

# Matching mechanical cardiac support and the cardiovascular system

## Citation for published version (APA):

Reesink, K. D. (2005). *Matching mechanical cardiac support and the cardiovascular system*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Maastricht University. <https://doi.org/10.26481/dis.20051213kr>

## Document status and date:

Published: 01/01/2005

## DOI:

[10.26481/dis.20051213kr](https://doi.org/10.26481/dis.20051213kr)

## Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

## Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

## General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.umlib.nl/taverne-license](http://www.umlib.nl/taverne-license)

## Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[repository@maastrichtuniversity.nl](mailto:repository@maastrichtuniversity.nl)

providing details and we will investigate your claim.

## Summary

Mechanical cardiac support plays an important role in the treatment of patients with end-stage heart failure. Currently, the most promising options are the use of mini heart-lung machines and rotary ventricular assist devices. The performance of these pump systems is reliable and effective technically, but the physiological interface with the circulation requires optimization. The interaction between a mechanical support system and the native circulation is the subject of this thesis.

In **Chapter 2**, the experimental validation of an optical blood pressure measurement system is described. Upon comparison with existing electrical transducers, the optical prototype showed comparable dynamic response characteristics and stability but a superior electromagnetic disturbance rejection. Currently, the system is used for the monitoring and triggering of intra-aortic balloon pumps.

In today's mini cardiopulmonary bypass circuits continuous flow technology is employed because it offers reliability and cost-effectiveness. However, if cardiac recovery is the target of treatment, these systems may not be suitable to control myocardial working conditions sufficiently. In **Chapter 3**, the pulse interaction between a pulsatile cardiopulmonary bypass circuit and the native left ventricle is studied in calfs. The results show that systolic co-pulsation is associated with increased left ventricular oxygen consumption while counterpulsation improves the myocardial oxygen balance. Further research is necessary to develop clinical protocols that enable the adjustment of mechanical cardiac unloading to the specific patient's needs. The use of intra-aortic balloon counterpulsation during non-pulsatile cardiopulmonary bypass is described in **Chapter 4**. In this study, the efficacy of balloon counterpulsation during femoral cannulation was compared to the thoracic cannulation case. In both cases, intra-aortic balloon pumping improved myocardial working conditions. In the femoral case, however, the diastolic augmentation of aortic pressure was attenuated while left ventricular afterload reduction was diminished with thoracic

cannulation. Several clinical studies have shown the benefit of counterpulsation in partial cardiopulmonary bypass patients.

The development and validation of a computer model of the assisted circulation is described in **Chapter 5**. In this model, worst-case hemodynamic interactions between a rotary left ventricular assist device (LVAD) and the pulmonary circulation were simulated. The results support the existing theory and clinical evidence for right heart overload, in case of preload insensitive left ventricular unloading. The measurements and interventions were repeated in a calf. Both models showed good correlation under baseline and pulmonary hypertensive conditions, but responded differently to an increased filling intervention. Further development of the hemodynamic computer model should include the inclusion of a left ventricle and a systemic vascular bed.

In **Chapter 6**, the hemodynamic efficacy of a new intracardiac LVAD is compared to intra-aortic balloon pumping (IABP) in a bovine model of acute mitral insufficiency. The intracardiac device showed significantly better unloading properties than the balloon pump while IABP enhanced myocardial perfusion more than the impeller pump. The new device could fill the gap in the current range of support devices. A combination of the two concepts in one device seems promising.

The effect of rotary LVAD suction on the circulatory function is investigated in **Chapter 7**. Acute suction events were simulated in a hemodynamic computer model and in sheep. The results show that a transient suction event may give rise to prolonged hemodynamic insufficiency and reduced device efficacy, depending on the presence of pulmonary circulatory pathophysiology. The use of dynamic pump interventions appears to be a promising tool, to both detect suction and to overcome the associated problems.

In **Chapter 8**, a conceptual model is developed in which the development of heart failure and the role of mechanical cardiac support as a treatment are brought into relationship.

## Samenvatting

Bij de behandeling van patienten met terminaal hartfalen speelt mechanische ondersteuning van het hart een belangrijke rol. Het meest veelbelovend zijn de mini hart-longmachine en het rotatie-steunhart van het roterende pomp type. Technisch gezien presteren de huidige pompen effectief en betrouwbaar, maar de functionele koppeling met de bloedsomloop is nog niet optimaal. Het onderwerp van dit proefschrift is de interactie tussen het mechanische ondersteuningssysteem en de natieve bloedsomloop.

