



Universitatea *Transilvania* din Braşov

TEZĂ DE ABILITARE
REZUMAT

Metode Computaţionale în Medicina Cardiovasculară Personalizată

Domeniul: Ingineria Sistemelor

Autor: Şef lucr. dr. ing. Lucian Mihai Itu

Universitatea: Universitatea Transilvania din Braşov

BRAŞOV, 2017

Obiectivul medicinei personalizate este personalizarea strategiei de tratare a pacienților pe baza unor caracteristici, condiții, necesități sau particularități individuale de-a lungul tuturor etapelor relevante pentru pacienți, începând de la prevenție și diagnoză și până la tratament și monitorizare ulterioară. Bolile cardiovasculare reprezintă principala cauză de deces la nivel mondial și această lucrare se concentrează asupra medicinei cardiovasculare personalizate, și în mod special asupra metodelor computaționale care includ următoarele arii de interes: modelare multiscalara personalizată a hemodinamicii arteriale, și inteligență artificială și procesare paralelă în modelare hemodinamică multiscalară. Toate cele trei arii sunt esențiale pentru a atinge obiectivul final al aplicării modelor în rutine clinice pentru evaluarea non-invazivă și personalizată a patologiilor cardiovasculare.

Inițial se introduce un framework ierarhic de estimare a parametrilor pentru realizarea unor simulări hemodinamice personalizate în modele arteriale, care folosesc arbori structurați ca și condiții de frontieră. Se formulează o problemă de calibrare la fiecare nivel al framework-ului ierarhic, care caută soluția de punct fix a unui sistem de ecuații neliniare. Proprietăți hemodinamice precum rezistența și complianța sunt estimate la primul nivel pentru a îndeplini o serie de obiective formulate pe baza unor măsurători clinice de presiune și/sau debit. La al doilea nivel se estimează parametri arborilor structurați astfel încât să se obțină valorile proprietăților hemodinamice determinate la primul nivel. O caracteristică cheie a metodei propuse este faptul că, pentru a asigura o gamă largă de variație a valorilor acestor proprietăți, se personalizează doi parametri diferiți ai arborilor structurați pentru fiecare proprietate hemodinamică.

În continuare se introduce un framework de estimare a parametrilor pentru personalizarea automată și robustă a hemodinamicii aortice pornind de la date de rezonanță magnetică 4D. Framework-ul este bazat pe un model hemodinamic multiscalar de ordin redus de interacțiune fluid-solid și pe două proceduri de calibrare. Inițial, se personalizează parametrii windkessel ai condițiilor de frontieră de ieșire prin rezolvarea unui sistem de ecuații neliniare. Apoi, se personalizează proprietățile mecanice ale peretelui aortic prin formularea unei probleme de minimizare a celor mai mici pătrate. Cele două proceduri de calibrare sunt rulate secvențial și iterativ până când se obține convergența pentru ambele proceduri. Global, modelul computațional a produs rezultate apropiate de măsurătorile clinice care au fost folosite în formularea obiectivelor de personalizare.

De asemenea, se introduce o metodologie de separare a rigidității arteriale, determinate in vivo, în rigiditate a peretelui arterial și rigiditate a țesutului înconjurător. Se consideră o presiune efectivă perivasculară care introduce o constrângere radială. În continuare, pornind de la date in vivo, achiziționate la faza diastolică, se estimează ariile secțiunilor transversale la presiune arterială nulă. În final, rigiditatea peretelui arterial și a țesutului înconjurător sunt determinate pe baza unui model cu două arcuri paralele. Cu ajutorul unui model multiscalar de ordin redus, metodologia este folosită pentru studiul efectului global al țesutului înconjurător asupra hemodinamicii arteriale. Principalele influențe sunt: viteză de undă mai mare, unde inverse de presiune și debit care ajung mai repede înapoi la inimă, complianță totală mai mică, presiune de puls mai mare și arii reduse ale secțiunilor transversale.

În continuare, se introduce un model pentru estimarea non-invazivă a buclelor de presiune-volum personalizate pentru ventriculul stâng. Se folosește un model cu parametrii distribuiți al circulației, bazat pe circulația pulmonară venoasă, atriul stâng, ventriculul stâng și circulația sistemică. Un framework complet automatizat de estimare a parametrilor este prezentat pentru personalizarea modelului, care este format din două etape secvențiale: inițial se calculează direct o serie de parametri și, în continuare, se aplică o metodă de calibrare bazată pe optimizare pentru a estima iterativ valorile celorlalți parametri ai modelului cu parametrii distribuiți.

Una din cele mai interesante metodologii prezentate în această lucrare este bazată pe un model de inteligență artificială pentru estimarea rezervei fracționare de debit (FFR) ca alternativă la abordările bazate pe modele de dinamica fluidelor. Modelul este antrenat cu ajutorul unei baze

de date mari formată din anatomii coronariene sintetice, pentru care valorile de referință de FFR sunt calculate cu modelul de dinamica fluidelor. Modelul antrenat prezice FFR la fiecare locație a arborelui arterial și performanța lui a fost evaluată prin compararea predicțiilor cu valorile obținute cu ajutorul modelului bazat pe dinamica fluidelor și cu valorile de FFR măsurate invaziv pentru 87 de pacienți 125 de leziuni în total. S-a obținut o corelație excelentă între predicții, neputând fi observat nici un bias în analiza Bland-Altman. În comparație cu modelul bazat pe dinamica fluidelor, timpul de execuție a fost redus de mai mult de 80 de ori, conducând la o evaluare în timp real a FFR.

Metoda multigrad geometric (GMG) reprezintă unul din cei mai eficienți algoritmi de rezolvare a sistemelor mari de ecuații liniare și poate fi paralelizată eficient. S-a realizat o analiză detaliată a unei implementări GMG bazate pe procesor grafic și rezultatele au fost comparate cu o metodă optimizată a gradientilor conjugați. Testele au indicat faptul că etapa de smoothing ocupă cea mai mare parte a timpului de execuție și varianta GMG cu cea mai bună performanță este schema V cu o configurație de smoothing 312. Stencil-ul de discretizare are o influență majoră asupra timpului de execuție și alegerea sa reprezintă un compromis între timpul de execuție și acuratețea numerică.