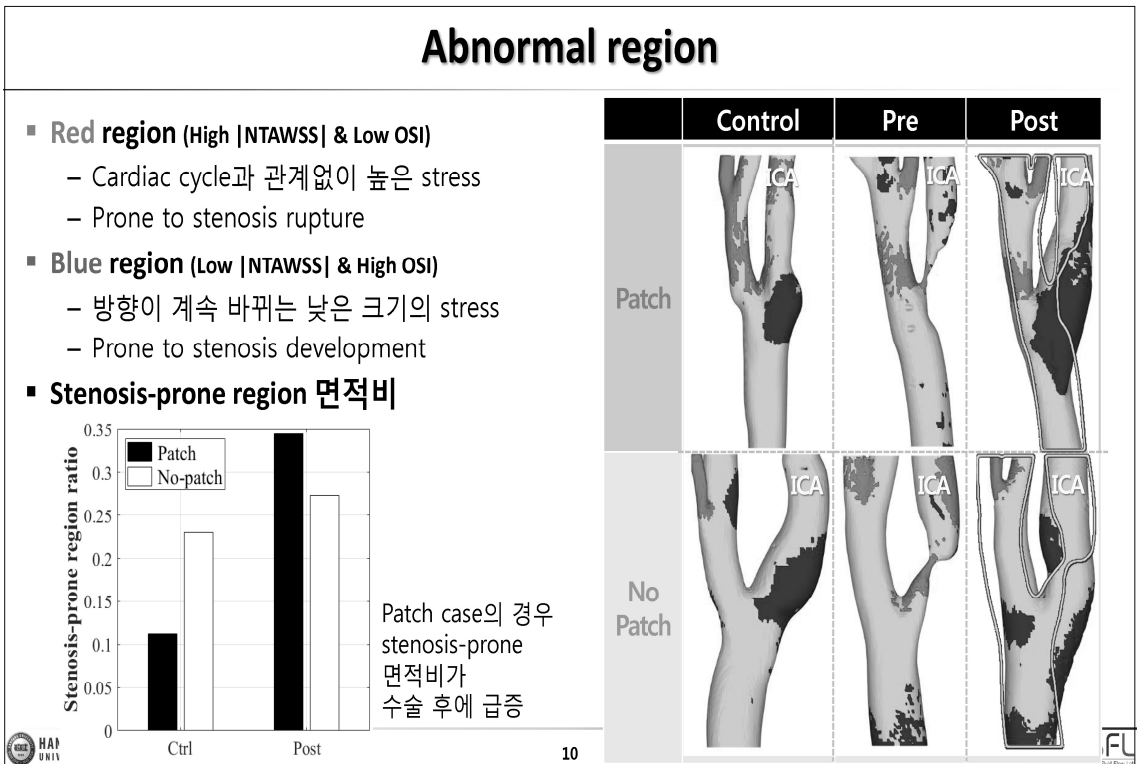
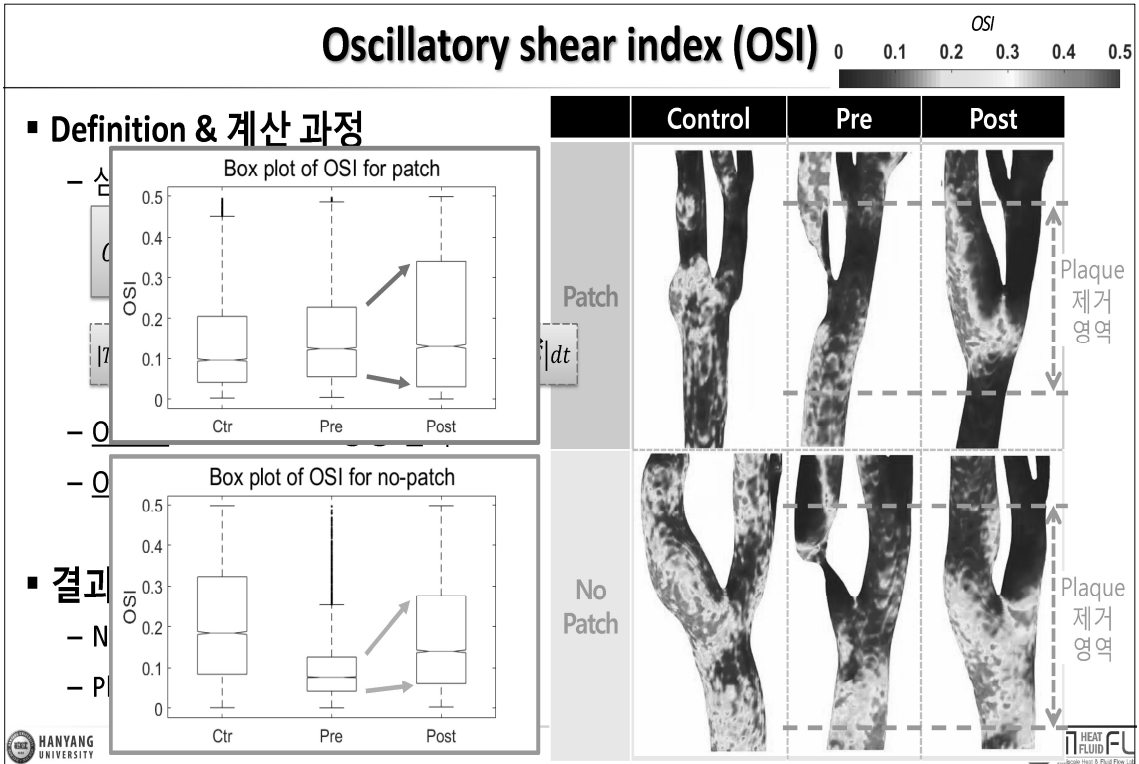
4D MRI를 이용한 3차원, 3성분 속도장 측정 결과

