

## Estimação de condições de contorno para simulações coronarianas

Diovana de Oliveira Mussolin<sup>1</sup>, Luis Alonso Mansilla Alvarez<sup>2</sup>, Pablo Javier Blanco<sup>3</sup>

Laboratório Nacional de Computação Científica - LNCC, Petrópolis, Brasil.

Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Medicina Assistida por Computação Científica, INCT-MACC.

O uso de ferramentas da computação científica na medicina preditiva tem se tornado cada vez mais relevante, devido às suas capacidades comprovadas de reproduzir condições fisiológicas, simular situações patológicas, prever e correlacionar quantidades físicas, outrora inacessíveis, derivadas da simulação do escoamento sanguíneo com o aparecimento e a evolução de doenças como arteriosclerose ou acidentes vasculares cerebrais.

Considerando o sangue como um fluido newtoniano, a hemodinâmica em regiões arteriais específicas é descrita por meio da resolução das equações de Navier-Stokes na região de interesse, que é isolada do sistema cardiovascular completo. Embora isolar a região vascular possibilite a solução numérica do problema, reduzindo o tempo computacional e os recursos físicos necessários, essa abordagem cria fronteiras artificiais nos locais em que a região arterial estava conectada ao sistema completo.

A correta descrição das condições de contorno em simulações hemodinâmicas passa pela estimação de quantidades como pressão e vazão de forma específica para cada indivíduo. Uma estratégia para conseguir isso é a calibração de parâmetros em fórmulas que associam a vazão nas fronteiras artificiais com dados fisiológicos (por exemplo, peso e altura de cada paciente) e descritores geométricos da região vascular. No entanto, a identificação e calibração desses parâmetros permanece como uma área aberta devido à diversos fatores tais como: (i) o alto custo computacional inerente à simulações tridimensionais, (ii) o número limitado de dados fisiológicos/geométricos disponíveis e (iii) a possível complexidade subjacente às relações entre os parâmetros e as condições de contorno (no exemplo aqui, a vazão).

Diversas opções tem sido propostas na literatura na busca de descrever o débito cardíaco em função de parâmetros fisiológicos, ver por exemplo [1–4], porém em função de parâmetros de difícil obtenção, como o consumo médio de oxigênio ou a área superficial do ventrículo. Por outro lado, a distribuição da vazão de entrada pelos ramos filhos é comumente realizada utilizando leis de proporção entre vazão em cada saída com o diâmetro de cada ramo. Uma das opções mais populares é a conhecida Lei de Murray, que postula que a vazão em cada saída é proporcional ao diâmetro da mesma elevada à potência 3 [5, 6]. Embora seja uma das relações mais utilizadas, a evidência na literatura mostra que a potência de 3 na Lei de Murray produz resultados inconsistentes quando comparados com dados aferidos em pacientes reais. Isso sugere a necessidade de adaptar esse valor para um menor ou, possivelmente, considerá-lo dependente de cada geometria/paciente.

Nesse trabalho, nossa atenção será direcionada ao terceiro ponto, no qual exploraremos diversas relações algébricas propostas para descrever o fluxo entrante em árvores coronárias a partir de parâmetros fisiológicos e, também a forma como essa vazão é distribuída pelos segmentos terminais. Para atingir esse objetivo, utilizamos um conjunto de 25 geometrias coronarianas e avaliamos a

---

<sup>1</sup>diovanam@posgrad.lncc.br

<sup>2</sup>lalvarez@lncc.br

<sup>3</sup>pjblanco@lncc.br

pressão e comparamos com valores aferidos *in-vivo* por meio de cateterismo. Para cada relação, calibramos os parâmetros a fim de obter uma representação simplificada que pode ser utilizada em simulações tridimensionais complexas.

## Agradecimentos

Agradecemos o apoio das agências de fomento CAPES e CNPq que financiam o estudo com auxílio a pesquisa.

## Referências

- [1] A. G. V. Giessen, H. C. Groen, P. A. Doriot, A. F. W. Feyter P. J. van der Steen, F. N. Vosse, J. J. Wentzel e F. J. H. Gijzen. “The influence of boundary conditions on wall shear stress distribution in patients specific coronary trees”. Em: **Journal of Biomechanics** 44 (2011), pp. 1089–1095. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2011.01.036.
- [2] M. Gupta, Y. Hacioglu, J. Kadakia, N. Ahmadi, Yanlin Gao e S. S. Mao. “Left ventricular volume: an optimal parameter to detect systolic dysfunction on prospectively triggered 64-multidetector row computed tomography: another step towards reducing radiation exposure”. Em: **The International Journal of Cardiovascular Imaging** 27 (2011), pp. 1015–1023. DOI: 10.1007/s10554-010-9740-y.
- [3] I. A. Fayssal, F. Moukalled e H. Alam S. Isma’eel. “An Outflow Boundary Condition Model for Noninvasive Prediction of FFR in Diseased Coronary Arteries”. Em: **Journal of Biomechanical Engineering** 140 (2017). DOI: 10.1115/1.4038250.
- [4] C. A. Bulant, P.J. Blanco, G.D. Maso Talou, C. G. Bezerra, P.A. Lemos e R.A. Feijóo. “A head-to-head comparison between CT- and IVUS-derived coronary blood flow models”. Em: **Journal of Biomechanics** 51 (2017), pp. 65–76. DOI: 10.1016/j.jbiomech.2016.11.070.
- [5] B. Trachet, J. Bols, G. De Santis, S. Vandenberghe, B. Loeys e P. Segers. “The Impact of Simplified Boundary Conditions and Aortic Arch Inclusion on CFD Simulations in the Mouse Aorta: A Comparison With Mouse-specific Reference Data”. Em: **Journal of Biomechanical Engineering** 133 (2011). DOI: 10.1115/1.4005479. URL: <https://doi.org/10.1115/1.4005479>.
- [6] C. Cheng, F. Helderma, D. Tempel, D. Segers, B. Hierck, R. Poelmann, A. Van Tol, D. J. Duncker, D. Robbers-Visser, N. T. C. Ursem, R. Van Haperen, J. J. Wentzel, F. Gijzen, A. F. W. Van Der Steen, R. De Crom e R. Krams. “Large variations in absolute wall shear stress levels within one species and between species”. Em: **Atherosclerosis** 195 (2007), pp. 225–235. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2006.11.019. URL: <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2006.11.019>.