

Aus dem Institut für Sport und Sportwissenschaften
der Christian- Albrechts- Universität zu Kiel

**EINFLUSS VON SPORT UND BEWEGUNG AUF DEN AUGENINNENDRUCK BEI
GESUNDEN- VERGLEICH VON AUSDAUER- UND KRAFTBELASTUNGEN**

Inauguraldissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der Medizinischen Fakultät
der Christian- Albrechts- Universität zu Kiel

vorgelegt von
JOHANNA, SCHILLER
aus **Hamburg**
Kiel **2010**

1. Berichterstatter: Prof.Dr. Weisser _____

2. Berichterstatter: PD. Dr. Koch _____

Tag der mündlichen Prüfung: 8.12.2010 _____

Zum Druck genehmigt, Kiel, den 8.12.2010 _____

gez. Prof.Dr. Roider _____

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	1
Tabellenverzeichnis.....	3
Abbildungsverzeichnis.....	3
1 Einleitung.....	4
2 Theoretischer Hintergrund.....	5
2.1.1 Regulation des Augeninnendrucks.....	5
2.1.2 Regulation und Einflussfaktoren auf den Augeninnendruck.....	6
2.1.3 Körperliche Aktivität und Augeninnendruck.....	9
2.2 Das Glaukom.....	11
2.2.1 Definition und Prävalenz.....	12
2.2.2 Einteilung der Glaukomformen und Pathogenese des Glaukoms.....	13
2.2.3 Risikofaktoren für die Entstehung eines Glaukoms.....	15
2.3 Zentrale Fragestellungen der Untersuchungen.....	16
3 Material und Methoden.....	17
3.1 Die Probanden.....	17
3.2 Die Sportgeräte.....	18
3.2.1 Das Fahrradergometer.....	18
3.2.2 Die Kraftgeräte.....	18
3.3 Datenerhebung: Das Messverfahren mit dem iCare Tonometer.....	19
3.4 Durchführung.....	22
3.4.1 Ausdauerbelastung auf dem Fahrradergometer.....	22
3.4.2 Krafttraining.....	22
3.5 Operationalisierung der Forschungshypothesen.....	23
3.6 Statistische Berechnungen.....	25
4 Ergebnisse.....	25
4.1 Effekte von Ausdauerbelastung auf dem Fahrradergometer auf den Augeninnendruck.....	26
4.2 Einfluss von Kraftbelastung auf den Augeninnendruck.....	27
4.2.1 Einfluss von Legcurl 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft auf den Augeninnendruck.....	28
4.2.2 Einfluss von Legcurl 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft auf den Augeninnendruck.....	29
4.2.3 Einfluss von 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft am Butterflygerät auf den Augeninnendruck.....	30
4.2.4 Einfluss von 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft am Butterflygerät auf den Augeninnendruck.....	32
4.2.5 Unterschiede in den Effekten von Krafttraining der oberen, beziehungsweise unteren Extremität auf den Augeninnendruck.....	33
4.2.6 Unterschiede in den Effekten von Belastung bei unterschiedlichen Intensitäten auf den Augeninnendruck.....	34
5 Diskussion.....	34
5.1 Schlussfolgerungen.....	34
5.1.1 Ausdauerbelastung auf dem Fahrradergometer.....	34
5.1.2 Kraftbelastung.....	34
5.2 Methodenkritik.....	37
5.3 Ausblick.....	38
6 Zusammenfassung.....	39
7 Literaturverzeichnis.....	42

8 Anhang.....	49
8.1 Anhang 1: Fragebogen für Effekte von Ausdauer- und Kraftbelastung auf den Augeninnendruck	49
Danksagung.....	50
Lebenslauf.....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über Ätiologie und relative Häufigkeiten der verschiedenen Glaukomformen.....	13
--	----

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über das Auge	6
Abbildung 2: Weg des Kammerwassers.....	6
Abbildung 3: Legcurlgerät	18
Abbildung 4: Butterflygerät	19
Abbildung 5: Das iCare Tonometer	21
Abbildung 6: Augeninnendruck während des Versuchs zur Ausdauerbelastung	27
Abbildung 7: Augeninnendruck während des Versuchs zur Belastung mit 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft am Legcurlgerät	29
Abbildung 8: Augeninnendruck während des Versuchs zur Belastung mit 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft am Legcurlgerät	30
Abbildung 9: Augeninnendruck während des Versuchs zur Belastung mit 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft am Butterflygerät	31
Abbildung 10: Augeninnendruck während des Versuchs zur Belastung mit 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft.....	33

