DER EINSATZ VON INTRAOKULAREM GAS IN DER AUGENCHIRURGIE UND DESSEN AUSWIRKUNGEN AUF DAS SPORTTAUCHEN

Eine der größten Herausforderungen beim Sporttauchen ist die Vermeidung von Unfällen, die von sich im menschlichen Körper befindlichen Gasen verursacht werden.
Während es fast unmöglich ist, die Flüssigkeiten in unserem Körper zu komprimieren, reagieren Gase auf Unterschiede im Gewebedruck mit Veränderungen ihres Volumens. Mit steigendem Gewebedruck verlieren die Gase an Volumina und lösen sich in der Regel in organischen Flüssigkeiten auf.

Mit sinkendem Gewebedruck allerdings, nehmen die Gase an Volumina zu. In dieser Dekompressionsphase sind die Gase nun nicht mehr länger flüssig, sondern bilden Blasen. Dies ist die Ursache der sogenannten „Dekompressionskrankheit“. Aber wo finden wir unter normalen Umständen Gase in unserem Körper? Wie alle Sporttaucher wissen, befinden sich die Gase in der Lunge, den Atemwegen, im Mittelohr, in den Nasennebenhöhlen, im Darm usw. Es gibt aber auch ungewöhnliche Umstände bei denen Gase in Teilen des Körpers zu finden sind, in denen normalerweise keine sein sollten. Abgesehen von einigen seltenen Krankheiten ist der Hauptverursacher dieser Gase iatrogen, d.h. durch ärztliche Behandlung ausgelöst.

Gase werden von Ärzten für diagnostische und therapeutische Zwecke eingesetzt. In der Diagnostik werden Gase manchmal in der Radiologie benutzt, z.B. bei Darmuntersuchungen. Für therapeutische Zwecke werden Gase bei chirurgischen Eingriffen eingesetzt, z.B. bei Unterleibsoperationen aber auch in der Gynäkologie und der Augenheilkunde. In diesen Fällen kann das Gas, das nach der OP noch im Körper ist, eine Einschränkung für den Sporttaucher bedeuten. Mit diesem Artikel möchten wir uns den Einsatz von Gas bei Augenoperationen ansehen, mit einem besonderen Augenmerk auf die Netzhaut- und Glaskörperchirurgie, und deren Einfluss auf die Häufigkeit der Ausübung des Sporttauchens nach dem Eingriff. Um dies für alle Leser verständlich darzustellen, werden wir mathematische Formeln vermeiden und physikalische Konzepte erklären, da diese manchmal schwer zu verstehen sein können.

Hintergrund

Im Jahre 1607 wurde zum ersten Mal eine Gasblase im Auge eines Tieres beobachtet. Robert Boyle baute eine Druckkammer, in welche er mehrere Tiere setzte. Als er eine Viper der Dekompression in seiner Kammer aussetzte, konnte er Gasblasen in deren Auge beobachten. Allerdings konnte er nicht erklären, wie diese entstanden waren. Dieser Versuch war die erste im Labor erzeugte Dekompressionskrankheit in der Geschichte der Medizin.

Der Einsatz von Gasen bei chirurgischen Eingriffen am Auge ist allerdings erst seit Anfang des letzten Jahrhunderts üblich. Der erste Versuch intravenöses Gas bei Netzhautablösung einzusetzen fand im Jahre 1909 statt. Das eingesetzte Gas war Luft. In der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts, begannen Augenchirurgen Luft bei buckelchirurgischen Eingriffen zur Behandlung von Netzhautablösungen einzusetzen.
Später wurden pure langlebige Gase und Gasmischungen eingesetzt. Heute werden diese Gase bei Netzhaut- und Glaskörpereingriffen eingesetzt, vornehmlich bei pneumatischer Retinopexie und der Vitrektomie.