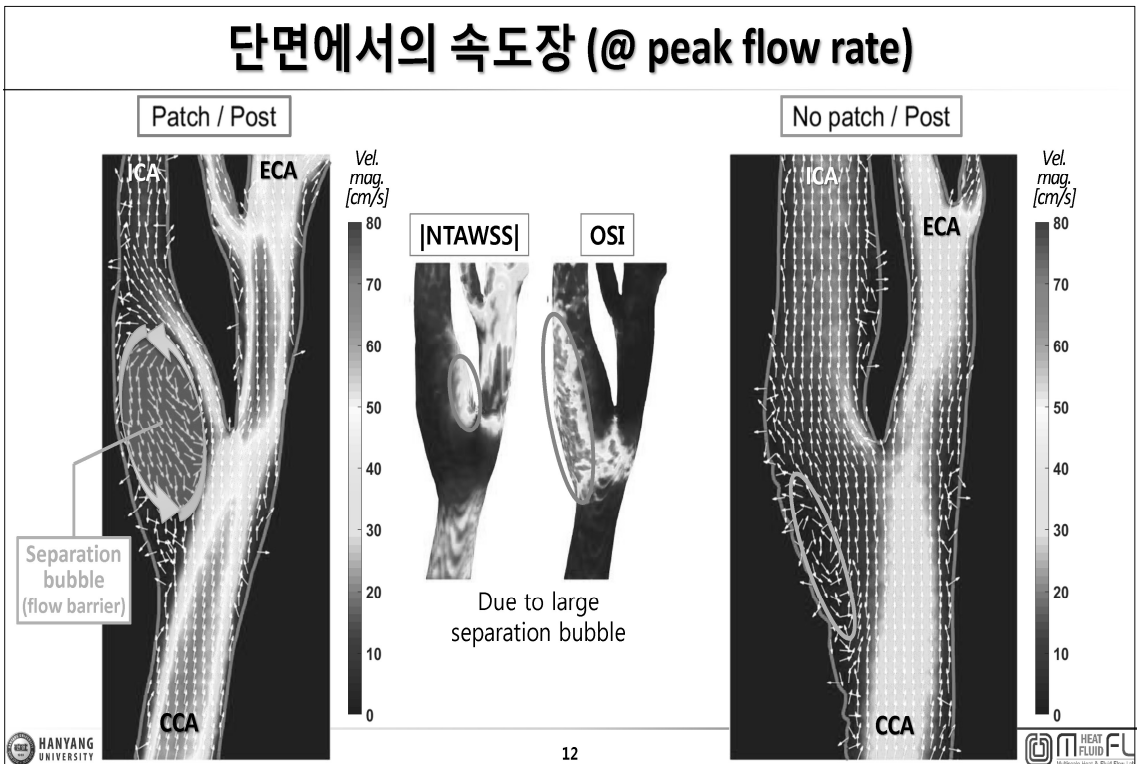
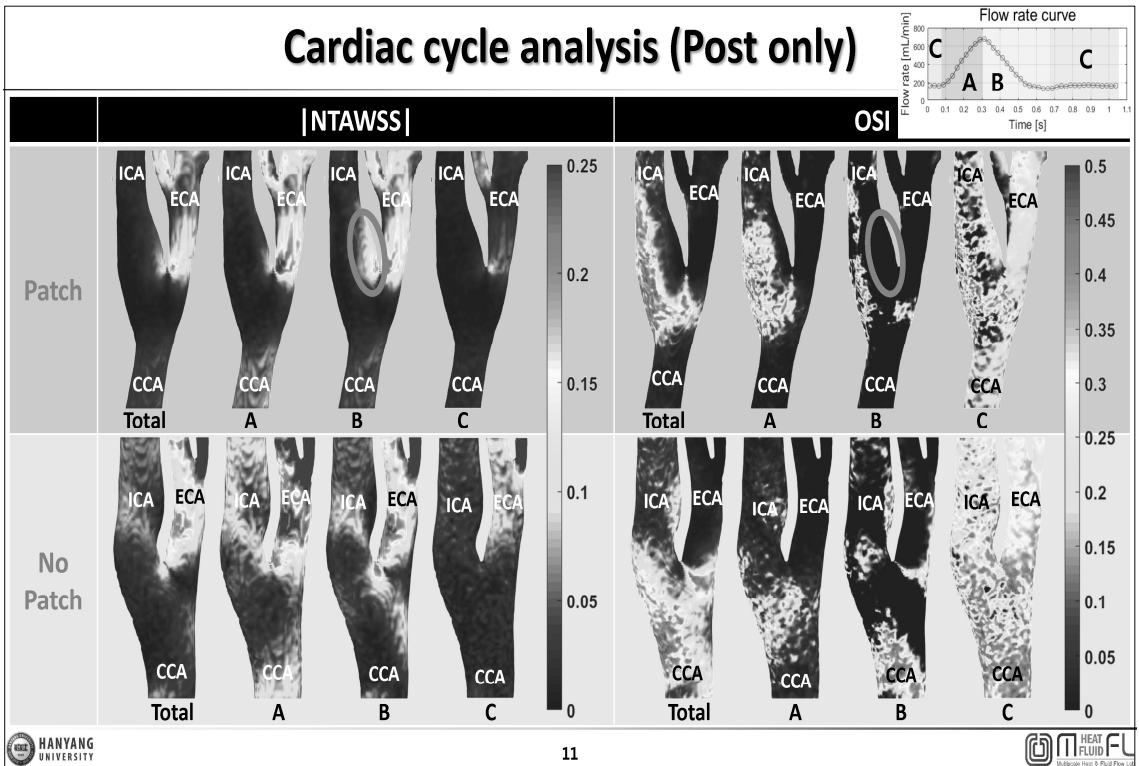