1 Einleitung

Das Glaukom ist in Deutschland eine der häufigsten Erblindungsursachen. Zu erblinden bedeutet für die betroffenen Menschen meist einen schlimmen Schicksalsschlag, der mit großem Leid und umfangreichen Veränderungen des persönlichen Umfelds einhergeht. Auch volkswirtschaftlich entstehen hohe Schadenssummen, besonders bei den Sozialversicherungssystemen. Wird außerdem die Tendenz berücksichtigt, dass die Prävalenz von Glaukomerkrankungen mit zunehmendem Alter steigt, ältere Jahrgänge aber wegen des demografischen Wandels in der Bundesrepublik zunehmend größere Bevölkerungsanteile einnehmen werden, erscheint es wichtig, Einfluss- und Risikofaktoren für die Entwicklung eines Glaukoms zu untersuchen.

Neben anderen Einfluss- und Riskofaktoren haben sich seit den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts immer wieder Forscher mit den Auswirkungen von Sport auf den Augeninnendruck auseinandergesetzt. Dabei stellte sich heraus, dass viele aerobe Sportarten (Joggen, Fußmärsche, Fahrradfahren) den Augeninnendruck senken, die Datenlage zu den Auswirkungen von Krafttraining hingegen kontrovers ist. (Vieira et al., 2006, Avunduk et al., 1999, Dickerman et al., 1999).

Vor dem Hintergrund abweichender Forschungsergebnisse und weil sich Krafttraining in Fitnessstudios zu einem immer beliebteren Freizeitsport entwickelt, scheint es besonders sinnvoll, den Einfluss des Krafttraining auf den Augeninnendruck zu klären, um so eine präventivmedizinische Empfehlung an Glaukompatienten oder an glaukomgefährdete Menschen aussprechen zu können.

Ein Großteil der Studien zur Auswirkung von Krafttraining auf den Augeninnendruck reflektiert Versuchsergebnisse, die durch Bankdrücken mit hohen Intensitäten ermittelt wurden. Bankdrücken ist zwar eine beliebte Übung, gerade zum Muskelaufbau, allerdings stellte sich die Frage, ob ein Krafttraining an anderen Geräten den gleichen Effekt auf den Augeninnendruck zur Folge hat. Da außerdem viele Freizeitsportler, Frauen und auch ältere Menschen eher mit niedrigeren Intensitäten trainieren, sollte in dieser Arbeit die Auswirkung von Belastung mit niedrigeren Intensitäten und höherer Wiederholungszahl untersucht werden.

Besonders vielversprechend erschien es, dieselben Probanden auch in Bezug auf Ausdauersport zu testen, da bislang keine Studie die Befunde zu Kraft- und Ausdauersport in derselben Untersuchungsgruppe getestet hat.

So ergab sich für die vorliegende Arbeit das Thema: Einfluss von Sport und Bewegung auf den Augeninnendruck – Vergleich von Ausdauer- und Kraftbelastungen.

2 Theoretischer Hintergrund

2.1.1 Regulation des Augeninnendrucks

Bei einer Reihenuntersuchung zum Augeninnendruck von 10 000 Probanden und 19 800 Augen ermittelten Leydhecker et al. (1958) einen mittleren Augeninnendruck von 15,5 mmHg. Bei ± 2 Standardabweichungen ergibt dies einen Normalbereich von 10,5 – 20,5 mmHg (Leydhecker et al., 1958). Heute ist dieser der allgemein geltende Normalbereich des Augeninnendrucks in der Normalpopulation. Bei einer Kammerwasserproduktion von 2,0-2,4 μl pro Minute (Schlote et al., 2004) wird der Augeninnendruck vor allem durch den Abflusswiderstand im Trabekelwerk und den episkleralen Venen bestimmt (Kanski, 2004). Das Kammerwasser, das ihn aufrechterhält, wird vom Ziliarepithel mit der oben genannten Rate durch aktive Sekretion und Ultrafiltration in die Hinterkammer des Auges sezerniert. Wie in Abbildung 2 dargestellt, fließt das Wasser aus der Hinterkammer durch die Pupille in die Vorderkammer, in den Kammerwinkel und von dort zu 85% durch das Trabekelwerk in den Schlemmschen Kanal und dann in die episkleralen Sammelvenen. Die restlichen 15 % fließen über ein uveosklerales Gefäßsystem in den allgemeinen venösen Kreislauf (Lang, 2008).

