

Laurea in Bioingegneria

Fluidodinamica nella carotide pre e post stenting

Candidato: **Raissa Corallo**

Relatore: **Prof. Michele Conti**

Anno accademico: 2016/2017

Università degli Studi di Pavia

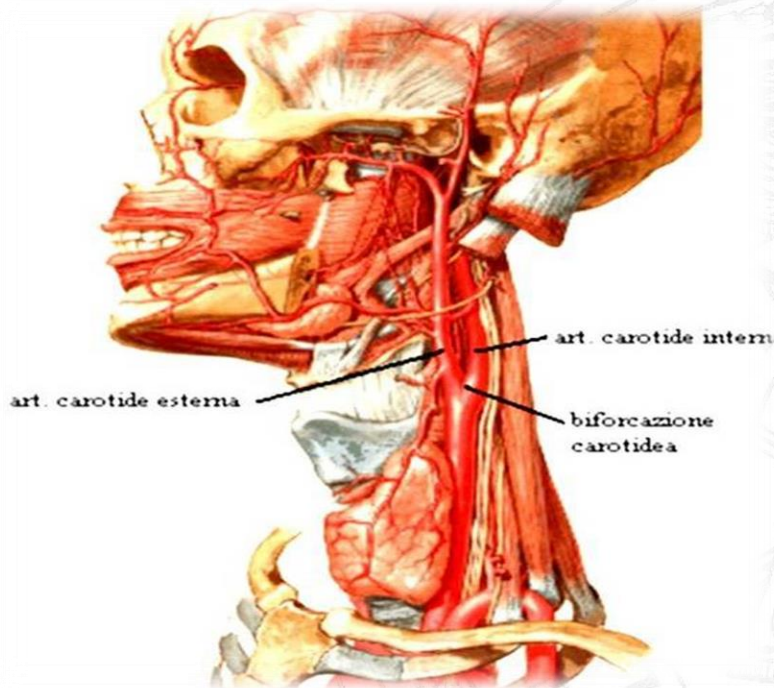
Sistema carotideo e stenosi

ARTERIA CAROTIDEA

Nasce dall'aorta e risale fino al collo

Costituita da:

- Due arterie carotidi comuni: **destra e sinistra**
- Due ramificazioni ciascuna: **interna** (entra nel cranio ed irrori i distretti cerebrali) ed **esterna** (rimane all'esterno del cranio ed irrori la faccia)



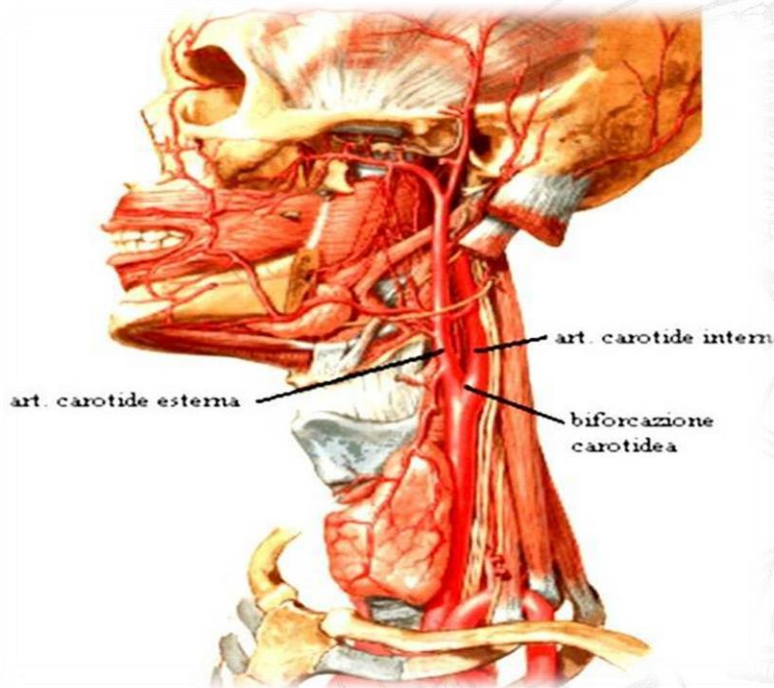
Sistema carotideo e stenosi

ARTERIA CAROTIDEA

Nasce dall'aorta e risale fino al collo

Costituita da:

- Due arterie carotidi comuni: **destra e sinistra**
- Due ramificazioni ciascuna: **interna** (entra nel cranio ed irrori i distretti cerebrali) ed **esterna** (rimane all'esterno del cranio ed irrori la faccia)



STENOSI

Restringimento del lume arterioso

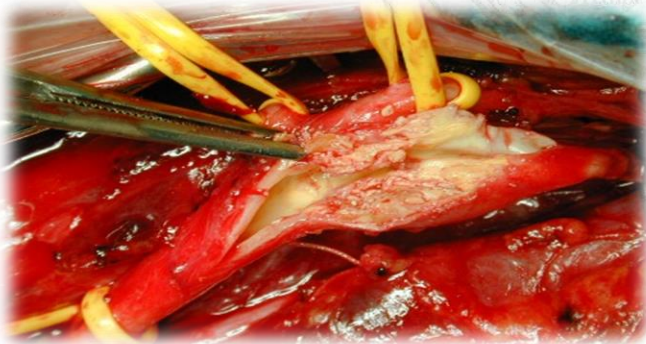
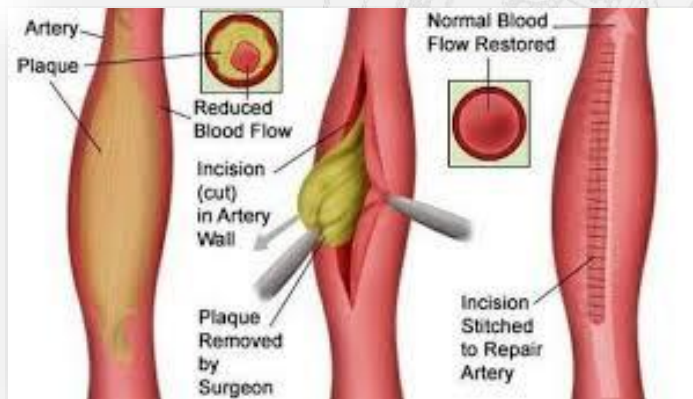
- **Cause:** Formazione di placche ateromasiche (grassi, proteine, tessuto fibroso) sulla parete del vaso.
- **Conseguenze:** minor apporto di sangue ai tessuti → ICTUS



