

Untersuchung einer neuen Herzklappe für Herzunterstützungssysteme

Lambertz M., Affeld K.*, Ziemann A.,

*Labor für Biofluidmechanik, Universitätsklinikum Charité, Humboldt-Universität Berlin
Hermann-Föttinger Institut, Technische Universität Berlin

EINLEITUNG

Ein bewährtes Verfahren zur Behandlung erkrankter natürlicher Herzklappen ist die Implantation von Herzklappenprothesen. Neben diesem Einsatz entwickelt sich zur Zeit ein weiteres Anwendungsgebiet: der Einsatz von Herzklappenprothesen in Herzunterstützungssystemen. Eine häufig dabei auftretende Komplikation stellt die Thrombenbildung dar [1]. Diese tritt insbesondere im Bereich der verwendeten Herzklappenprothesen auf [2]. Bei einer Implantation einer Herzklappenprothese ist ihre unmittelbare Umgebung durch die Anatomie vorgegeben. Bei einem Einsatz in einem Herzunterstützungssystem dagegen kann diese Umgebung frei gestaltet werden. Mit diesem Ansatz ergeben sich für die strömungstechnische Gestaltung der Herzklappen für Blutpumpen ganz neue Möglichkeiten. Die unmittelbare Umgebung der Klappe ist der Strömungskanal. Mit dem neuen, hier vorgestellten S-förmigen Strömungskanal der Klappe scheint es möglich zu sein, die Gefahr der Thrombenbildung zu reduzieren. Insbesondere die Vermeidung von Ablösungen führt zu einer Verringerung des Risikos der Thrombenbildung und ermöglicht damit eine verminderte Dosierung von Antikoagulantien

MATERIAL UND METHODE

Die entwickelte S-Klappe besteht aus dem Strömungskanal, den Bügeln und dem Schließkörper. Durch den S-förmigen Strömungskanal, daher der Name S-Klappe, kann im Vergleich zu der Standard BS-Klappe auf einen Ring verzichtet werden.

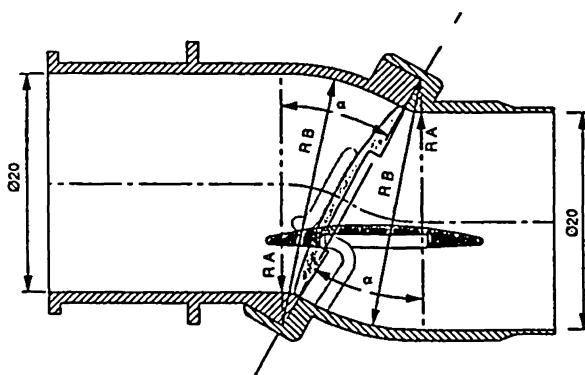


Abbildung 1: Schema der Strömungskontur der S-Klappe.

Bei mechanischen Herzklappenprothesen sind die Ablösungen hinter dem Ring eine Ursache für die Thrombenbildung. Der Schließkörper steht im geschlossenem Zustand in einem Winkel von 60° zur Anströmrichtung. Im geschlossenem Zustand liegt der Schließkörper in Anströmrichtung. Diese Positionen werden durch die Bügel vorgegeben. Die Form der Bügel entspricht den Bügeln der BS-Klappe. Ebenso ist der Schließkörper der BS-Klappe entnommen. Der S-förmige Strömungskanal wird durch die Kombination verschiedener Radien erzeugt. Als Material für den Strömungskanal ist Titan vorgesehen. Bei der Untersuchung von Herzklappen werden die Ähnlichkeitsgesetze der Strömungsmechanik angewendet. Der sehr kurze Vorgang der Herzklappenströmung kann so zeitlich gestreckt beobachtet werden. Die Untersuchung erfolgt an 10:1 Modellen in einem gleichfalls vergrößerten Strömungskanal. Aus der Ähnlichkeitsbetrachtung ergibt sich mit einer angenommenen Blutviskosität von $2,7 \cdot 10^{-3}$ Pas und einer Zykluszeit von 857ms (Herzfrequenz=70min⁻¹) eine Modellzykluszeit von $t_{\text{Modell}}=217,7$ s. Das Blut wird als Newtonsches Fluid betrachtet, weil die Scherraten ausreichend groß sind. Für die Modelluntersuchung wird Wasser als Modellfluid gewählt. Der Viskositätsunterschied von Wasser und Blut wird in der Ähnlichkeitsbetrachtung berücksichtigt. Die Strömung durch die S-Klappe wurde mit folgenden Methoden der Strömungssichtbarmachung untersucht:

- Farbmethode mit fluoreszierendem Farbstoff
- Digital Particle Image Velocimetry (DPIV).

