

Höhenauswirkungen auf die Fontan-Zirkulation

Sind Langstreckenflüge, Skifreizeiten oder auch ein Urlaub in den Bergen mit Übernachtung für Fontan-Patient*Innen möglich?

„Darf ich eigentlich nach Australien fliegen?“, „Meine Freunde wollen im Urlaub in die Berge fahren. Kann ich da mitfahren?“ oder „Wir würden gerne mit den Kindern im Winter Skifahren gehen. Ist das möglich?“ – Die Abteilung für Kinderkardiologie des Universitätsklinikums Bonn ist diesen Fragen gemeinsam mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der Deutschen Sporthochschule Köln auf den Grund gegangen.

Für die meisten jungen Menschen stellt sich nicht die Frage, ob sie sich wegen medizinischer Bedenken einer Höhensituation wie oben beschrieben aussetzen dürfen. In unserer kinder-kardiologischen Ambulanz aber begegnen uns diese Fragen regelmäßig und sind häufig mit Sorgen und Ängsten sowohl von Seiten unserer Patient*Innen als auch von Seiten der begleitenden Eltern verbunden.

Kinder mit nur einer anatomischen und/oder funktionellen Herzkammer sind ab der ersten Lebensminute auf eine operative Versorgung des zugrundeliegenden Herzfehlers angewiesen, die nach mindestens 3 Operationen zur sogenannten Fontan-Zirkulation führt. Bei dieser besonderen Kreislaufsituation fließt das Blut passiv, also ohne Zwischenschaltung einer pumpenden Herzkammer, direkt vom Körper in die Lungenstrombahn. Situationen, die zu einem schlechteren Fluss in den Lungengefäßen führen, sollten daher grundsätzlich vermieden werden.

In einer Höhensituation führt der verminderte Luftdruck zu einer geringeren Sauerstoffkonzentration in der Lunge. Der sogenannte Euler-Liljestrand-Mechanismus, der eigentlich eine ökonomische Lungendurchblutung gewährleisten soll, da Areale mit weniger Sauerstoff schlechter durchblutet werden, sorgt aber auch bei Herzgesunden in der Höhe für eine globale Engstellung der Lungengefäße. Ohne eine Herzkammer, die das Blut auch gegen höheren Widerstand durch die Lungenstrombahn pumpt, besteht die Sorge einer deutlich eingeschränkten Blutzirkulation mit unklaren Folgen für die betroffenen Patient*Innen.

Um diesen Unsicherheiten und Sorgen zukünftig wissenschaftlich fundierte Untersuchungsergebnisse entgegenstellen zu können und die tatsächlichen Auswirkungen auf den Fontan-Kreislauf zu erforschen, entstand schon im Jahr 2015 die Idee, kurzfristige Höhenauswirkungen auf die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit in einem sicheren Umfeld zu untersuchen. Im Jahr 2018 konnte unsere Hypoxiestudie, von der wir bereits in der Ausgabe 01/2020 im Herzblick berichten durften, erfolgreich abgeschlossen werden. Dabei konnte gezeigt werden, dass eine kurzfristige Höhenexposition bis 2.500 m (Zeitrah-

men von etwa 90 Minuten) keine größeren Auswirkungen auf den „gesunden“ Fontan-Kreislauf im Vergleich zu herzgesunden Kontrollprobanden zu haben scheint, bei allerdings nachweislich verminderter Leistungsfähigkeit. Auch die Sauerstoffsättigungen der Patient*Innen fielen in einen entsprechend niedrigeren Bereich ab. Bei keinem der damals teilnehmenden 21 Fontan-Patient*Innen mussten die Untersuchungen aufgrund von klinischen oder subjektiven Auffälligkeiten abgebrochen werden.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen zugrundeliegenden Herzfehler sind allerdings weiterhin individuelle Beratungen notwendig. Hinzu kommt, dass bislang weltweit nur kurzfristige Höhengaufenthalte untersucht wurden. Aussagen zu möglichen Risiken während des Schlafs, wenn die Atmung nicht bewusst gesteuert werden kann oder auch Auswirkungen längerfristiger Untersättigungen konnten aus den bisherigen Ergebnissen nicht abgeleitet werden, sodass in Kooperation mit dem DLR eine neue Studienidee entstand, die Antworten auf die Frage der Auswirkungen auf das Schlafverhalten und daraus folgende Konsequenzen auf die körperliche Leistungsfähigkeit geben soll. Im Rahmen unserer HypoFon-Studie (zusammengesetzt aus Hypoxie und Fontan), die finanziell durch die Stiftung KinderHerz unterstützt wurde, konnten in den letzten 2 Monaten insgesamt 18 Patient*Innen in der medizinischen Forschungseinrichtung des DLR, dem so genannten „envihab“ untersucht werden, wo auch Matthias Maurer die ersten Tage nach seinem 6-monatigen Einsatz auf der internationalen Raumstation ISS verbrachte (**Abb. 1**).