Normalized Time-Averaged Wall Shear Stress (NTAWSS)

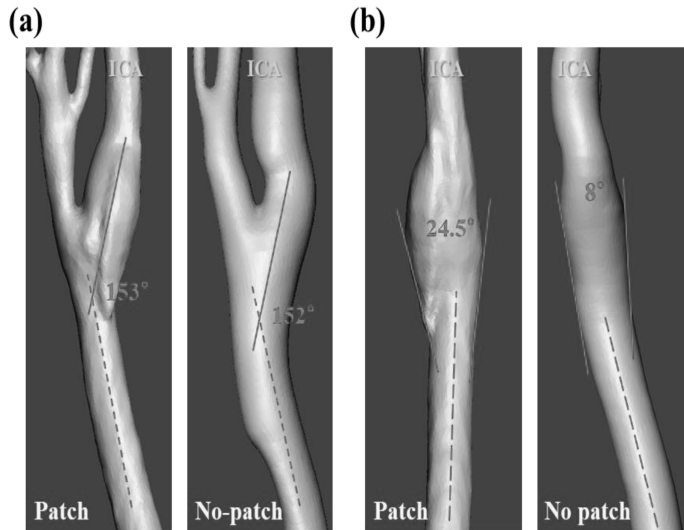
계산 과정







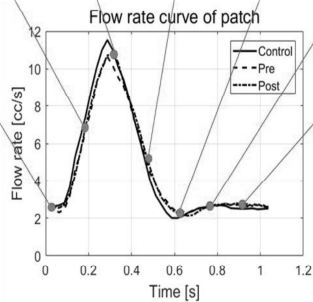
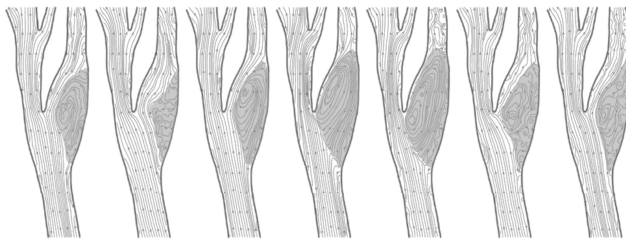
ICA spread angle of post-op. carotids