Auf seinem Weg durch das Auge ist das Kammerwasser zwei physiologischen Widerständen ausgesetzt, die den Augeninnendruck durch den Abflusswiderstand mitbestimmen.

Der erste Widerstand ist derjenige, den die Iris dem Kammerwasser entgegenbringt, indem sie der Linsenvorderfläche anliegt. Das Kammerwasser kann erst in die Vorderkammer fließen, wenn der Druck in der Hinterkammer so groß wird, dass die Iris von der Linse abgehoben werden kann. Dieser Pupillendurchflusswiderstand ist von Bedeutung bei Entstehung des Winkelblockglaukoms (siehe Kapitel 2.2.2). Steigert er sich, kommt es zu einer Druckerhöhung in der Hinterkammer, die Iris wird an ihrer Wurzel nach vorne gedrückt, schiebt sich vor das Trabekelwerk und vermindert so den Abfluss des Kammerwassers.

Der zweite physiologische Widerstand befindet sich im Trabekelwerk selbst. Die Trabekel sind flache, fenestrierte Bindegewebszüge, die von Mesothelzellen überzogen sind. Durch die Fontana- Räume (die Spalten zwischen den Trabekeln) sickert das Kammerwasser bis in den

Schlemm'schen Kanal. Einen erhöhten Widerstand hier findet man beim zahlenmäßig deutlich häufigerem Offenwinkelglaukom (siehe Kapitel 2.2.2).

Generell muss festgehalten werden, dass der Anstieg des Augeninnendrucks nicht durch Überproduktion von Kammerwasser bedingt ist, sondern durch einen erhöhten Abflusswiderstand. Durch den erhöhten Augeninnendruck kann es dann rein mechanisch, durch Durchblutungsstörungen, aber auch durch eine Reihe weiterer pathophysiologischer Veränderungen zu Schädigung und Degeneration der Axone des Nervus Opticus kommen.

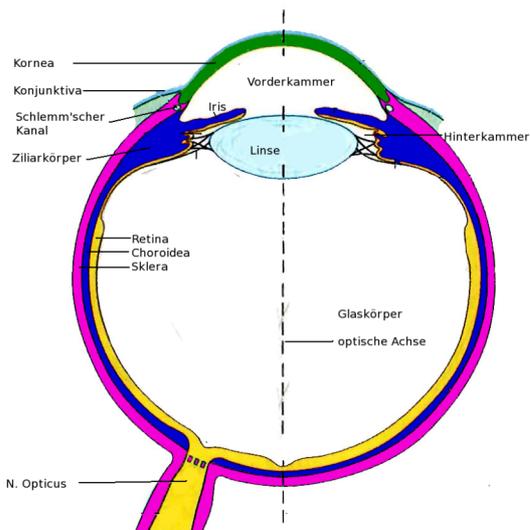


Abbildung 1: Übersicht über das Auge
(eigene Abbildung, nach Lüllman- Rauch, 2003)

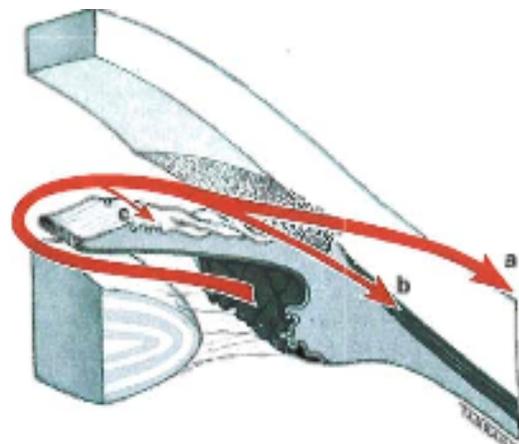


Abbildung 2: Weg des Kammerwassers
(Kanski, 2004)

2.1.2 Regulation und Einflussfaktoren auf den Augeninnendruck

Es gibt zahlreiche Studien über Einflussfaktoren und die Regulation des Augeninnendrucks. Das folgende Kapitel gibt eine kurze Übersicht über die Literatur und den aktuellen Forschungsstand zur Problematik.