In hoofdstuk 2 wordt de experimentele test van een optisch bloeddrukmeetsysteem beschreven. Het prototype van de optische sensor bleek een dynamische responskarakteristiek en een stabiliteit te hebben die vergelijkbaar was met bestaande sensoren. De electromagnetische storingsongevoeligheid van de optische sensor was echter veel groter. Het systeem wordt nu gebruikt voor het monitoren en aansturen van intra-aortale ballon pompen.

In de huidige mini hart-longmachines worden konstante-stromingspompen gebruikt, omdat deze betrouwbaar zijn en kosten-effectief. Deze systemen zouden minder geschikt kunnen zijn voor het reguleren van de werkomstandigheden van de hartspier, indien het herstel van het hart wordt beoogd. In hoofdstuk 3 wordt een dierstudie naar de interactie tussen de drukgolven van een pulserende hart-longmachine en de linker hartkamer beschreven. De resultaten laten zien dat de gelijktijdige ejectie van de pomp en het hart de zuurstofconsumptie van de linker hartkamer verhoogt, terwijl uit-fase ejectie juist de balans tussen zuurstof aanbod en verbruik verbetert. Voortgezet onderzoek is nodig om klinische protocollen te ontwikkelen die het mogelijk maken, om de mechanische ontlasting van het hart aan te passen aan de individuele patient. Het gebruik van intra-aortale ballon tegenpulsatie tijdens het ondersteunen met een niet-pulserende hart-longmachine is bestudeerd in hoofdstuk 4. In deze studie is gekeken naar de effectiviteit van ballon tegenpulsatie bij verschillende cannulatie methoden, namelijk die via de grote vaten en via de liesvaten. In

beide gevallen verbeterde intra-aortale ballon tegenpulsatie de werkomstandigheden van de hartspier. Bij cannulatie via de liesvaten was de verhoging van de aortadruk tijdens de rustfase van het hart verminderd effectief. Hetzelfde kenmerkte de drukontlasting van de hartkamer maar dan in het geval van cannulatie via de grote vaten. Een aantal klinische studies heeft de voordelen van tegenpulsatie gedurende de gedeeltelijke overname van de hart-longfunctie reeds aangetoond.

In hoofdstuk 5 wordt de ontwikkeling en validatie beschreven van een computer model dat de ondersteunde bloedsomloop representeert. Met dit model werd de interactie tussen een rotatie-steunhart en de longcirculatie gesimuleerd onder 'worst-case' condities. The resultaten ondersteunen de bestaande theorie en klinisch bewijs voor het optreden van overbelasting van de rechter harthelft ten gevolge van een mechanische hartkamer ontlasting die ongevoelig is voor aanbod. De metingen en interventies werden herhaald in een proefdiermodel. Beide modellen lieten een goede correlatie zien onder basale en pulmonaal hypertensieve condities, maar reageerden verschillend op het vergroten van het vullingsvolume. De verdere ontwikkeling van het hemodynamische computer model zou gericht moeten zijn op het inbouwen van een linker hartkamer en het systemisch vasculaire bed.

In hoofdstuk 6 wordt de hemodynamische effectiviteit van een nieuw intracardiaal hulppompje vergeleken met die van de intra-aortale ballon pomp (IABP) in een proefdiermodel waarin mitraalkleplek werd aangebracht. Het intracardiale pompje bleek beter in staat het hart te onlasten dan de IABP, terwijl de doorbloeding van de hartspier meer toenam tijdens het gebruik van de IABP. Het nieuwe pompje zou de leemte in het huidige arsenaal van ondersteuningssystemen kunnen vullen. Een combinatie van beide concepten in één product lijkt veelbelovend.

Het effect van zuiging bij rotatie-steunharten op de functie van de bloedsomloop wordt onderzocht in hoofdstuk 7. Acute episodes van overmatige zuiging werden gesimuleerd in een hemodynamisch computer model en in schapen. De resultaten laten zien dat, afhankelijk van de aanwezigheid van een afwijkende longcirculatie, een voorbijgaande periode van overmatige zuiging een voortdurend ontoereikende hemodynamische

status en een verminderde pompeffectiviteit kan veroorzaken. Dynamische pomp interventies lijken een interessante mogelijkheid te bieden om zuiging te detecteren en om de problemen als gevolg van overmatige zuiging op te lossen.

In hoofdstuk 8 wordt een conceptueel model gepresenteerd waarin het ontstaan van hartfalen en de rol van mechanische ondersteuning bij de behandeling daarvan met elkaar in verband worden gebracht.

178 |