placca determinante stenosi

Endoarteriectomia

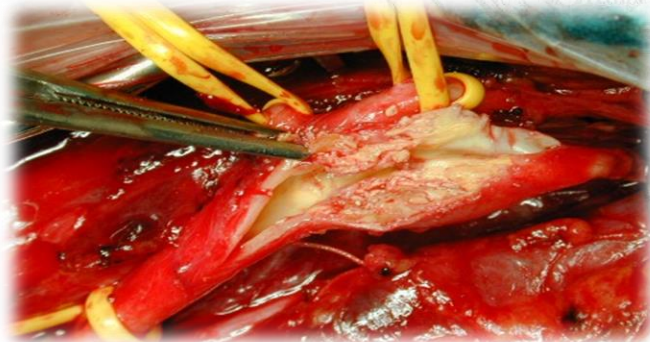
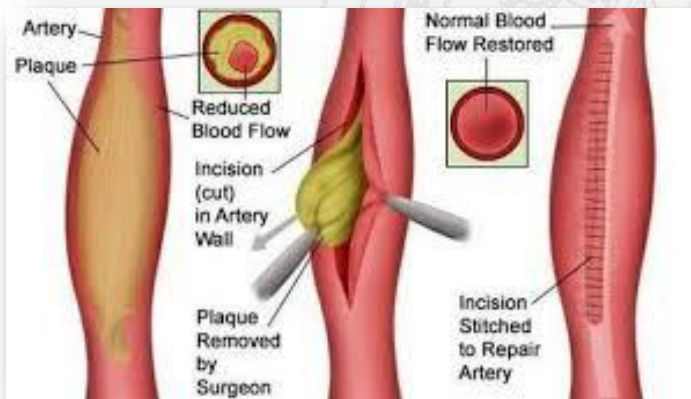
Rimozione chirurgica del materiale che ostruisce il vaso e dell'intima, il rivestimento interno dell'arteria.



Trattamento endovascolare e non

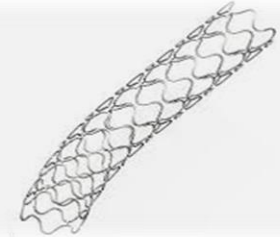
Endoarteriectomia

Rimozione chirurgica del materiale che ostruisce il vaso e dell'intima, il rivestimento interno dell'arteria.



Angioplastica con stent

Tubicino espandibile con struttura a rete metallica montato su un catetere a palloncino e inserito all'interno dell'arteria in corrispondenza dell'ateroma.

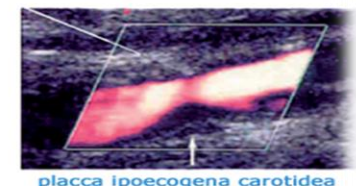
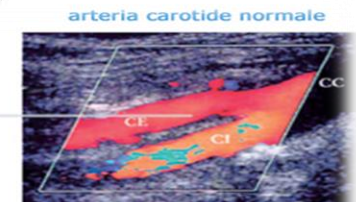
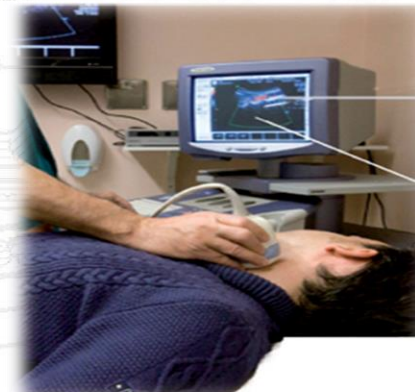


Placca stabilizzata ancorata alla parete

Stenosi: diagnosi e classificazione

Conferenza di consenso – San Francisco, Ottobre 2002*

- Convocata dalla Società dei Radiologi al fine di elaborare raccomandazioni per **diagnosticare e classificare** la stenosi ICA tramite eco Doppler
- Discussione incentrata sulla stenosi aterosclerotica dell'ICA appena oltre la biforcazione della carotide



* Edward G. Grand

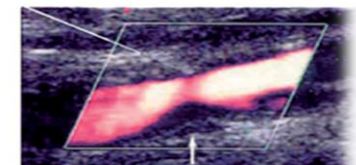
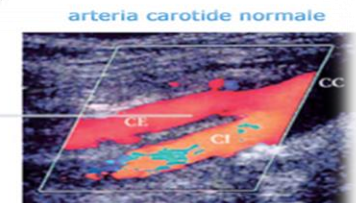
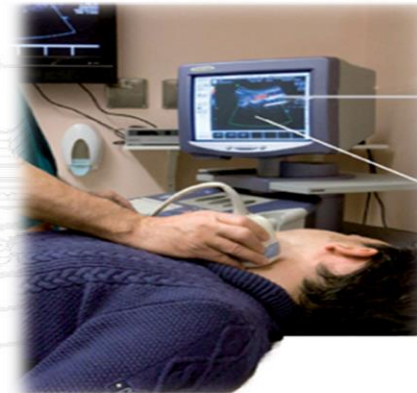
Stenosi: diagnosi e classificazione

Conferenza di consenso – San Francisco, Ottobre 2002*

- Convocata dalla Società dei Radiologi al fine di elaborare raccomandazioni per **diagnosticare e classificare** la stenosi ICA tramite eco Doppler
- Discussione incentrata sulla stenosi aterosclerotica dell'ICA appena oltre la biforcazione della carotide

Parametri utilizzati:

- **Analisi EMODINAMICA → DOPPLER:** Velocità Sistolica di Picco - **PSV ICA**
- **ECOGRAFIA:**
Presenza della placca aterosclerotica in immagini eco Doppler

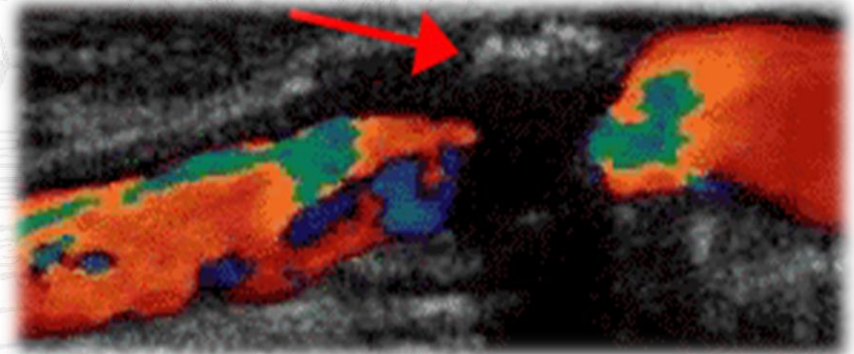
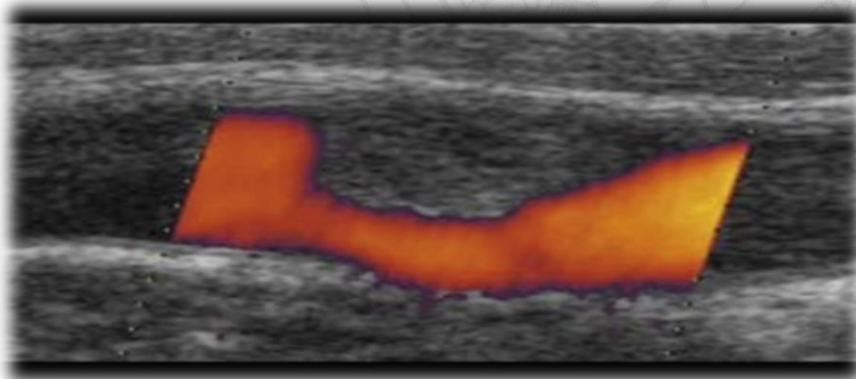


placca ipocogena carotide

* Edward G. Grand

Criteri di diagnostica

1. **ICA sana:** ICA PSV < 125cm/s senza rilevazione della placca o ispessimento dell'intima.
2. **Stenosi < 50%:** ICA PSV < 125cm/s con placca visibile
3. **Stenosi tra 50-69%:** ICA PSV tra 125-230cm/s con placca visibile
4. **Stenosi > 70% (prossima all'occlusione ICA):**
ICA PSV > 230cm/s con placca e restringimento del lume visibili
5. **ICA parzialmente occlusa:**
Nessun parametro di velocità applicabile (velocità inosservabile, elevate o basse) e lume arterioso fortemente ridotto
6. **ICA totalmente occlusa:**
Nessuna rilevazione del lume arterioso



Effetto geometrico della stenosi

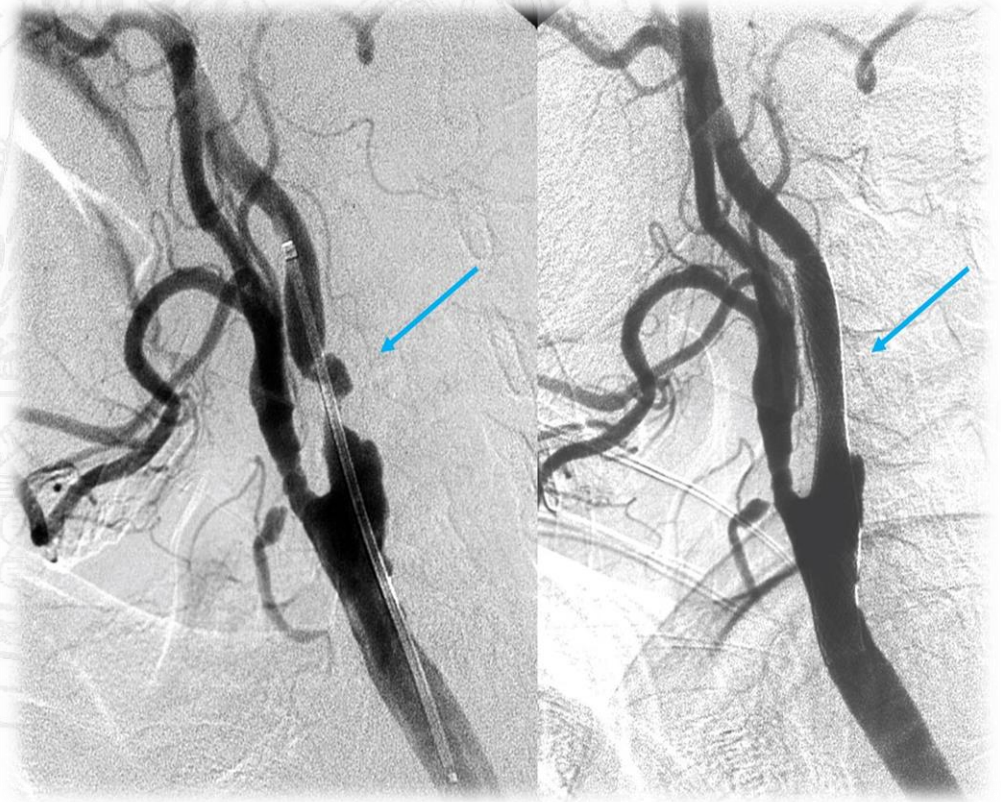
- **Geometria dell'arteria:** Diametro del bulbo carotideo
Angolo di biforcazione
Tortuosità della CCA

Prevedono in modo significativo l'esposizione al flusso disturbato a livello del bulbo carotideo.

