

---

## Summary

---

One treatment modality for atrial fibrillation, the most common cardiac arrhythmia, is radiofrequency catheter ablation in which fibrotic tissue is created around the pulmonary veins. The procedure is invasive, requires the sedation of the patient, has varying success rates and is associated with major complications. A new treatment modality would thus be beneficial. In previous studies with photon irradiation the electrical pathway of the heart could be successfully changed in animal models. Based on the experience gained in cancer radiotherapy, where carbon ions offered a highly conformal treatment possibility, the here presented work studied the feasibility of a non-invasive treatment of atrial fibrillation with scanned carbon ions. Due to displacement of the cardiac target volumes on one hand because of the respiration of the patient and on the other hand because of the heartbeat, interference effects between the target volume motion and the actively applied ion beam were expected (interplay effect). Motion mitigation techniques were hence studied. For respiratory motion, the beam was applied in only a fraction of the motion cycle (gating), while the heartbeat influence was compensated for by irradiating the target volumes multiply times with a fraction of the planned dose (rescanning). This was studied in human data for a pulmonary vein irradiation, as well as in porcine data for an AV node irradiation. The latter was carried out in preparation for the planned animal experiments at GSI in 2014, where the findings shall be validated. It resulted that all studied motion mitigation deliveries were adequate techniques for such an application, but that organ at risk doses needed to be carefully examined due to the location of the target volumes close to critical structures like the esophagus.

---

## Zusammenfassung

---

Eine Behandlungsmöglichkeit für Vorhofflimmern, die verbreitetste Art von Herzrhythmusstörungen, ist Radiofrequenzablation mit Hilfe von Kathetern, bei der Narbengewebe um die Pulmonarvenen erzeugt wird. Dieser Eingriff ist invasiv, benötigt die Narkotisierung der Patienten, zeigt schwankende Erfolgsquoten auf und wird mit schwerwiegenden Komplikationen in Verbindung gebracht. Eine neue Behandlungsmöglichkeit ist demnach wünschenswert. Vorhergehende Studien mit Photonen Bestrahlung haben gezeigt, dass es möglich war das kardiale Reizleitungssystem in Tieren erfolgreich zu verändern. Basierend auf der Erfahrung aus der Strahlentherapie, in der Kohlenstoffionen eine höchst konforme Bestrahlung ermöglichen, hat die hier vorgestellte Arbeit die Durchführbarkeit untersucht, Kohlenstoffionen als eine nicht-invasive Behandlungsmöglichkeit für Vorhofflimmern zu nutzen. Auf Grund der Bewegung der kardialen Zielvolumina, zum einen wegen der Atmung des Patienten und zum anderen wegen des Herzschlages, sind Interferenzeffekte zwischen der Ziel Bewegung und dem aktiv applizierten Ionenstrahl erwartet. Bewegungskompensierende Methoden wurden deshalb untersucht. Bei der Atmung wurde eine unterbrochenen Bestrahlung angewandt, bei der der Strahl nur in einem Teil des Bewegungszyklus angewandt wurde, während der Herzschlag mit Hilfe einer Mehrfachbestrahlung, bei der nur ein Teil der Dosis in einem Durchlauf deponiert wird, kompensiert wurde. Dies wurde sowohl in menschlichen Daten an Hand einer geplanten Pulmonarvenen Bestrahlung, als auch in Schweinedaten für eine AV-Knoten Bestrahlung durchgeführt. Letzteres wurde auch im Hinblick auf die geplanten Tierexperimente durchgeführt, die zur Validierung an der GSI in 2014 geplant sind. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle untersuchten Bestrahlungen adequate Techniken sind um solche eine Anwendung zu gewährleisten, allerdings die Bestrahlung auf Grund von naheliegenden Risikoorganen, wie etwa der Speiseröhre, schwierig ist und die Dosisdeposition in diesen Organen genauestens analysiert werden müssen.