Der Augeninnendruck ist keine feste Größe, sondern unterliegt tageszeitlichen Schwankungen. Den bisherigen Studien zufolge wurden immer in den frühen Morgenstunden, beziehungsweise nach dem Aufwachen, die höchsten Werte gemessen (Kida et al. 2006, Saccá et al. 1998, Qureshi et al. 1996, Fogagnolo et al. 2006, Frampton et al. 1987), im Laufe des Tages sinkt der Augeninnendruck dann wieder ab. Saccá et al. (1998) untersuchten dieses Phänomen bei Glaukompatienten genauer und fanden heraus, dass diese tageszeitlich bedingten Schwankungen bei Patienten mit primärem Offenwinkelglaukom im

Vergleich zu gesunden Probanden und Patienten mit Normaldruckglaukom signifikant stärker ausgeprägt waren. Frampton et al. (1987) ließen die Probanden, bei denen sie zuvor Augeninnendruckspitzen nach dem Aufwachen gemessen hatten, eine Nacht in aufrechter Position durchwachen und maßen einen Augeninnendruckabfall in den Morgenstunden. Sie ließen dann einen Teil der Probanden von 6.00 h bis 8.00 h schlafen und verzeichneten im Vergleich zu denen, die nicht geschlafen hatten, Augeninnendruckanstiege.

Dies lässt vermuten, dass nicht alleine die Tageszeit, sondern physiologische Veränderungen während des Schlafes Einfluss auf den Augeninnendruck nehmen.

Ein weiterer Faktor, der zwar nicht den Augeninnendruck direkt beeinflusst, sondern nur indirekt Einfluss auf den Messwert ausübt, ist die zentrale Hornhautdicke. Der Normwert der Hornhautdicke liegt bei 0,55mm (Grehn, 2008). Ist die Hornhaut dünner, so führt das zumeist zu falsch niedrigen Werten in der Applanationstonometrie, ist sie dicker, zu falsch hohen Augeninnendruckwerten. Pro Abweichung von 50µm Hornhautdicke sollte deshalb ein mit Applanationstonometrie gemessener Wert mit einem Korrekturfaktor von 2-3 mmHg korrigiert werden.

Wie der Augeninnendruck unterliegt auch die Hornhautdicke tageszeitlich bedingten Schwankungen. Kida et al. (2006) beobachteten einen Anstieg der zentralen Hornhautdicke mit Erreichen der maximalen Dicke zwischen 1.30 h und 5.30 h und einen anschließenden Abfall der Hornhautdicke. Die Schwankungen der Hornhautdicke sind aber unabhängig von denen des Augeninnendrucks.

Martin et al. (1999), sowie Moura et al. (2002) untersuchten den Einfluss der Flüssigkeitsaufnahme auf den Augeninnendruck und stellten fest, dass letzterer bei Wasserkonsum ansteigt.

Martin et al. (1999) verglichen den Einfluss von Sport auf den Augeninnendruck mit und ohne Wasserkonsum und stellten fest, dass der Augeninnendruck mit Belastung in beiden Gruppen abnahm. Allerdings wies die Gruppe, die kein Wasser getrunken hatte, signifikant niedrigere Augeninnendruckwerte gegenüber der Gruppe, die getrunken hatte, auf.

Auch Moura et al. (2002) verglichen die Augeninnendrucke bei verschiedenen Hydrationszuständen in Ruhe und nach Belastung durch Fahren auf dem Fahrradergometer. Moura et al. (2002) beobachteten sowohl in Ruhe wie auch nach Belastung einen initialen Anstieg des Augeninnendrucks nach Wasserkonsum und dann eine Rückkehr auf den Ausgangswert.