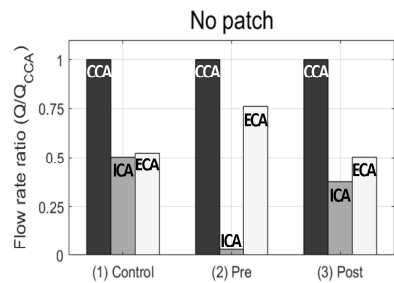
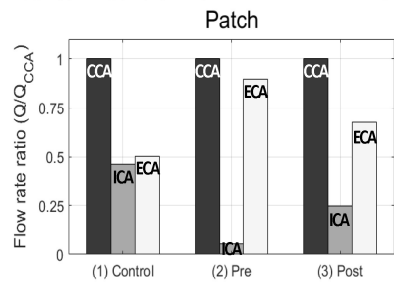
(a) Front, (b) Lateral

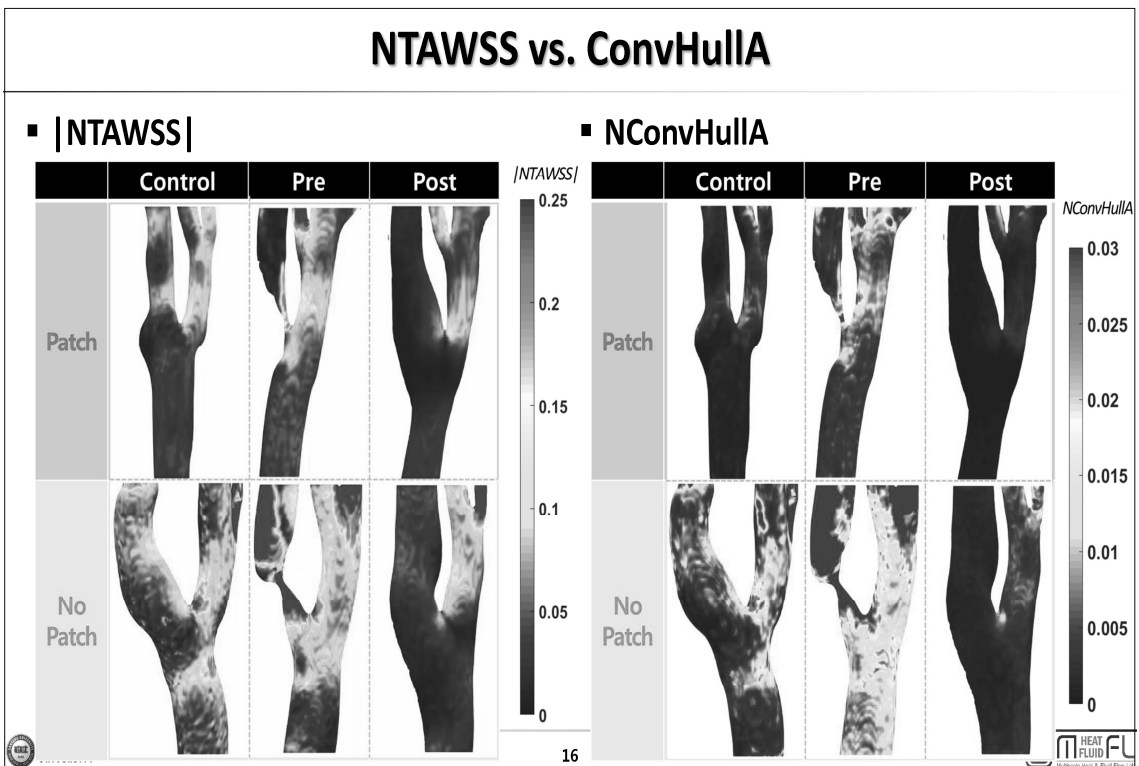
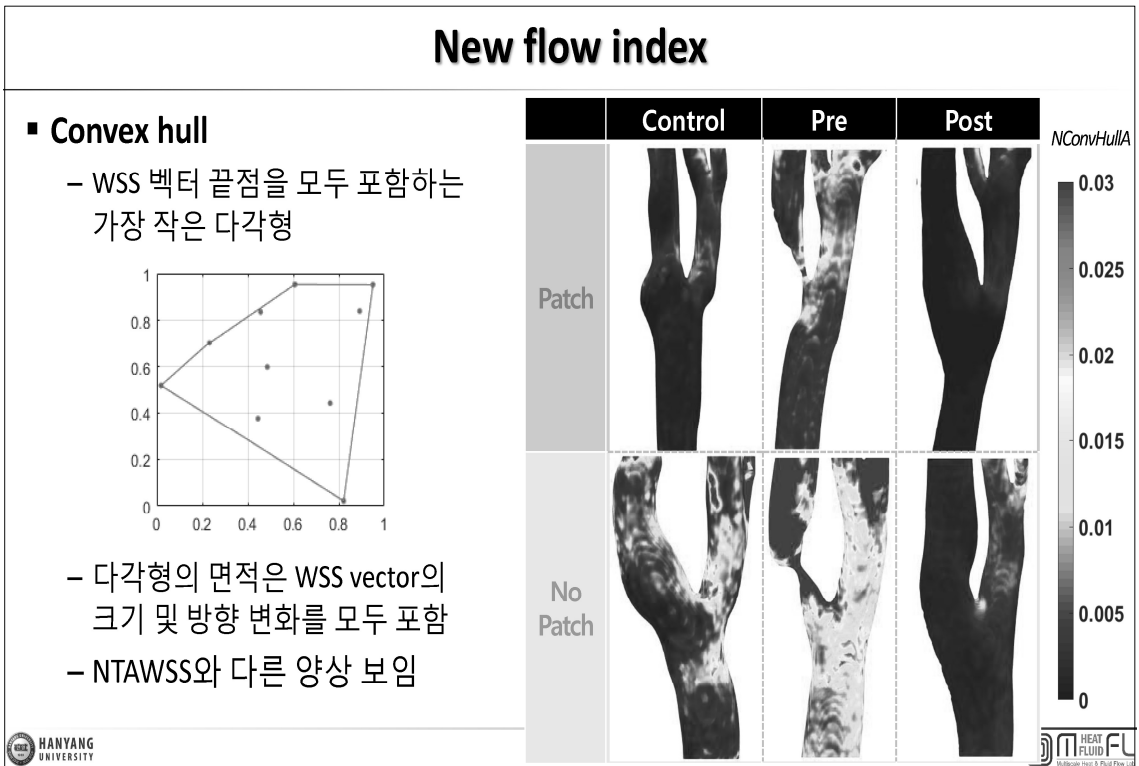
심장 주기에 따른 속도장 / 유량 비율 (Post only)