In presenza di stenosi:
riduzione del diametro vasale



aumento controlaterale della portata



Effetto geometrico della stenosi

- **Geometria dell'arteria:** Diametro del bulbo carotideo
Angolo di biforcazione
Tortuosità della CCA

Prevedono in modo significativo l'esposizione al flusso disturbato a livello del bulbo carotideo.

In presenza di stenosi:
riduzione del diametro vasale

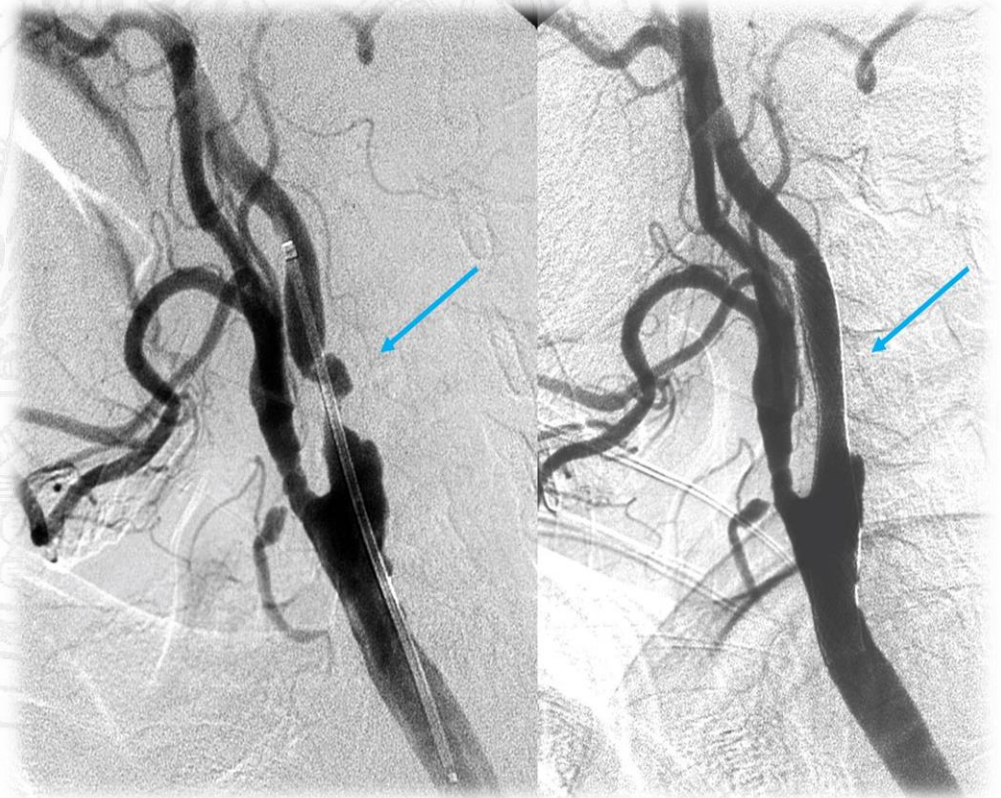


aumento controlaterale della portata

- ❖ Da un punto di vista clinico:
Considerazioni geometriche



Considerazioni fluidodinamiche:
effetto della stenosi sul flusso ematico



Effetto fluidodinamico della stenosi

Qual è l'effetto fluidodinamico della stenosi?

➤ WSS (Wall Shear Stress):

Sforzo di Taglio a Parete - **Gradiente delle velocità** del flusso locale in prossimità della parete moltiplicato per la viscosità del sangue



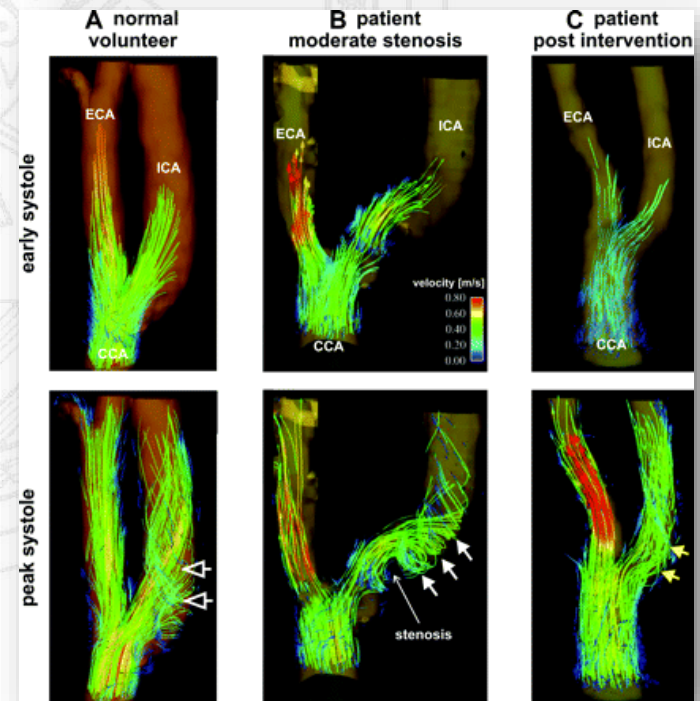
Forza d'attrito per area esercitata sulla parete del vaso dal sangue

- WSS basso e oscillatorio: **aterogeno**
- WSS intenso senza placca: **ateroprotettivo**
- WSS intenso con placca: **accrescimento**

➤ LNH (Localized Normalized Helicity):

Indice di **flusso elicoidale** del sangue.

