Untersuchung von Arhythmogenese und Defibrillation mit Computermodellen des Herzens

Electrophysiologische Aspekte

Unabhängig von den auslöesenden Ursachen tritt Kammerflimmern in der finalen Phase vor dem plötzlichen Herztods ein. Unter Kammerflimmern versteht man eine völlig ungeordnete elektrische Aktivität des Herzens, die durch mehrere kreisende Erregung charakterisiert wird. Die einzige effektive Behandlungsform stellt die Verabreichung eines Elektroschocks dar (elektrische Defibrillation). Obwohl diese Methode routinemäßig klinisch angewandt wird und tausende Patienten, die unter Arhythmien leiden, implantierbare Kardioverter-Defibrillatoren tragen, sind die grundlegenden Mechanismen des Defibrillationsvorganges nachwievor weitgehend unbekannt. Computermodelle des Herzens stellen das ideale Werkzeug für die Untersuchung der Entstehung von Arhythmien und deren phasenabhängige Wechselwirkung mit Defibrillationsschocks dar. Um derartig aufwendige Simulationen in effizienter Form durchzuführen zu können sind jedoch Verbesserungen der zur Zeit verwendeten methodischen Ansätze notwendig.

Aspekte der Computermodellierung

Die Bidomain-Gleichungen werden häufig für die Simulation der elektrischen Aktivität des Herzens verwendet. Die Lösung dieser Gleichungen ist aber sehr aufwendig, wodurch die mögliche Problemgröße, die modelliert werden kann, einschränkt wird. Eine Operator-Splitting Technik wird angewendet um den Satz von partiellen Differentialgleichungen in eine elliptische PDE, eine parabolische PDE und ein System von nichtlinearen gewöhnlichen Differentialgleichungen mit zwischen 8-30 Zustandsvariablen, welche das dynamische Verhalten der kardialen Membran beschreiben, aufzuspalten. Die Hauptrechenlast wird durch das elliptische Problem verursacht. Parallele Rechentechniken und die Verwendung von iterativen Lösungsverfahren sind zwingend notwendig, um derartig große Gleichungssyteme (typischerweise zwischen 500.000 und 12 Millionen Unbekannten) effizient lösen zu können. Gewöhnlich werden parallele Block Jacobi oder Additive Schwarz ILU oder ICC Präkoniditionierungstechniken verwendet in Kombination mit einem Krylov-Solver (Konjugierte Gradienten Methode CG). In einer kürzlich von unserer Gruppe durchgeführten Studie konnte gezeigt werden, daßdie Verwendung eines geometrischen Multigrid Präkonditionierers eine Beschleunigung des Lösungsvorganges um einen Faktor 3 erlaubt. In zukünftigen Implementierungen werden unstrukturierte FEM Grids benutzt werden in Kombination mit algebraischen Multigridmethoden um eine bessere Repräsentation der Herzoberflächen zu erreichen. Außerdem soll ein räumlich adaptives Verfahren implementiert werden, das mit der FEM kompatibel ist (Mortar FEM).