Bei der Strömungssichtbarmachung mit fluoreszierendem Farbstoff wird der Flüssigkeit im Raum hinter der Klappe mit einem Farbstoff eingefärbt. Der fluoreszierende Farbstoff wird während des Zyklus von dem ungefärbten Modellfluid verdrängt. Auf diese Weise lassen sich Gebiete mit hohen Verweilzeiten identifizieren. Diese Gebiete sind mitverantwortlich für die Thrombenbildung. Der fluoreszierende Farbstoff ist nur sichtbar, wenn er beleuchtet wird, und unsichtbar, wenn er im Dunklen liegt. Die Mitte der Strömung kann also durch entsprechende Beleuchtung mit einem Lichtschnitt beobachtet werden, obwohl der gesamte Raum mit Farbstoff gefüllt ist. Die zu untersuchenden Bereiche werden mit Hilfe von Diaprojektoren und entsprechenden Spaltblenden, die eine Lichtschnittdicke von circa 10mm erzeugen, beleuchtet. Die Strömungssichtbar-

machung erfolgt bei der Partikelmethode durch das Hinzufügen von kleinen Partikeln in die Strömung. Die Partikel folgen nahezu trägheitsfrei der Strömung. Damit entspricht die Bewegung der Partikel der Bewegung der zu untersuchenden Strömung. Auch bei dieser Methode wird der zu untersuchende Bereich mit einem Lichtschnitt ausgewählt. Die in dieser Ebene beleuchteten Partikel reflektieren das Licht und erscheinen als helle Punkte. Die Bewegung der Partikel wird mit einer Aufnahmeeinrichtung, hier einer CCD-Kamera, registriert. Die Bestimmung der lokalen Geschwindigkeit mit der Partikelmethode erfolgt durch die Erfassung der Partikelbewegung in einem Zeitintervall. Betrachtet man zwei Partikelbilder mit einem bekannten zeitlichen Abstand, befinden sich die Partikel bei einer vorhandenen Strömung in den zwei Bildern an unterschiedlichen Orten. Durch Verbinden der Orte erhält man einen Bahnvektor. Mit der Zeitdifferenz zwischen den Bildern lassen sich Richtung und Größe der Geschwindigkeit bestimmen. Mit dem beschriebenen Meßprinzip sind nur Geschwindigkeitskomponenten parallel zum Lichtschnitt ermittelbar. Es handelt sich also hierbei um eine 2-dimensionale Geschwindigkeitsmessung. Dieses Verfahren wird als Digital Particle Image Velocimetry - DPIV - bezeichnet. Bei der DPIV werden die Bilder direkt mit einer elektronischen Aufnahmeeinrichtung aufgenommen und digitalisiert. Die Speicherung der Bilder erfolgt im Speicher des angeschlossenen Rechners. Zur Bestimmung der Partikelverschiebung werden die aufgenommenen Bilder mit der Analysesoftware „VisiFlow“ bearbeitet. Die Bildanalyse erfolgt mit der Kreuzkorrelation. Mit ihrer Hilfe kann die Verschiebung eines Musters, das in zwei aufeinanderfolgenden Bildern auftritt, bestimmt werden. Mit dem bekannten zeitlichen Abstand der Bilder läßt sich somit die Partikelgeschwindigkeit bestimmen.