- LNH in carotide sana: **alta elicità** ➔ **ateroprotettivo**
- LNH in carotide stenotica: **meno elicoidale** ➔ **diminuzione effetto protettivo**

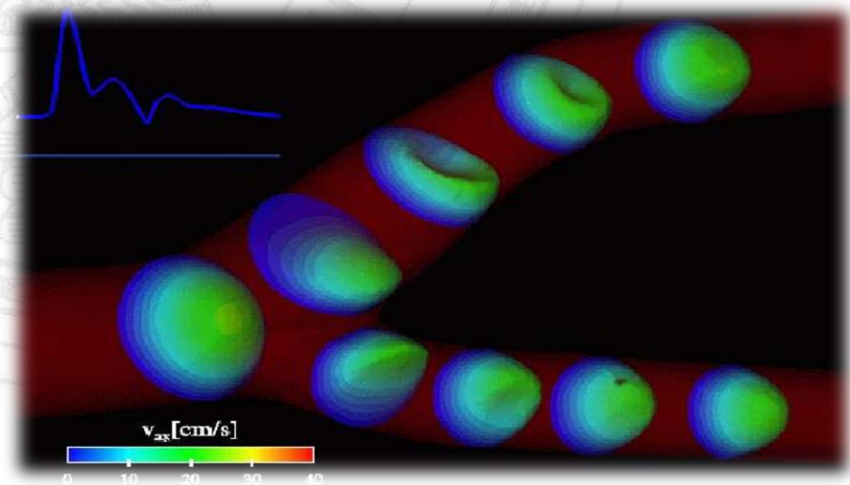


Fluidodinamica computazionale (CFD)

Valutazione dei parametri tramite simulazioni CFD patient-specific



Analisi di sistemi di equazioni differenziali che descrivono movimento di fluidi, scambio di calore e fenomeni relativi attraverso l'uso di simulazioni tramite computer



Fluidodinamica computazionale (CFD)

Valutazione dei parametri tramite simulazioni CFD patient-specific

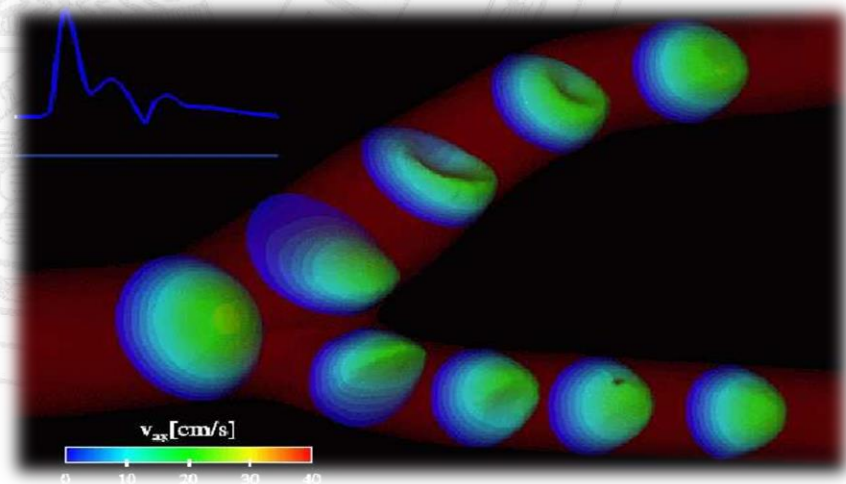


Analisi di sistemi di equazioni differenziali che descrivono movimento di fluidi, scambio di calore e fenomeni relativi attraverso l'uso di simulazioni tramite computer

❑ OBIETTIVI:

Risoluzione di equazioni di fluidodinamica (Navier-Stokes) considerando il sangue come un fluido:

- Continuo
- Omogeneo
- Incomprimibile
- Newtoniano



Fluidodinamica computazionale (CFD)

Valutazione dei parametri tramite simulazioni CFD patient-specific



Analisi di sistemi di equazioni differenziali che descrivono movimento di fluidi, scambio di calore e fenomeni relativi attraverso l'uso di simulazioni tramite computer

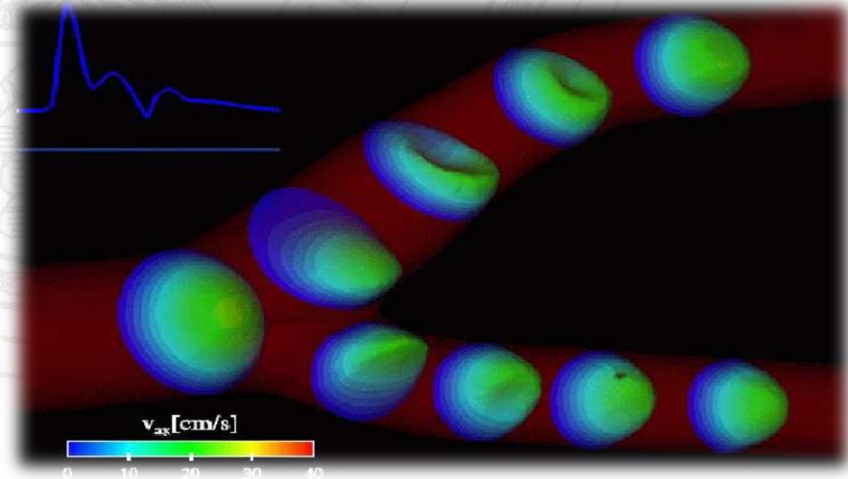
❑ OBIETTIVI:

Risoluzione di equazioni di fluidodinamica (Navier-Stokes) considerando il sangue come un fluido:

- Continuo
- Omogeneo
- Incomprimibile
- Newtoniano

❑ STRUMENTI:

Algoritmi
Analisi numerica



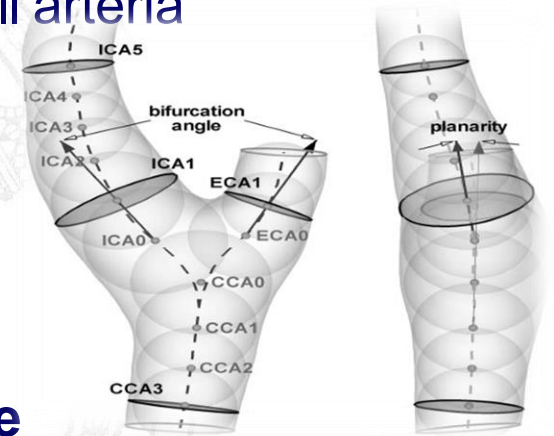
Presentazione della letteratura

- Considerazioni sulla geometria dell'arteria:

Geometry of the Carotid Bifurcation Predicts Its Exposure to Disturbed Flow – Importanza della geometria dell'arteria

Autore: Sang-Wook Lee

Anno pubblicazione: 2008

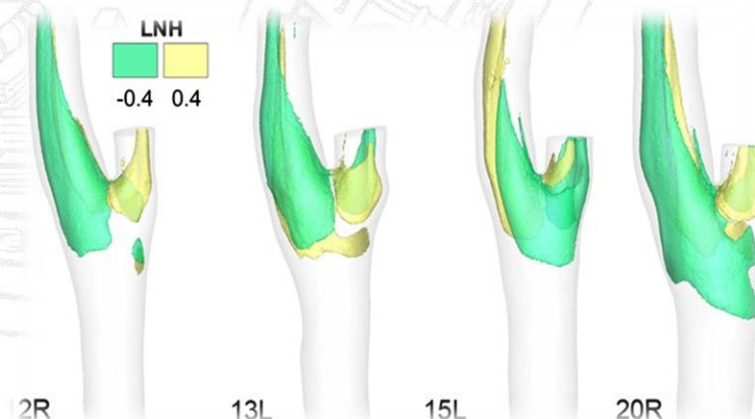


- Considerazioni fluidodinamiche:

Helical flow in carotid bifurcation as surrogate marker of exposure to disturbed shear - Ruolo dell'LNH (indice di elicITÀ)

Autore: Diego Gallo

Anno pubblicazione: 2012



Geometry of the Carotid Bifurcation Predicts Its Exposure to Disturbed Flow (Lee-2008)

➤ Obiettivi

Stabilire una relazione tra: **flusso disturbato - geometria del lume.**

Flusso disturbato



area di superficie esposta a WSS basso e oscillatorio

Caratteristiche geometriche



marcatori surrogati di WSS (più facili da misurare) potrebbero essere in grado di prevedere il rischio di formazione della placca aterosclerotica

➤ Metodi

- Simulazioni CFD sulla geometria di 50 biforcazioni carotidee (destra e sinistra) a partire da immagini MRI di 25 giovani adulti (19-38 anni).

Condizioni al bordo per la simulazione CFD:

- prima definite su una portata corrispondente alle dimensioni medie dell'ICA e della CCA;
 - poi adattata alle dimensioni della CCA e ICA di ciascun caso.
- Analisi statistiche: modello di regressione multipla

Geometry of the Carotid Bifurcation Predicts Its Exposure to Disturbed Flow (Lee-2008)

➤ Risultati

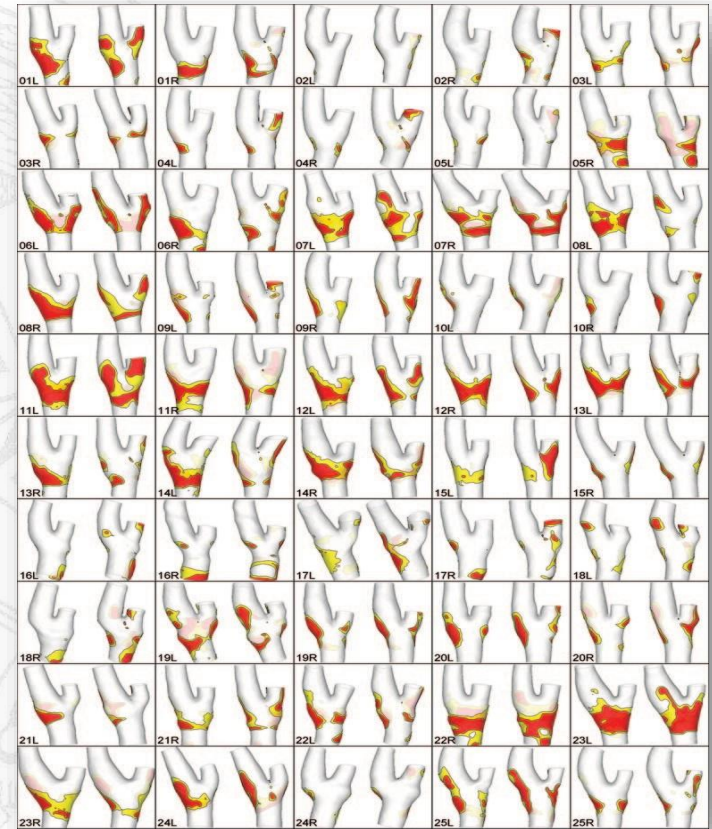
- Nella maggior parte dei casi il flusso disturbato si trova vicino alla biforcazione o nelle pareti esterne di ICA e ECA
- In altri casi non è presente

Modello di regressione: flusso disturbato



Relazione con: tortuosità della biforcazione
rapporto di area prossimale

Nessuna relazione con: angolo di biforcazione
rapporto di area distale
planarità



Geometry of the Carotid Bifurcation Predicts Its Exposure to Disturbed Flow (Lee-2008)

➤ Risultati

- Nella maggior parte dei casi il flusso disturbato si trova vicino alla biforcazione o nelle pareti esterne di ICA e ECA
- In altri casi non è presente