Der Einsatz von Gasen in der Augenchirurgie heute

Bei Eingriffen im vorderen Teil des Auges, besonders bei grauem und grünem Star wird als einziges Gas Luft benutzt. Der Einsatz von Gas bei diesen Operationen ist heutzutage eher selten, da andere viskoelastische Substanzen Luft ersetzt haben, zumindest in der modernen Chirurgie. Das Gas wird in diesen Fällen dazu benutzt um Platz zu erzeugen und ist ein Mittel um die Teile des Auges zu trennen, an welchen operiert werden muss. Da die Menge von Luft, die in der vorderen Kammer eingesetzt wird sehr gering ist, wird das Gas in ein bis zwei Tagen wieder absorbiert und stellt daher kein Problem für Patienten dar, die, nachdem die Operationswunde verheilt ist, tauchen gehen wollen. Allerdings muss hier angemerkt werden, dass selbst wenn sich kein Gas mehr im Auge befindet, es immer noch empfehlenswert ist, mindestens zwei Monate lang nach dem Eingriff zu warten bevor man wieder tauchen geht, um Infektionen oder ein Aufreißen der Wunde zu vermeiden.

Bei Eingriffen im hinteren Teil des Auges
Langlebige Gase im Auge können ernsthafte Probleme für die Patienten darstellen, die zu schnell wieder tauchen gehen. Diese Gase werden in der Netzhaut-und Glaskörperchirurgie eingesetzt, besonders bei Eingriffen zur Behandlung von Netzhautablösung oder Makuladegeneration. In diesen Fällen wird das Gas nicht dazu benutzt um „Platz zu schaffen“ oder einzelne Teile des Auges besser erreichen zu können (was natürlich dann aber dazu führt, dass diese schwieriger zu identifizieren sind), sondern als Tamponade. Das bedeutet, dass das Gas gegen die abgelöste Netzhaut drückt, um diese wieder in ihre normale Position an der Augenwand zurückzudrängen. Um dies besser verstehen zu können, stellen wir uns das Auge als einen Raum vor.

Die Wände des Raumes sind mit Tapete verkleidet. Ein Riss in dieser Tapete ist der beste Vergleich für einen Netzhautriss. Wenn die Tapete gerissen ist, kann Feuchtigkeit durch sie hindurch dringen und den Rest der Tapete ablösen. Die Ursache für Netzhautrisse kann eine hintere Ablösung des Glaskörpers sein. Dies ist ein Zustand, der meistens eintritt nachdem ein bestimmtes Alter überschritten ist. Diese komplexen Gegebenheiten werden an dieser Stelle nicht näher erläutert. Es sollte allerdings noch gesagt werden, dass dieser Zustand in manchen Fällen dazu führt, dass die Netzhaut reißt. Dies kann dann wiederum zu schweren oder weniger schweren Netzhautablösungen führen. In den meisten Fällen zieht ein Netzhautriss nicht gleich eine Netzhautablösung nach sich. Viele dieser Risse können allerdings mit einer Lasertherapie behandelt werden, sollte der Augenchirurg entscheiden, dass diese gefährlich sind und eine Netzhautablösung auslösen könnten (Abbildung 1 und 2).

Andere Netzhautkrankheiten, welche eine Veranlagung für Risse in der Netzhaut darstellen, können mit einer Lasertherapie behandelt werden. Wenn der Riss zu einer Ablösung der Netzhaut führt, bildet sich eine Flüssigkeit zwischen der Netzhaut und der Augenwand, welche den normalen Stoffwechsel zwischen der Netzhaut und der Aderhaut, welche reich an Blutgefäßen ist und so die Nahrung für die Nervenzellen in der Netzhaut liefert, verhindert. Sollte diese Ablösung nicht behandelt werden, weitet sie sich meistens auf die ganze Netzhaut aus und führt zu Blindheit. Das Ziel des chirurgischen Eingriffes ist es, die Risse in der Netzhaut zu schließen und dafür zu sorgen, dass die sich unter der Netzhaut befindliche Flüssigkeit wieder absorbiert werden kann. Der Netzhautriss kann durch sogenannte sklerale Plomben geschlossen werden. Bei diesem Vorgang wird ein eindellendes Element (normalerweise aus Schwamm- oder Silikongummi) auf der externen Augenwand positioniert.

So wird die Augenwand von außen gegen die Netzhaut gepresst und die Lücke somit funktionsfähig verschlossen. Allerdings kann ein Schließen des Netzhautrisses auch von innen mit einer Vitrektomie erreicht werden. Bei diesem Vorgang wird der Glaskörper mit dem geeigneten Werkzeug entfernt und es wird eine Tamponade eingeführt (in Form von Gas oder Flüssigkeit) welche die Netzhaut von innen gegen die Augenwand drückt und so den Riss schließt und die Resorption der Flüssigkeit unter der Netzhaut ermöglicht. Der Fortschritt in den Operationstechniken bei Netzhautablösung hat zu einer Zunahme im

Einsatz von Gas bei chirurgischen Eingriffen geführt.