Weiterhin wurde in zahlreichen Studien untersucht, ob die Jahreszeiten einen Effekt auf den Augeninnendruck haben. Henmi et al. (1994), Klein et al. (2005), sowie Qureshi et al. (1996)

beobachteten, dass er in der kalten Jahreszeit signifikant niedriger ist als während der warmen Monate. Henmi et al. (1994) stellten weiterhin fest, dass diese Schwankungen bei Patienten mit okulärer Hypertension oder Glaukom stärker als bei gesunden Probanden sind.

Mögliche Erklärungen für den Einfluss der Jahreszeit auf den Augeninnendruck können einerseits hormonelle Regulationsmechanismen, vermittelt durch Sonnenlicht und die Pinealdrüse, andererseits auch Umstellungen des Elektrolythaushalts durch vermehrtes Schwitzen und das antidiuretische Hormon sein (Qureshi et al., 1996).

Ortiz et al. (1998) stellten fest, dass nach 40 minütiger Applikation von -19°C kalter Luft auf das geschlossene Auge, der Augeninnendruck wie auch der episklerale Venendruck signifikant absanken. Ortiz et al. (1998) begründen mit dem Fall des episkleralen Venendrucks die Senkung des Augeninnendrucks. Möglicherweise kann ein veränderter episkleraler Venendruck in den kalten Jahreszeiten auch die oben genannten Augeninnendruckänderungen mit erklären.

Zahlreiche Studien untersuchten den Zusammenhang von Alter und Augeninnendruck. Einen signifikanten Anstieg des Augeninnendrucks verzeichneten Klein et al. (1992), Hennis et al. (2003), Leske et al. (2008) und Hideki et al. (1999) in der transversalen Auswertung, während McLeod et al. (1990), Rochtchina et al. (2002) und Klein et al. (2005) keinen signifikanten Zusammenhang zwischen höherem Lebensalter und Augeninnendruck feststellen konnten. Interessant sind die Ergebnisse von Hideki et al. (1999), der in der transversalen Auswertung der erhobenen Daten einen signifikanten negativen Zusammenhang zwischen Augeninnendruck und Alter erkannte, während die longitudinale Auswertung ergab, dass der Augeninnendruck mit höherem Alter steigt. Mori et al. (2000) verzeichneten jedoch auch in der transversalen Analyse einen Abfall des Augeninnendrucks mit zunehmenden Alter. Als mögliche Erklärung für diese widersprüchlichen Ergebnisse werden ethnische Unterschiede, aber auch Lifestylefaktoren und die mit ihnen verbundenen Erkrankungen diskutiert.

Bluthochdruck ist nach Klein et al. (1992), Hennis et al. (2003), Wu et al. (2006), Klein et al. (2005), McLeod et al. (1990) und Mori et al. (2000) ein wichtiger Risikofaktor für erhöhten Augeninnendruck.

Es wurde weiterhin in zahlreichen Studien untersucht, ob Diabetes und Adipositas einen signifikanten Einfluss auf den Augeninnendruck haben. Hierzu stellten Klein et al. (1992), Klein et al. (2005), Hennis et al. (2003) und Wu et al. (2006) fest, dass Diabetes assoziiert mit erhöhtem Augeninnendruck ist. Klein et al. (1992), Hideki et al. (1999), Mori et al. (2000)

kamen zu dem Ergebnis, dass ein hoher Body- Mass- Index (BMI) mit hohem Augeninnendruck verbunden ist.

Die Reaktion des Augeninnendrucks auf äußere Einflüsse scheint geschlechtsunabhängig zu sein (Kypke et al., 1973, Rohtchina et al., 2002). In der Barbados Eye Study zeigte sich jedoch im Gegensatz zu dieser Annahme, dass männliches Geschlecht einen Risikofaktor für hohen Augeninnendruck darstellt.

Schuman et al. (2000) fanden heraus, dass das Spielen eines Blasinstruments einen transient erhöhten Augeninnendruck mit sich führt.

2.1.3 Körperliche Aktivität und Augeninnendruck

In etlichen Forschungsarbeiten zum Thema stehen Einflüsse des Sports im zentralen Blickpunkt. Dies führt zu einer sehr differenzierten Auswertung der ursächlichen, sportlichen Aktivitäten und den erfolgten, messbaren Veränderungen des Geschehens im Auge, die im Folgenden skizziert werden soll.

