

Praca dyplomowa inżynierska

Modelowanie wpływu geometrii przecieku mitralnego na prawdopodobieństwo wystąpienia hemolizy



Autor: Krzysztof Truchel

Nr albumu: 298078

Promotor: dr inż. Krzysztof Wojtas

Rok akademicki: 2021/2022

Wprowadzenie

Obliczeniowa Mechanika Płynów (CFD) coraz częściej znajduje zastosowanie w interdyscyplinarnych dziedzinach nauk, takich jak inżynieria biomedyczna. Znając dobrze budowę serca, czy posługując się np. wynikami tomografii komputerowej oraz wykorzystując odpowiednie równania reologiczne krwi, można w sposób bardzo zbliżony do rzeczywistego odwzorować hemodynamikę serca.

Cel i zakres pracy

Celem niniejszej pracy jest przeprowadzenie symulacji pracy lewego serca z okołozastawkowym przeciekiem mitralnym i określenie ryzyka występowania hemolizy krwi, czyli degradacji erytrocytów, która ma miejsce przy naprężeniach ścinających powyżej 300 Pa oraz porównanie wyników symulacji dla geometrii uproszczonej i rzeczywistej, a tym samym potwierdzenie słuszności stosowania geometrii uproszczonej w dalszych badaniach i diagnostyce medycznej.

Zakres pracy obejmuje:

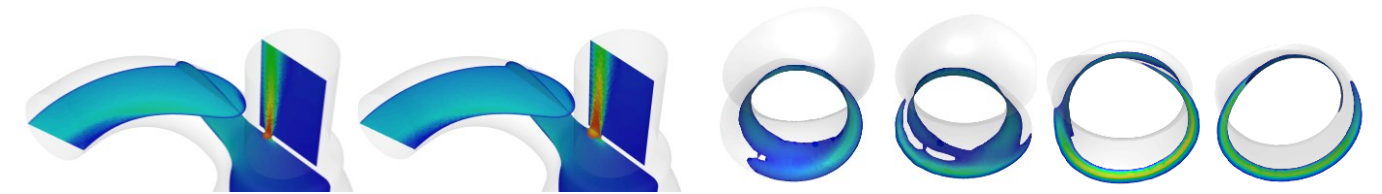
- przegląd literatury naukowej (budowa i hemodynamika serca, reologia krwi);
- przedstawienie podstaw teoretycznych CFD i reologii;
- zaprojektowanie na podstawie przeglądu literatury i wyników tomografii domen obliczeniowych lewego serca i przeprowadzenie symulacji;
- analizę wyników symulacji, określenie ryzyka występowania hemolizy i wpływu geometrii lewej komory na zjawisko hemolizy (jeśli takie wystąpi).

Przeprowadzenie symulacji

W niniejszej pracy badania prowadzono na 4 geometriach: uniwersalnej i rzeczywistej, każda z dwoma różnymi przeciekami mitralnymi pochodzącymi z tomogramów. Dla tych domen obliczeniowych modelowano przepływ krwi dla otwartej zastawki aortalnej i zamkniętej zastawki mitralnej z wykorzystaniem wybranego modelu reologicznego dla krwi – równania Carreau-Yasuda. Domena obliczeniowa była statyczna, a problem ruchomej komory rozwiązano poprzez odpowiedni strumień objętościowy krwi przez wydzieloną część ściany komory.

Wyniki

Z uzyskanych wyników (Rys.1.) wynika, że geometria przecieku mitralnego nie wpływa w znaczny sposób na profil prędkości w komorze i aorcie. Inaczej jednak jest z przedsionkiem, w którym pole prędkości silnie zależy od geometrii przecieku.

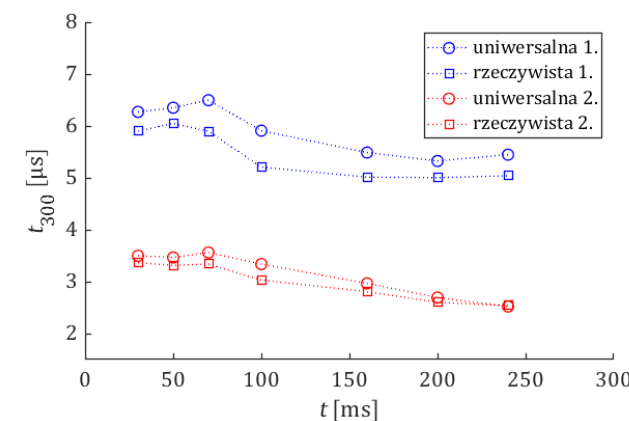


Rys.1. Rozkład prędkości w sercu dla różnych geometrii przecieku ($t = 100$ ms)

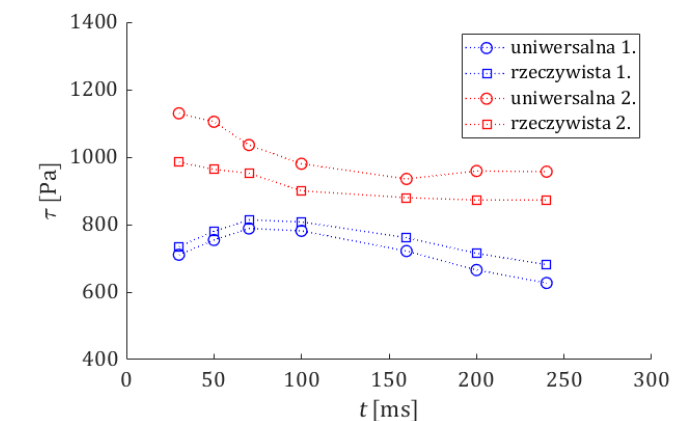
Rys.2. Naprężenia powyżej 300 Pa dla różnych geometrii komory i przecieku ($t = 100$ ms)

Wyniki potwierdzają również, że naprężenia ścinające krwi, występujące w przecieku mitralnym, mogą powodować degradację erytrocytów. Warunki te obserwuje się jedynie w dolnych częściach przecieku na całej jego średnicy dla wszystkich badanych geometrii przecieków i dla wszystkich dyskretnych punktów czasowych ($t = 30; 50; 70; 100; 160; 200; 240$ ms). Przykładowe naprężenia ścinające na ściankach przekraczające 300 Pa dla 4 domen przedstawia Rys.2.

Z uzyskanych wyników można zauważyć, że wyniki symulacji dla tych samych geometrii przecieków w różnych geometriach komory prowadzą do otrzymania bardzo zbliżonych wyników (Rys.3-4.).



Rys.3. Czas przebywania krwi w obszarze naprężeń ścinających większych od 300 Pa



Rys.4. Maksymalne naprężenia ścinające w płynie

Wnioski

Dzięki symulacjom przepływu krwi przeprowadzonym z wykorzystaniem CFD, stwierdzono, że ryzyko wystąpienia hemolizy, w wyniku powstania mitralnego przecieku okołozastawkowego jest wysokie. Dodatkowo zaobserwowano, że sama geometria komory ma nieznaczny wpływ na otrzymane wyniki i z powodzeniem można stosować uproszczoną geometrię lewej komory do badania omawianego zjawiska. Uproszczenie geometrii znacznie skraca czas przygotowania siatki obliczeniowej i samych obliczeń oraz daje szansę w przyszłości na uproszczenie prowadzenia badań zindywidualizowanych stosowanych w diagnostyce medycznej.