Modello di regressione: flusso disturbato



Relazione con: tortuosità della biforcazione
rapporto di area prossimale

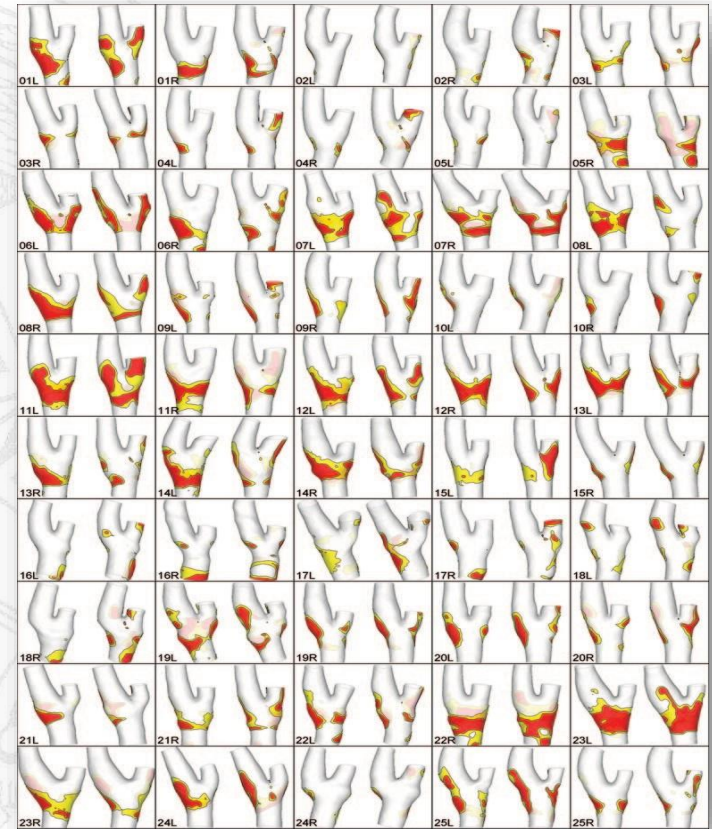
Nessuna relazione con: angolo di biforcazione
rapporto di area distale
planarità

➤ Conclusioni

Fattori geometrici: buoni marcatori surrogati all'esposizione al flusso disturbato



Possibilità di individuare fattori di rischio locali direttamente dalle immagini cliniche senza bisogno di immagini di flusso (costosi) o studi CFD



Helical flow in carotid bifurcation as surrogate marker of exposure to disturbed shear (Gallo-2012)

➤ Obiettivo

Dimostrare che LNH è un buon surrogato all'esposizione della parete del vaso al flusso disturbato

➤ Metodi

Analoghi a quelli dello studio di Lee: studi CFD per ciascuna biforcazione



analisi dei parametri emodinamici: WSS e LNH

➤ Risultati

Variazione interindividuale



Del WSS basso e oscillatorio:

- localizzato intorno alle pareti esterne dell'ICA e dell'ECA
- in altri casi nella regione di biforcazione
- in altri ancora non è presente nessun WSS

Della distribuzione dell'LNH:

- LNH comunque presente in tutte le biforcazioni

Analogia studio di Lee

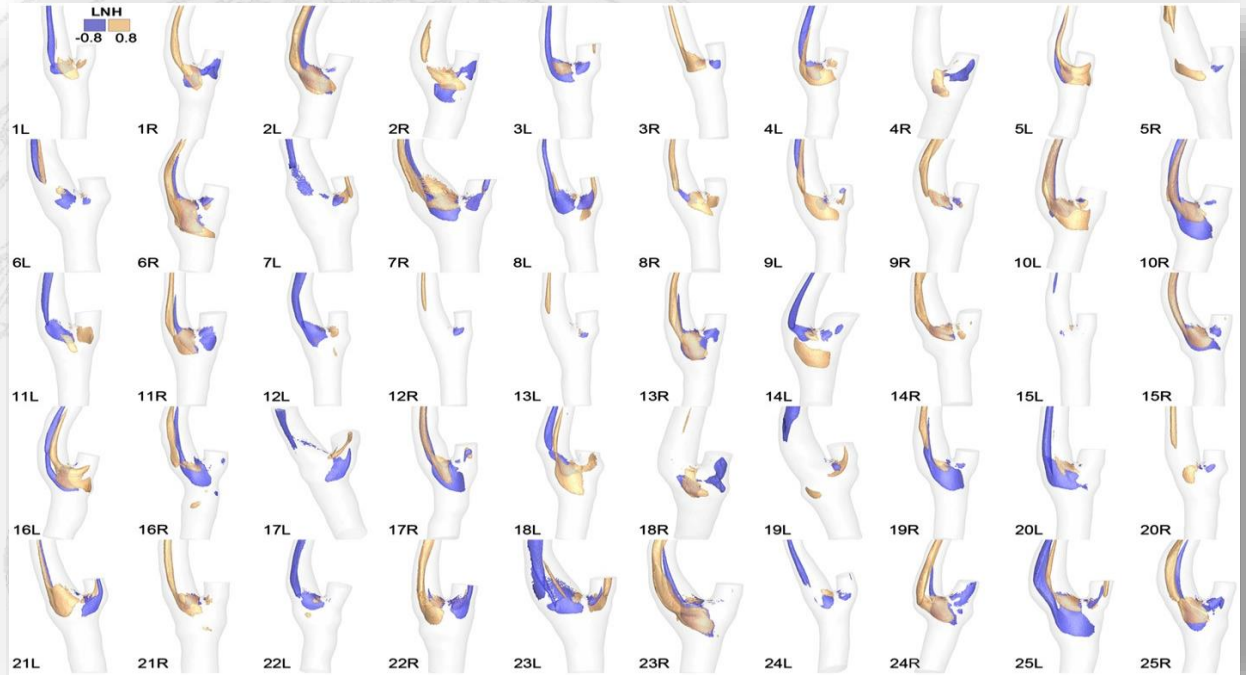
Helical flow in carotid bifurcation as surrogate marker of exposure to disturbed shear (Gallo-2012)