Abb. 1: Medizinische Forschungseinrichtung „envihab“ des DLR in Köln

Hier wurde Anfang Mai auch der deutsche Astronaut Matthias Maurer nach seiner Rückkehr von der „ISS“ über mehrere Tage untersucht. (Foto: © DLR)



Abb. 2: v.l.n.r. Die Studienteilnehmer*Innen Valentin, Lynn und Megan nach der abendlichen Vorbereitung für die Schlafuntersuchung (Polysomnographie)

Die dort bestehenden Gegebenheiten, eine vollständige Patientenstation mit 12 Einzelzimmern, einem großen Gemeinschaftsraum, Küche und mehreren Bädern künstlich in Höhenluft versetzen zu können, sind deutschlandweit einmalig und ermöglichten unserem Studienteam, in einem sicheren Rahmen mittelfristige Höhenanpassungsreaktionen auch im Schlaf untersuchen zu können (Abb. 2). Durch die zusätzliche Möglichkeit, Kraft-, Ausdauer-, und Bildgebungsdiagnostiken (MRT und Echokardiografie) zu ergänzen, entstand ein komplexes und aufwändiges Studiendesign.

Alle Studienteilnehmer*Innen mussten strenge Einschlusskriterien erfüllen, durften keinen Herzschrittmacher oder MRT-inkompatible Stents haben und mussten eine Sauerstoffsättigung von $> 90\%$ in Raumluft haben. Das Altersspektrum lag zwischen 16 und 40 Jahren. Jüngere Jahrgänge wurden nicht zugelassen, da die Teilnehmenden über insgesamt 4 zusammenhängende Tage (2 in normaler Raumluft und 2 in Höhenluft) mit entsprechenden Übernachtungen ohne Eltern



Abb. 3: Ein Teil des Studienteams der HypoFon-Studie am DLR v.l.n.r. hintere Reihe Janina Bros, Emily Zollmann, Dr. Tobias Kratz, Ute Baur, Dr. Julian Alexander Härtel, Studienteilnehmer Christian, Max Thiemann, Jan Hönemann, Peter Gauger vordere Reihe: Sarah Reinhart, Prof. Jens Tank, Studienteilnehmerin Hannah, Dr. Nicole Müller, Wolfram Sies, Dr. Tillmann Kramer, Jon von Stritzky (Foto: © Jon von Stritzky)

im :envihab verbringen mussten. Dort wurden sie von einem insgesamt knapp 50-köpfigen Team durchgehend betreut (Abb. 3).

Auch wenn die Auswertung der Untersuchungsergebnisse jetzt erst beginnt, konnten klinische Parameter direkt erhoben und ausgewertet werden, sodass allen Patient*Innen am Ende der Studientage eine individuelle Empfehlung zur Höhengnung und körperlichen Leistungsfähigkeit mitgegeben werden konnte.

Schon jetzt lässt sich festhalten, dass alle der 18 Teilnehmenden die Höhenexposition mit einer simulierten Höhe von 2.500 m über Normalnull gut toleriert haben. Niemand musste das Höhenmodul verlassen und die Studienteilnahme somit frühzeitig beenden. Alle Untersuchungen konnten trotz des eng getakteten Studienprotokolls planmäßig durchgeführt werden.

In der Nacht mit Höhenluft zeigten sich zwischen den Proband*Innen allerdings teils deutlich voneinander abweichende klinische Parameter (z. B. Sauerstoffsättigungen und Atemmuster), was bei 2 Patient*Innen dazu führte, dass sie einmalig geweckt werden mussten, damit das körperliche Wohlbefinden erfragt werden konnte. Beiden ging es bei überdurchschnittlich niedrigen Sauerstoffsättigungen am Finger gut, sodass nach weiteren klinischen Kontrollen, bspw. durch eine Blutgas-Analyse, der Fortsetzung der Untersuchungen nichts im Wege stand.

