

MODELAGEM HEMODINÂMICA DE MAVs COM FOCO EM DESIGN DE NANOSSISTEMAS PARA EMBOLIZAÇÃO

Tebaldi, B. S.*¹; Silva-Calpa L. del R.¹; Balbino, T. A.¹

¹ Programa de Engenharia da Nanotecnologia – PENt - UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: bruna.santuzzi@coppe.ufrj.br

Palavras-chave: Malformações Arteriovenosas (MAVs), modelagem hemodinâmica e vascular, Fluidodinâmica Computacional (CFD), nanossistemas embolizantes.

Malformações arteriovenosas (MAVs) são anomalias vasculares com comunicações diretas entre artérias e veias, sem interposição do leito capilar de alta resistência [1]. Como resultado, o sangue arterial em alta pressão escoava para o sistema venoso de menor pressão, elevando anormalmente a velocidade do fluxo [2] e predispondo a hemorragias e à hipóxia dos tecidos adjacentes [3]. Essa circulação patológica pode ocorrer por fístulas isoladas ou por um emaranhado de vasos híbridos que forma o ninho (“nidus”) [4]. As MAVs variam amplamente em tamanho e localização, diferindo quanto à angioarquitetura, ao número de artérias nutridoras, ao padrão e à quantidade de veias de drenagem, bem como à configuração e ao volume do núcleo [5].

O principal método de tratamento das MAVs, conforme relatado na literatura, é a embolização, que consiste na introdução de um agente embólico inerte por meio de um microcateter, com o objetivo de obstruir ou reduzir o fluxo sanguíneo nos vasos acometidos, retirando-os efetivamente da circulação sistêmica [6]. No entanto, os agentes embólicos atualmente utilizados na prática clínica, como os cianoacrilatos e copolímeros de EVOH, apresentam algumas limitações. Entre elas estão a vasotoxicidade e o vasoespasmos, efeitos adversos fora do alvo, ausência de radiopacidade, toxicidade local, risco de fragmentação, uso de solventes tóxicos e liberação de componentes nocivos [7], fatores estes que demandam maior atenção. Nesse contexto, a nanotecnologia surge como uma alternativa promissora e digna de destaque para contornar essas limitações e promover maior eficácia e precisão.

Por meio de simulações hemodinâmicas utilizando Fluidodinâmica Computacional (CFD) em um estudo de caso foi possível analisar o perfil de escoamento ao longo destes vasos, a partir de modelos tridimensionais gerados pela segmentação de imagens médicas. A análise revelou variáveis críticas como pontos de estagnação, transição de regime de fluxo, forças de arraste, velocidades, tensões de cisalhamento e diferenças nos gradientes de

pressão, fundamentais para o planejamento de estratégias de embolização com nanossistemas (Figura 1).

A fidelidade do modelo depende da obtenção de imagens médicas de alta resolução, essenciais para representar com precisão a anatomia vascular e sustentar simulações robustas. A reconstrução tridimensional foi viabilizada por ferramentas de segmentação, suavização e exportação de arquivos STL para simulações no software COMSOL de Métodos de Elementos Finitos (FEM), permitindo prever o impacto de intervenções na hemodinâmica local.

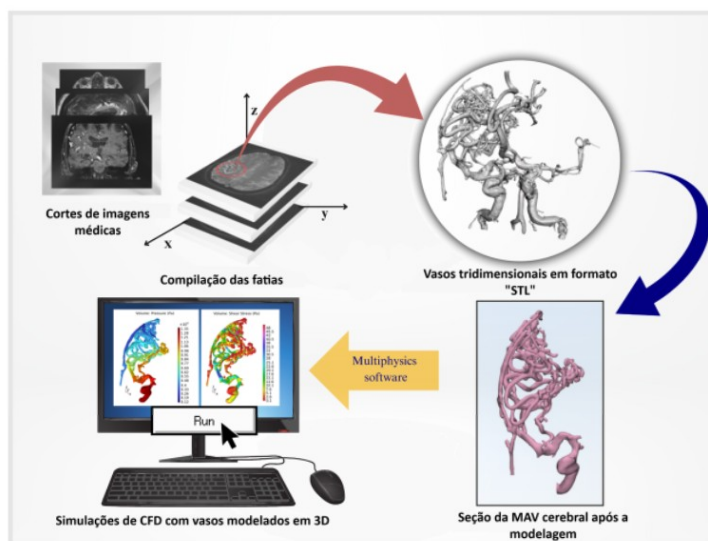


Figura 1: Passo a passo das principais etapas envolvidas na modelagem e importe da estrutura vascular pra condução das simulações hemodinâmicas.

Os estudos funcionaram como modelos preditivos para o comportamento e escoamento de nanossistemas a serem desenvolvidos, permitindo a identificação de locais ideais para administração e seleção de sistemas terapêuticos adequados. Mesmo diante de limitações clínicas no estudo de caso, padrões relevantes foram identificados nas artérias carótidas e na região do "shunt".

Etapas futuras incluirão a ampliação da base de dados de imagens, desenvolvimento de modelos personalizados e integração de simulações acopladas de fluxo pulsátil e deformação vascular. A inclusão de parâmetros elásticos contribuirá para avaliar com maior precisão a biomecânica vascular e fortalecerá a aplicação clínica de nanossistemas embolizantes.

REFERÊNCIAS

1. Kappel, A. D.; See, A. P.; Smith, E. R. Pediatric Vascular Malformations. In: *Pediatric Neurosurgery Board Review: A Comprehensive Guide*. Springer International Publishing,

Cham, p. 159 – 182, 2023.

2. Bonarigo, Elizabeth M.; Cavaliere, Raymond G. surgical management of arteriovenous malformation in the foot: A case study. *The Journal of Foot and Ankle Surgery*, v. 60, n. 1, p. 146-151, 2021.

3. Strübing, Felix F. *et al.* Interdisciplinary management of peripheral arteriovenous malformations: review of the literature and current proceedings. *Journal of Plastic Surgery and Hand Surgery*, v. 56, n. 1, p. 1-10, 2022.

4. Yakes, W. F. B. I.; Baumgartner, I. Interventional treatment of arteriovenous malformations. *Gefäßchirurgie*, 19(4), p. 325 – 330, 2014.

5. Aboukais R.; *et al.* Is malignant edema and hemorrhage after occlusion of high-flow arteriovenous malformation related to the size of feeding arteries and draining veins? *Neurochirurgie*, 68(5), p. e1–e7, 2022.

6. Dahl, Rasmus H. *et al.* Snaring of a glued microcatheter during embolization of an arteriovenous malformation with N-butyl cyanoacrylate. *World Neurosurgery*, v. 120, p. 343-348, 2018.

7. Jang, Chang Ki *et al.* Scepter dual-lumen balloon catheter for Onyx embolization for dural arteriovenous fistula. *BMC neurology*, v. 21, p. 1-7, 2021.

COPPE, CNPq, CAPES