

Alexander Müller

Dr. med.

## **Simulation der arteriellen Hämodynamik nach prothetischem Ersatz der Aorta und experimenteller Evaluierung**

Geboren am 7.09.1972 in Konstanz

Reifeprüfung am 26.05.1992

Studiengang der Fachrichtung Medizin vom SS 1994 bis WS 2001

Physikum am 10.09.1996 an der Universität Heidelberg

Klinisches Studium in Heidelberg

Praktisches Jahr in Basel, Schweiz und Heidelberg

Staatsexamen am 6.12.2001 an der Universität Heidelberg

Promotionsfach: Chirurgie

Doktorvater: Prof. Dr. med. C.-F. Vahl

Anhand der komparativen Analyse mit den experimentell gewonnenen Daten konnte gezeigt werden, dass die Veränderungen der Hämodynamik des arteriellen Systems nach gefäßprothetischem Ersatz der Aorta mit den computergestützten Simulationsergebnissen des erarbeiteten, mathematischen Modells realitätsgetreu übereinstimmen.

Die pulsatil erzeugten Druck- und Flusskurven, die als Ergebnis der Modellsimulation entstehen, hängen vom Eingangssignal, den physikalischen Verhältnissen von Blut und Gefäßabschnitten und dem terminalen Widerstand ab. Die realitätsgetreue Abbildung der Simulationsergebnisse beweist die hinreichende Modellgenauigkeit im Hinblick auf die Modellierung der physikalischen Eigenschaften. In der Simulation des prothetischen Gefäßersatzes einzelner Aortenabschnitte zeigen sich postoperativ ein signifikanter Anstieg der Blutdruckamplitude und der charakteristischen Impedanz sowie ein Verlust der aortalen Windkesselfunktion, wobei keine Änderung des totalen peripheren Widerstandes (TPR) auftrat. Der gefäßprothetische Ersatz der Aorta ascendens und des Aortenbogens (Segmente 1, 2 und 5), welche physiologisch die größte Elastizität der Aorta besitzen, zeigen die ausgeprägteste Zunahme der Blutdruckamplitude. Der Anstieg des aortalen

Eingangsimpedanzspektrums und damit der Verlust der Windkesselfunktion verdeutlichen die hydraulische Mehrbelastung, die der linke Ventrikel dadurch bewältigen muss. Der Elastizitätsverlust und die damit einhergehende Änderung der kapazitiven Eigenschaften der Aorta ascendens nach Gefäßwrapping erhöhen den postkardialen Widerstand unabhängig vom peripheren Gesamtwiderstand. Damit lässt sich auch eine potentielle Herzhypertrophie als Folge eines ausschließlichen Ersatz der Aorta ascendens erklären. Konkludierend konnten in der experimentellen Evaluierung die Simulationsergebnisse der Hämodynamik des arteriellen Systems nach prothetischem Ersatz der Aorta, die mit Hilfe des mathematischen Modells gewonnen wurden, qualitativ eindeutig bestätigt und validiert werden.

Die Anwendung des mathematischen Simulationsmodells erweist sich als brauchbar, Voraussagen in Bezug auf die aortale Eingangsimpedanz zu treffen. Diese ist ein Indikator, der Aussagen über die potentielle Nachlast zulässt, die sich dem linken Ventrikel entgegenstellt, ohne dass die Messwerte dabei von den im Experiment auftretenden, unvermeidlichen Begleitumständen verzerrt werden. Das erarbeitete Modellkonzept erlaubt es, jede Art des arteriellen Gefäßersatzes und damit auch das Ausmaß des geplanten Eingriffs zu simulieren, ebenso wie die Modellanpassung an verschiedenen Patientenverhältnisse, ohne den grundlegenden Aufbau verändern zu müssen.

Die Vorteile gegenüber bestehenden Modellen, die sich ebenfalls mit hämodynamischen Veränderungen nach chirurgischen Interventionen beschäftigen, liegen einerseits in der genauen Modellierung gemäß dem physikalischen Vorbild des arteriellen Systems in seiner Gesamtheit und andererseits in der physiologischen Abbildung von Druck- und Flusskurven. Damit gelingt es, Aussagen über die Ausbreitung der Druck- und Flusswellen und den resultierenden Reflexions- und Interferenzphänomenen zu treffen, die sich in der Veränderung der Kurvenmorphologie widerspiegeln. Weiterhin ist die Perfusionsverteilung der verschiedenen Stromgebiete des Organismus implementiert. Auch die natürliche Pulsatilität der Herztätigkeit, so wie die lokale Autoregulationsfähigkeit des Gehirns und der Nieren finden Berücksichtigung.

In bereits existenten Modellkonstrukten stehen oftmals lediglich bestimmte anatomische Bereiche im Interesse der Analyse und sind zentralisiert auf die Aussagefähigkeit über diese Region. Das erarbeitete Simulationsmodell bietet durch seinen allgemeingültigen Aufbau die Basis für neue, erweiternde Fragestellungen zur

Simulation chirurgischer Eingriffe am arteriellen Gefäßsystem, ohne neu konzipiert werden zu müssen und ist somit auch für eine interdisziplinäre Anwendung geeignet. So wird das Simulationsmodell der arteriellen Hämodynamik in seiner existenten Form bereits in Forschungsbereichen eingesetzt, die sich mit der Optimierung der extrakorporalen Zirkulation im Rahmen des Einsatzes der Herz-Lungen-Maschine beschäftigen.

In der Zukunft wird es möglich sein, das computergestützte Simulationsmodell so zu erweitern, dass spezifische Vorhersagen hämodynamischer Veränderungen patientengerecht und individuell möglich sind.