So wurde bereits seit den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts wiederholt der Einfluss von Sport auf den Augeninnendruck überprüft. Dazu wurden einerseits Ausdauersportarten wie Fahrradfahren, Joggen, Fußmärsche, andererseits aber auch der Effekt von Krafttraining an Geräten auf den Augeninnendruck untersucht.

Für die Ausdauersportarten zeigte sich in den hier angeführten Studien, dass der Augeninnendruck mit der Belastung sank. In den durchgeführten Studien waren sowohl junge, gesunde Menschen als auch ältere Menschen und Glaukoma Patienten (Leighton, 1972, Shapiro et al., 1983, Passo et al., 1991) Probanden. Für die verschiedenen Altersklassen und auch für die Glaukoma Patienten galt jedoch immer, dass die Belastung mit den aufgeführten Sportarten zu einem Abfall des Augeninnendrucks führte (Biró et al., 1962, Lempert et al., 1967, Kypke et al., 1973, Shapiro et al., 1983, Karabatakis et al., 2004, Ozmerdivenli et al., 2006, Harris et al., 1994, Martin et al., 1999, McDaniel et al., 1983, Rowe et al., 1976, Ashkenazi et al., 1992, Marcus et al., 1970, Passo et al., 1991).

Es wurde außerdem untersucht, ob die Intensität der Belastung den Augeninnendruck signifikant beeinflusst. Hierzu zeigten Lempert et al. (1967), Kypke et al. (1973), Harris et al. (1994), Krejci et al. (1981) und Kielar et al. (1975) in Belastungssituationen am Fahrradergometer oder Laufband, dass der Abfall des Augeninnendrucks umso stärker ausfiel, je höher die Intensität der Belastung war. Die Intensität wurde bis auf eine Ausnahme als prozentualer Anteil der maximalen Herzfrequenz gemessen. Harris et al. (1994) maßen die

Intensität als Wattzahl, die an dem Fahrradergometer erreicht werden musste. Weiterhin untersuchten Qureshi et al. (1996) und Kiuchi et al. (1994), welcher der Faktoren Dauer, Intensität und Quantität den stärksten Einfluss auf den Augeninnendruck hat. Quantität ist definiert als Intensität (Herzfrequenz) \times Dauer (Minuten). Hier konnten sowohl Kiuchi et al. (1994) am Laufband wie auch Qureshi et al. (1996) am Fahrradergometer zeigen, dass weder die Dauer, noch die Quantität im Gegensatz zur Intensität einen signifikanten Einfluss auf den Augeninnendruck nehmen.

Es wurde weiterhin überprüft, ob es einen Unterschied zwischen körperlich schwer arbeitenden oder trainierten Menschen gibt und denjenigen, die einer sitzenden Tätigkeit nachgehen. Qureshi (1997) kam hier zu dem Ergebnis, dass die erste Gruppe niedrigere Augeninnendruckwerte hatte als die zweite, während Ozmerdivenli et al. (2006) bei ihrer Untersuchung von verschiedenen Laufintensitäten auf den Augeninnendruck keinen Unterschied zwischen Athleten und Nichtathleten feststellen konnten. Zudem verzeichneten Qureshi (1997) und Passo et al. (1991) signifikant niedrigere Augeninnendrucke bei Probanden, die ein mehrmonatiges Trainingsprogramm absolvieren mussten, im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Die Daten zur Dauer des Augeninnendruckabfalls sind nicht homogen. Während Marcus et al. (1970), Ashkenazi et al. (1992) und Lempert et al. (1967) einen Wiederanstieg des Augeninnendrucks frühestens innerhalb einer Stunde nach Belastung beobachteten, verzeichneten McDaniel et al. (1983) einen Wiederanstieg des Augeninnendrucks schon innerhalb einer halben Stunde.

Auch die Datenlage bezüglich der Auswirkung von Krafttraining auf den Augeninnendruck ist nicht eindeutig.

Chromiak et al. (2003) und Avunduk et al. (1999) stellten eine Senkung des Augeninnendrucks bei Belastung mit 70% der Maximalkraft an der Brust- und Beinpresse (bei diesen Übungen werden Flexions- und Extensionsbewegungen der Arme beziehungsweise Beine gegen Gewicht ausgeführt), beziehungsweise erschöpfender isometrischer und isokinetischer Belastung fest, während Vieira et al. (2006) und Dickerman et al. (1999) einen starken Anstieg des Augeninnendrucks beim Bankdrücken mit 80%, beziehungsweise 100 % der Maximalkraft verzeichneten.