■ 심장 주기에 따른 단면에서의 streamline



■ 유량 비율 (@ peak flow rate)





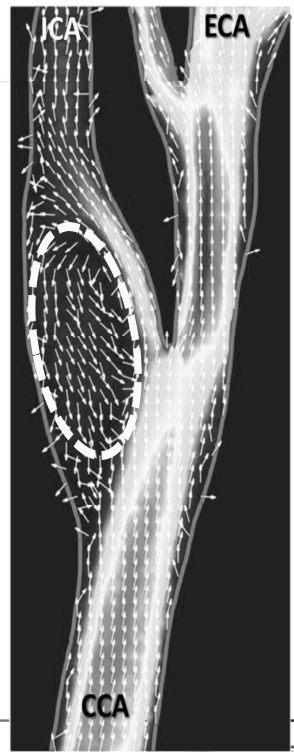
Summary / Future works

▪ Summary

- 패치 유무와 관계 없이 수술 이후 NTAWS 감소 (Control 보다는 낮게 감소)
- High OSI 영역과 plaque 제거 영역 일치
- Patch/Post 경동맥의 ICA에서 큰 separation bubble 발견됨
→ 유효한 ICA 유로 면적 감소
- 과도하게 큰 separation bubble을 향후 재협착의 원인으로 예상

▪ Future works

- 수술 1년, 2년 후 경동맥을 대상으로 실험 진행
→ Long-term 결과 확인
- 환자 수 ↑ / 새로운 유동 지표 발굴



Thank You!