In einigen ausgewählten Fällen haben Chirurgen im Laufe der letzten Jahre begonnen einen minimal invasiven Eingriff (pneumatische Retinopexie) durchzuführen. Bei diesem Eingriff wird Gas in das Auge injiziert und danach der Riss (die Ursache der Netzhautablösung) mit einem Laser behoben. So wird die Netzhautablösung ohne den Einsatz von chirurgischen Werkzeugen behandelt, sondern nur mit der Injektion von Gas, welches die Netzhaut gegen die Augenwand drückt und sie so wieder anlegt. Die Gasblase, die so eingeführt wird, „gleitet" normalerweise, d.h. sie setzt sich im oberen Teil des Auges fest (siehe Abbildung 2). Wenn der Patient liegt, so drückt die Blase gegen die Linse. Wenn der Patient aufrecht steht oder sitzt, dann presst er die Netzhaut vom oberen Teil des Auges zusammen. Deshalb ist es nötig, dass der Patient in den ersten 24-36 Stunden nach der Operationen in der vom Chirurg angeordneten Position verweilt, damit die Gasblase genau auf das Netzhautloch drückt, von der die Abhebung ausgeht. Normalerweise wird das, in das Auge injizierte, Gas innerhalb eines Monats komplett vom Augengewebe absorbiert.

Wie lange das Gas nach dem Eingriff im Auge bleibt

Nicht alle Gase bleiben gleich lange im Auge.

Nach der Einbringung ins Auge verändert sich das Volumen von Luft anfangs nicht, während andere Gase wie Schwefelhexafluorid und Perfluorcarbone sich meistens in den ersten Tagen nach dem Eingriff ausbreiten und an Volumina zunehmen, um dann allmählich wieder absorbiert zu werden. Wenn eine anfängliche Ausbreitung des Gases nicht von Nöten ist, wird eine Gasmischung mit Luft in das Auge injiziert, und keine puren Gase. Dies dient dazu eine anfängliche Ausdehnung des Auges zu vermeiden.

Egal ob es sich nun um pure Gase oder Gasmischungen handelt, das Gas wird nach ein paar Tagen vom Gewebe absorbiert und die Blase im Auge schrumpft. Die Gesamtzeit, welche das Gewebe benötigt, um die Blase komplett zu absorbieren, ist von Gas zu Gas unterschiedlich. In manchen Fällen muss die Netzhaut drei bis vier Wochen lang nach dem Eingriff tamponiert werden. Normalerweise werden alle Gase aber nach ungefähr einem Monat vom Augengewebe absorbiert.

Augeninnendruck

Der Augeninnendruck wird normalerweise von einem Augenspezialist mit Hilfe eines Tonometers gemessen. Dieser Augeninnendruck (welchen man besser als relativen Augeninnendruck bezeichnen sollte) berechnet sich aus der Differenz zwischen dem absoluten Druck im Auge und dem absoluten Luftdruck. Ein Druck zwischen 10 und 20mm Hg wird als normal angesehen. Der absolute Druck im Auge ist normalerweise 10 bis 20mm Hg höher als der Druck der absoluten Umgebungsluft. Wenn Gas in einem Operationssaal in das Auge injiziert wird, stabilisiert sich der Druck nach einem anfänglichen Anstieg von einigen Stunden und kehrt dann zurück auf 10-20mm Hg, da der Gasaustausch zwischen der Blase und dem Augengewebe eher langsam ist. Wenn sich eine Gasblase im Auge befindet, können schnelle Veränderungen im Außendruck (z.B. beim Tauchen oder Fliegen) zu Schwankungen des Augeninnendrucks führen. In der Tat kann die Gasblase nicht durch das Auge „durchsickern" oder vom Gewebe schnell genug aufgenommen werden. Wie oben erwähnt ergibt sich der Augeninnendruck durch die Differenz zwischen absolutem Druck im Auge und dem absoluten Außendruck. Deshalb nimmt, in Anwesenheit einer Gasblase, der Augeninnendruck zu, wenn der Außendruck abnimmt (beim Fliegen zum Beispiel).