Als Ursachen für die Senkung des Augeninnendrucks werden viele Faktoren diskutiert.

Letztendlich ist aber noch nicht abschließend geklärt, wie es zu seinem Abfall kommt.

Mögliche Erklärungen werden in den durch Sport bedingten systemischen kardiovaskulären

Veränderungen gesehen, die zu einem erniedrigten episkleralen Venendruck führen können und so den Abfluss des Kammerwassers begünstigen.

Weitere mögliche Mechanismen können die metabolischen Veränderungen beim Sport sein, so zum Beispiel ein erhöhter Blutlaktatspiegel und ein erniedrigter Blut-pH Wert. Kielar et al. (1975) konnten allerdings keine signifikant unterschiedlichen Veränderungen des Augeninnendrucks zwischen Probanden, die einer aeroben Belastung und Probanden, die einer anaeroben Belastung ausgesetzt waren, verzeichnen.

Außerdem könnte die erhöhte Plasmaosmolarität, die eine osmotisch bedingte Reduktion des Glaskörpervolumens zur Folge hat, den Augeninnendruck senken. Stewart et al. (1970) beobachteten jedoch einen stärkeren Abfall des Augeninnendrucks durch Sport als durch orale Glycerinaufnahme, die zur gleichen erhöhten Plasmaosmolarität führte.

Weiterhin werden hormonelle Regulationsmechanismen als Ursache für die sportbedingten Augeninnendrucksänderungen diskutiert (Qureshi et al., 1997).

Eine Erklärung für die hormonelle Absenkung des Augeninnendrucks durch Sport wird in der verstärkten Adrenalinausschüttung gesehen. Adrenalin senkt wahrscheinlich über β -2-Rezeptoren den Abflusswiderstand im Trabekelwerk, außerdem drosselt es die Kammerwasserproduktion (α -2 Rezeptor vermittelt) und bewirkt so eine Reduktion des Augeninnendrucks.

Den Anstieg des Augeninnendrucks bei Krafttraining erklärt man sich vor allem durch einen erhöhten intrathorakalen Druck, der durch ein Valsalvamanöver noch potenziert werden kann. Dieser führt zu einem erhöhten thorakalen Venendruck, der sich durch die Jugular-, Orbital- und Vortexvenen fortleitet und zu einer verstärkten Füllung des choroidalen Gewebes führt. Außerdem kommt es durch Gefäßanastomosen zwischen den Vortexvenen und den Episkleral- und Ziliarvenen zu einer Volumenverschiebung in die vorderen Augenabschnitte, zu einer ungleichmäßigen Dickenzunahme der Uvea und einer Füllung der anterioren Choroidea. Letztlich resultiert daraus ein erhöhter Augeninnendruck (Krist et al., 2001).

2.2 Das Glaukom

Nachdem bisher auf den Augeninnendruck und seine Einfluss- und Risikofaktoren eingegangen wurde, soll im Folgenden die Krankheit Glaukom definiert und dargestellt werden.

2.2.1 Definition und Prävalenz

Der Begriff „Glaukom“ stammt aus dem griechischen, *glaukós* (γλαυκός), und bedeutet hier „hell“, „leuchtend“, „glänzend“; das Meer betreffend: „graubläulich“. Ursprünglich wurde er verwendet, um so die grau- bläulich verfärbte Iris bei entzündlichen Augenerkrankungen zu beschreiben. Im 16. Jahrhundert entwickelte sich die Farbbezeichnung „grau“ zu „grün“, „meerfarben“, da die französische Atlantikküste eher grün als blau wirkt.

In Deutschland werden Linsentrübungen seit dem 8. Jahrhundert als „Star“ bezeichnet.