ERGEBNISSE

Mit der Farbstoffmethode mit fluoreszierenden Farben konnten drei Ablösegebiete im Bereich der Klappenströmung beobachtet werden. Abbildung 2 zeigt die Strömung durch die S-Klappe nach $t_{\text{Modell}}=22\text{s}$. Diese hell erscheinenden Ablösegebiete lassen sich jedoch, wie Versuche mit einer geringfügig modifizierten Strömungskanal gezeigt haben, fast vollständig beseitigen. Die DPIV ermöglicht die vektorielle Beschreibung der Strömung. Beispielsweise lassen sich Öffnungsphase oder die ausgeprägte Strömung darstellen. In Abbildung 3 ist beispielhaft die ausgeprägte Strömung nach $t_{\text{Modell}}=22\text{s}$ zu sehen. Mit der in dieser Darstellung für die Bildanalyse gewählten Auflösung sind die Ablösegebiete nicht zu erkennen. Bei der Bildanalyse mit einer höheren Auflösung lassen sich auch die Ablösegebiete darstellen. Da es hierbei jedoch im gesamten Strömungsbild zu einer Häufung von Fehlvektoren kommt, wird für die Darstellung der gesamten Strömung eine geringe Auflösung gewählt. Die Genauigkeit der Messung wird dadurch nicht beeinflusst.

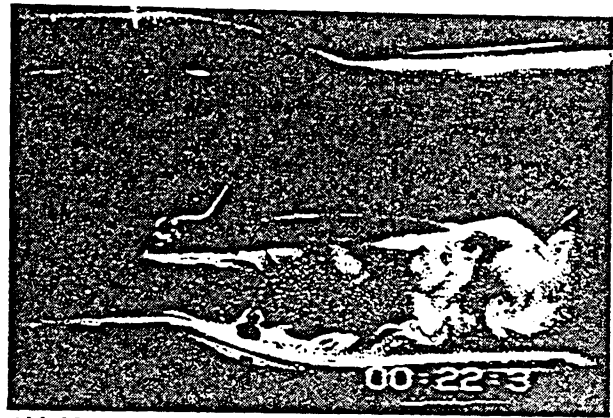


Abbildung 2: Farbstoffaufnahme der Strömung durch die S-Klappe nach 22s mit Lichtschnitt

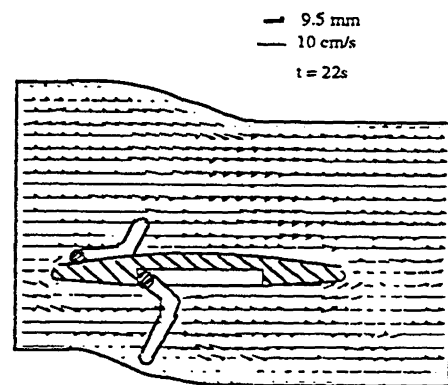


Abbildung 3: Vektorbild der Strömung nach 22s

ZUSAMMENFASSUNG

An der neuentwickelten S-Klappe wurden drei Ablösegebiete beobachtet. Mit verschiedenen Modifizierungen konnten diese Ablösegebiete jedoch verringert bzw. vollständig beseitigt werden. Damit steht mit der modifizierten S-Klappe für den Einsatz in Herzunterstützungssystem eine Herzklappe zur Verfügung, die in ihrer Strömung keine Strömungsablösungen mehr aufweist. Die Untersuchung der Strömung läßt vermuten, daß die Thrombenbildung bei der modifizierten S-Klappe geringer als bei konventionellen Kippscheibenprothesen ist. Dies ist in Tierversuchen noch zu verifizieren.

LITERATUR:

- [1] Babatasi, G.; Massetti, M.; Bhoyroo, A.; Khayat, A.: Clinical Experience with the Medos® Assist Device. Cardiovascular Eng., 1997, V.2., No. 1
- [2] Wagner, W.R., Johnson, P.C. Kormos, R.L.; Griffith, B.P.: Evaluation of Bioprosthetic Valve-Associated Thrombus in Ventricular Assist Device Patients. Circulation, 1993, 88, S. 2023-2029 .
- [3] Affeld, K., Gadischke, J.: Shear Rate and Thrombin Transport, Proceedings of third World Congress for Biofluidmechanics, Munich 1994, VDI Verlag, Reihe 17, Biotechnik Nr. 107, p.35-40.