Wenn in Anwesenheit einer Gasblase der Außendruck zunimmt, wie zum Beispiel beim Tauchen, dann nimmt der Augeninnendruck ab. Eine Erhöhung des Augeninnendrucks ist gefährlich auf Grund des Schadens, welche die sich ausbreitende Gasblase im inneren Auge anrichten kann, wenn sie sich

ausdehnt. Eine Abnahme des Augeninnendrucks ist auch gefährlich auf Grund des Drucks welchen das Gewebe um das Auge auf den Augapfel (der dann schlaff wird) ausübt.

Intraokulares Gas und Sporttauchen

Stellen Sie sich vor man taucht mit ungeschützten Augen oder mit Kontaktlinsen aber ohne Tauchermaske. Während des Abtauchens gelangt der Außendruck des Wassers durch das Augengewebe. In diesem Fall stimmt der Wasseraußendruck mit dem Innendruck in allen Teilen des Auges überein. Der Augeninnendruck (relativ), wie oben definiert, bleibt normalerweise stabil. Der absolute Druck im Auge nimmt allerdings zu, verglichen mit dem Druck an der Wasseroberfläche. Der Überdruck führt zu einer Abnahme des Volumens der Gasblase, welche vor dem Tauchen schrittweise in das Auge eingeführt wurde, und führt dann zum Kollaps der Augenwand und kann eine potentielle Gefahr für die inneren Teile des Auges bedeuten. In Wirklichkeit tragen Taucher normalerweise eine Maske, die mit Luft gefüllt ist. Es ist deshalb schwierig den Druck auf Grund dieser Luftblase genau zu bestimmen. Die Übergangsstelle zwischen der Luft und dem Gesicht des Tauchers ist der wichtigste Punkt für die Druckmesskurve. Wenn der Druck in dem Luftraum vor den Augen des Tauchers nicht mit der „Maskendruckkompensation" zunimmt, wird der Luftdruck in der Maske geringer als der außerhalb des Wassers. Die Folge ist eine Sogwirkung, das sogenannte Maskenbarotrauma. Das Gewebe im Auge und im Gesicht mit einem höheren Druck als der in der Maske, wird durch den Druck in die Maske selbst gesogen.

Dieses Phänomen wird in der Fachsprache als Maskenbarotrauma bezeichnet. Die Folge ist eine Deformation und eine Verschiebung des Augengewebes in das Innere der Maske, ein Ödem im Gewebe und manchmal Blutungen. In der Tat wird beim Abtauchen die Differenz zwischen dem Druck in den Blutgefäßen und dem interstitiellen Gewebe und dem Luftdruck in der Maske größer, im Vergleich zu den Verhältnissen an der Wasseroberfläche. Deshalb verursachen Tauchunfälle, bei denen Druck in der Maske nicht richtig ausgeglichen wird, Schäden am Auge und verursachen Schmerzen und subkonjunktivale Blutungen. Zum Glück sind Schäden am und Blutungen im Auge eher selten. Bei einem Unterwassertaucher, der eine Gasblase in seinem Auge hat, nimmt das Gas, falls der Druck in der Maske gleich dem Außendruck des Wassers ist, an Volumina ab und das Auge kann zusammenfallen, wie in dem Beispiel des ungeschützten Auges unter Wasser.

Druckschwankungen in der Maske, wie auch im Außendruck des Wassers, können eine Veränderung des Gasvolumens innerhalb des Auges nach sich ziehen. Bei einem Maskenbarotrauma kann der Druck in der Maske, der niedriger ist als der im Wasser (und so auch als der im Auge), zu einer Zunahme an Volumen der Gasblase im Auge führen. Dies kann den Augapfel auseinanderziehen und ein Verschieben der Linse und anderer Teile des Auges nach vorne nach sich ziehen. Umgekehrt ist dies nicht möglich, da, wenn der Druck in der Maske höher ist als der des Wassers (und deshalb auch des Auges), es zu einem Austreten von Luft aus der Maske und so zu einem Wiederausgleich des Drucks innerhalb der Maske kommt, welcher dann wieder dem außerhalb der Maske gleicht. Im Angesicht dieser physikalischen und physischen Hintergründe ist es empfehlenswert nicht zu tauchen so lange das Gas sich nach einem chirurgischen Eingriff im Auge befindet. Diese Empfehlung ist auch auf der Packungsbeilage der Gasflaschen zu lesen, welche während des Eingriffes benutzt werden.