Es zeigte sich zudem, dass Proband*Innen mit einem höheren körperlichen Aktivitätslevel im Alltag und regelmäßigen Sporteinheiten die Belastungsuntersuchungen in normaler Raumluft und auch in Höhenluft besser absolvieren konnten (Abb. 4).

Dies unterstrich erneut, wie wichtig regelmäßige körperliche Aktivität nicht nur bei Herzgesunden, sondern gerade auch bei Patient*Innen mit Fontan-Zirkulation (bei entsprechend gutem Allgemeinzustand) ist. Zuletzt veröffentlichte Studien deuten darauf hin, dass durch die Corona-Pandemie das ohnehin schon niedrige Aktivitätsniveau insbesondere bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen mit angeborenen Herzfehlern weiter gesunken ist. Daher sollte unbedingt versucht werden, dem Bewegungsmangel beispielweise durch Empfehlungen der betreuenden Ärzt*Innen, Lehrer*Innen und Eltern entgegenzuwirken. Unserer Ansicht nach sollte dafür auf eine Kombination aus Ausdauersport und Kraftausdauertraining gesetzt werden. Das Wichtigste sollte allerdings sein, dass eine Bewegungsform gewählt wird, die den betroffenen Patient*Innen Spaß macht, da kontinuierliche körperliche Aktivität meist nur so aufrechterhalten wird.

Die Studienergebnisse sollen mittelfristig dazu beitragen, allgemeingültigere Höhenempfehlungen für Fontan-Patient*Innen aussprechen und mögliche Risikofaktoren benennen zu können. Aktuell sollte aber weiterhin vor einer geplanten Höhenexposition eine individuelle Beratung bei den behandelnden Kinderkardiolog*Innen erfolgen.

Die HypoFon-Studie war für alle Beteiligten ein voller Erfolg und auch die Proband*Innen zeigten sich am Ende der Studie sehr zufrieden. Viele gaben abschließend an, sich nun auch einen Langstreckenflug allein zuzutrauen. Andere wurden darin bestärkt, sich weiterhin regelmäßig zu bewegen. Zudem gab es



Abb. 4: Studienteilnehmer Andreas vor der Belastungsuntersuchung auf dem Fahrradergometer

Alle Studienproband*Innen absolvierten während der Studie eine Belastungsuntersuchung in normaler Raumluft und unter Höhenbedingungen. (Foto: © DLR)

während des langen Untersuchungszeitraums immer wieder genug Gelegenheit, endlich einmal alle Fragen zum eigenen Herzfehler stellen zu können, die im hektischen Klinikalltag manchmal untergehen, was sowohl für das Ärzteteam als auch für die Proband*Innen sehr wertvoll war.

Diese Erfahrungen treiben uns an, weitere Forschungsprojekte für unsere Herzpatient*Innen in Kooperation mit den beteiligten Institutionen auf den Weg zu bringen.

Abschließend möchten wir noch einmal herzlich unseren Studienteilnehmer*Innen danken, die durch ihre Offenheit,

Begeisterung und Bereitschaft, bis an die eigenen Grenzen zu gehen, den Erfolg dieser Studie erst ermöglicht haben.

Bei Interesse, an Folgeprojekten teilzunehmen, melden Sie sich gerne in der Abteilung für Kinderkardiologie des Universitätsklinikums Bonn.

*Der Artikel wurde von
Dr. Julian Alexander Härtel,
Assistenzarzt am Universitätsklinikum Bonn, verfasst,
der die HypoFon-Studie gemeinsam mit Dr. Nicole Müller,
Oberärztin der Abteilung für Kinderkardiologie, leitete.*

*Zur Arbeitsgruppe am UKB gehören zudem
Prof. Johannes Breuer, Direktor der Abteilung für Kinderkardiologie,
Prof. Ulrike Herberg, stellv. Direktorin der Abteilung
für Kinderkardiologie und
Dr. Christopher Hart, Oberarzt der Abteilung für Kinderkardiologie.*



*Kontakt zum Autor:
Dr. med. Julian Alexander Härtel
Assistenzarzt der Abt. für Kinderkardiologie
des Universitätsklinikums Bonn
Julian.Haertel@ukbonn.de*