➤ Risultati

Distribuzione LNH



- più elicoidale nelle carotidi di destra
- meno nelle carotidi di sinistra



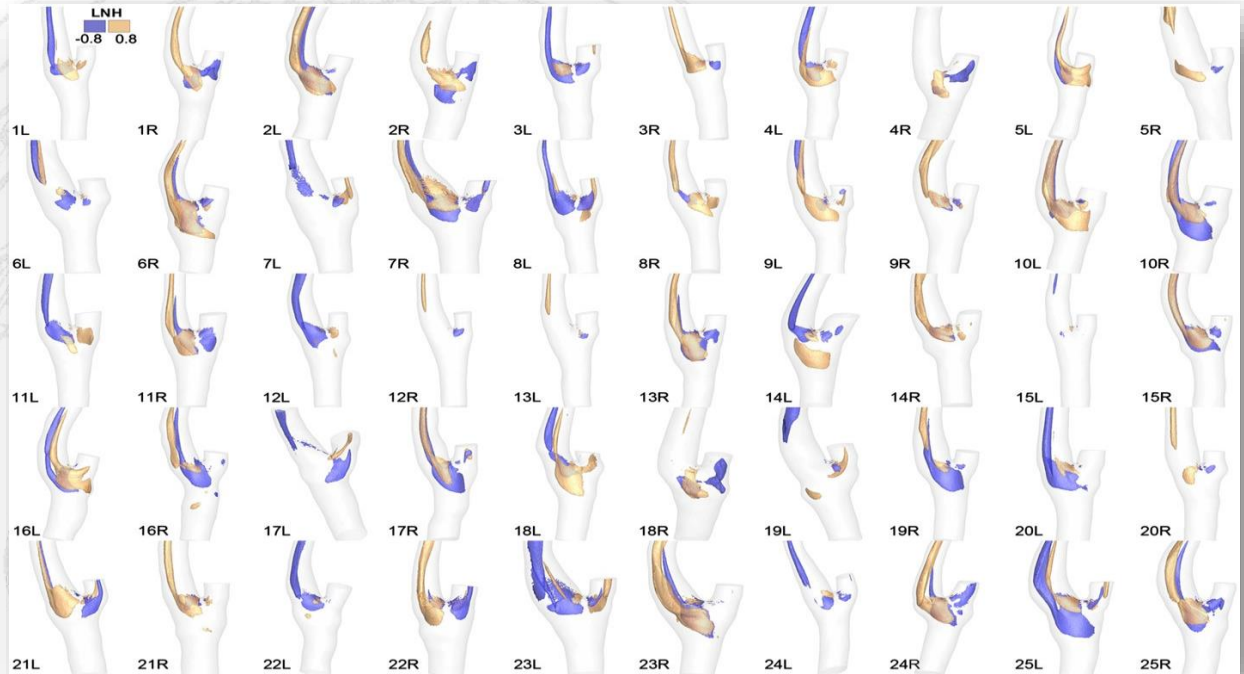
Helical flow in carotid bifurcation as surrogate marker of exposure to disturbed shear (Gallo-2012)

➤ Risultati

Distribuzione LNH



- più elicoidale nelle carotidi di destra
- meno nelle carotidi di sinistra



➤ Conclusioni

LNH: miglior marcatore surrogato all'esposizione al flusso disturbato rispetto alla geometria

- Elicità elevata importante per sopprimere il flusso disturbato a livello della biforcazione carotidea
- Diminuzione effetto protettivo quando nel flusso domina una direzione di rotazione.

Studio prospettico a sostegno dello stenting*



Obiettivo

Impianto stent carotideo



Miglioramento della perfusione cerebrale



Deterioramento Cognitivo Lieve - Demenza

Gruppo sottoposto a stenting

Miglioramento perfusione
cerebrale ipsilaterale



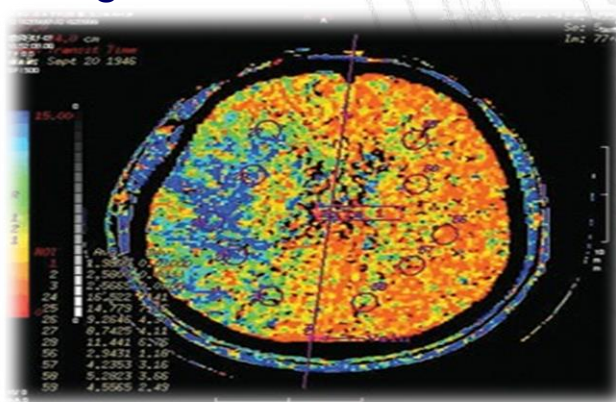
Miglioramento funzione cognitiva

Gruppo controllo

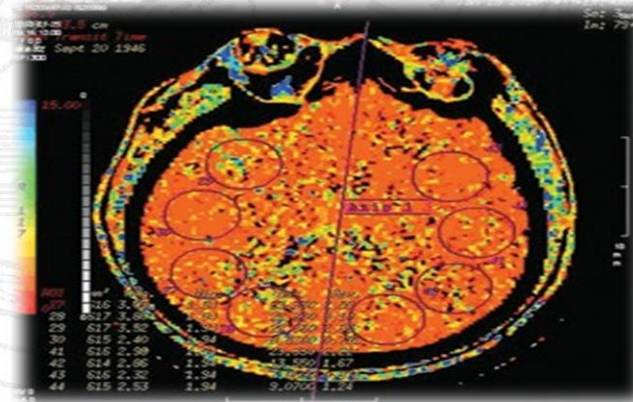
Nessun trattamento



Nessun miglioramento



TCP prima dell'intervento



TCP 3 settimane dopo impianto STENT

Problematiche post stenting: aspetti ingegneristici

➤ Complessa ricostruzione post-operatoria della geometria dello stent



- interferenze causate dalla composizione metallica
- insufficiente risoluzione immagini mediche



Analisi emodinamica post operatoria con CFD compromessa

Problematiche post stenting: aspetti ingegneristici

➤ Complessa ricostruzione post-operatoria della geometria dello stent



- interferenze causate dalla composizione metallica
- insufficiente risoluzione immagini mediche



Analisi emodinamica post operatoria con CFD compromessa



SOLUZIONE: riproduzione realistica del modello di stent su cui compiere CFD

Problematiche post stenting: aspetti ingegneristici

➤ Complessa ricostruzione post-operatoria della geometria dello stent



- interferenze causate dalla composizione metallica
- insufficiente risoluzione immagini mediche



Analisi emodinamica post operatoria con CFD compromessa



SOLUZIONE: riproduzione realistica del modello di stent su cui compiere CFD

Analisi emodinamica post stenting: oggetto di studio

GRAZIE PER L'ATTENZIONE