Fliegen mit Gas im Auge

Sporttaucher legen oft lange Strecken zurück, um abgelegene Tauchgebiete zu erreichen. Fliegen ist gefährlich für das Auge, wenn sich Gas im Augeninneren befindet. Luftdruck im Passagierraum von

Flugzeugen gleicht normalerweise dem Umgebungsdruck von Bergen mit einer Höhe von 1500 Metern über dem Meeresspiegel. Der absolute Augeninnendruck, wie oben definiert, bleibt normalerweise stabil. Der relative Augeninnendruck (d.h. Im Vergleich zum Außendruck) nimmt zu, verglichen mit dem Druck am Abflugsort (natürlich nur, wenn der Flughafen unter einer Höhe von 1500m über dem Meeresspiegel liegt). An Bord eines Flugzeugs führt dies zu einer Ausdehnung der Gasblase, die in das Auge bei Raumdruck (in einem Operationssaal) eingeführt wurde, einem Druck, der normalerweise dem gleichkommt, der auf Meereshöhe herrscht und daher höher ist. Die so ausgedehnte Gasblase kann zu Schäden am Auge führen, z.B. zum Verschieben und Zusammenpressen des Gewebes. Deshalb sollten Flugreisen vermieden werden, wenn man eine Gasblase im Auge hat.

Die Auswirkungen auf das Sporttauchen

Laser treatment for retinal breaks.
Taucher fragen oft nach mehr Informationen über diese Behandlung. In manchen Fällen wird bei diesem Eingriff Gas in das Auge injiziert (pneumatische Retinopexie). Dieser Eingriff wird weiter unten noch genauer untersucht. In den meisten Fällen allerdings wird eine Laserbehandlung ohne das Einführen von Gas durchgeführt. Dies ist dann eine prophylaktische Behandlung von Netzhautrissen, welche ausgeführt wird, um das Auftreten einer Netzhautablösung zu verhindern. In manchen Fällen kann eine kleine lokale Abhebung durch eine Laserbehandlung abgegrenzt werden, um die Ausbreitung auf andere Teile der Netzhaut zu vermeiden und so einen größeren Schaden zu verhindern.

Bei manchen chirurgischen Eingriffen zur Behandlung von Netzhautablösungen wird die Laserbehandlung durchgeführt, nachdem die Netzhaut bereits durch Eingriffe auf der äußeren Augenhaut oder am hinteren Teil des Auges (Vitrektomie oder pneumatische Retinopexie) angelegt wurde. Alle Laserbehandlungen bestehen darin, dass die Netzhaut durch ein Mikroskop verbrannt wird. Wenn die Netzhaut dann vernarbt, wird ein Durchdringen von Flüssigkeit aus dem Glaskörper in den unter der Netzhaut liegenden Bereich verhindert. Für das Tauchen besteht nach einer Laserbehandlung von Netzhautrissen oder Netzhautablösung keine Einschränkung, wenn kein Gas eingesetzt wurde. Natürlich sollte man ein Augentrauma oder anstrengende Tätigkeiten drei Wochen lang nach dem Eingriff vermeiden bis die Narben verheilt sind. Ein Maskenbarotrauma sollte während des Tauchens auch unbedingt vermieden werden.

Chirurgische Eingriffe bei grauem Star, pneumatische Retinopexie, Vitrektomie und Eingriffe auf der äußeren Augenhaut bei Netzhautablösung.
Als Vorbeugung sollte man ungefähr zwei Monate nach dem chirurgischen Eingriff weder tauchen noch fliegen. Diese Zeitspanne bietet dem Augengewebe genug Zeit, um das Gas, das während der Operation eingesetzt wurde, zu absorbieren. Tauchen und Fliegen kann unter Umständen auch schon früher nach der Entwarnung eines Augenspezialisten erlaubt werden, sollte während der Operation kein Gas eingesetzt worden sein. Falls Gas injiziert wurde, kann der Spezialist nachsehen um sicher zu gehen, dass sich kein Gas mehr im Auge befindet und die Operationswunde komplett verheilt ist.

Abbildung 1	Abbildung 2	Abbildung 3

Danksagung

Besonders möchten wir uns bei Diego Dick, Giorgio Orlandelli und Dr. Paolo Perosa des Cala Lunga Tauchcenters in La Maddalena für Ihre Hilfe bei der Zusammenstellung dieses Artikels bedanken.