Als eine Mischung aus beiden Begriffen bürgerte sich im 20. Jahrhundert die Bezeichnung „grüner Star“ als Synonym für Glaukom in Deutschland ein

Das Krankheitsbild „Glaukom“ definiert Augustin (2007) heute als „akute oder chronische Erkrankung im Bereich des N. opticus und der inneren Netzhautschicht, die zu einem progredienten Sehnervenfaserverlust führt.“ Es kommt dadurch langfristig zu charakteristischen Gesichtsfeldausfällen und Sehverschlechterung. Weltweit erblinden jährlich 6,7 Millionen Menschen an Glaukom. In den Industrienationen steht es je nach Quelle an zweiter oder an dritter Stelle, in Entwicklungsländern an zweiter Stelle der Erblindungsursachen. Hauptrisikofaktor für die Entstehung eines Glaukoms ist ein erhöhter Augeninnendruck (Augustin, 2007, Lang, 2008, Grehn, 2008). Allerdings ist – im Gegensatz dazu - bei 15% aller Glaukompatienten einen normaler Augeninnendruck gemessen worden. Trotz der hohen Inzidenz und der verheerenden Folgen des Glaukoms wissen nur ungefähr 50% aller in Industrienationen Erkrankten von ihrer Krankheit, in Entwicklungsländern ist der Prozentsatz noch sehr viel niedriger. Es gibt also eine hohe Dunkelziffer an glaukomekranken Menschen. Die Prävalenz des Glaukoms ist altersabhängig. So konnten unter anderem Wang et al. (1997) und Mukesh et al. (2002) einen signifikanten Anstieg der Prävalenz des primären Offenwinkelglaukoms mit zunehmendem Alter beobachten. Der Berufsverband der Augernärzte Deutschlands e.V. bestätigt diese Ergebnisse. Er beobachtet bei 0,4% der 40 – 54-jährigen Menschen in Deutschland einen glaukombedingten Sehnervenschaden, bei 0,8 % dieser Altersgruppe wird eine okuläre Hypertension vermutet, die augenärztlicher Behandlung bedürfte. In der Altersgruppe der 55 – 74-jährigen sind es schon 2,6 % mit nachgewiesenem Sehnervenschaden und 5,2% mit Verdacht auf okulären Hypertonus. In der Altersgruppe der über 75-jährigen leiden 7,6% an Sehnervenschaden und geschätzte 15,2 % an okulärer Hypertonie.

Die Volkskrankheit „Glaukom“ ist jedoch nicht nur mit großem Leid für die Betroffenen verbunden, sondern stellt auch einen volkswirtschaftlichen Faktor dar, denn in Deutschland ist das Glaukom der zweithäufigste Grund für Blindengeldbezug.

Die hier dargestellten Fakten unterstützen maßgeblich die schon in der Einleitung zugrunde gelegte Einschätzung des Glaukoms als Massenphänomen und seine Charakterisierung als Volkskrankheit. Für die weitere Forschung ergibt sich daraus der Auftrag, mögliche Risikofaktoren und Einflussfaktoren zu erkennen und zu erforschen, um eine bessere Glaukomvorsorge entwickeln und der Erblindung durch Glaukom Einhalt bieten zu können.

2.2.2 Einteilung der Glaukomformen und Pathogenese des Glaukoms

Eine Einteilung des Glaukoms ist nach mehreren Gesichtspunkten möglich. Zunächst kann man das primäre vom sekundären Glaukom unterscheiden. Primäre Glaukome treten spontan auf und sind nicht Folge einer vorbestehenden Grunderkrankung, während sekundäre Glaukome als Folge einer Grunderkrankung entstehen.

Den meisten Glaukomen ist ein erhöhter Augeninnendruck gemein, man kann die verschiedenen Glaukomformen hier nach der Ursache unterscheiden, die den hohen Augeninnendruck hervorruft.

Nachfolgende Tabelle soll einen Überblick über die verschiedenen Glaukomformen sowie ihre relativen Häufigkeiten geben.

Tabelle 1 : Übersicht über Ätiologie und relative Häufigkeiten der verschiedenen Glaukomformen

Glaukom	Häufigkeit	Art der Abflussbehinderung
Offenwinkelglaukom	Primär: 90 %	Abflussbehinderung im Trabekelwerk
	Sekundär: 2-4 %	Abflussbehinderung durch fibrovaskuläres Gewebe, Endothelzellen, Epithelzellen, Pigmentpartikel, Erythrozyten, Makrophagen, Proteine, Vernarbung, Ödeme, erhöhten episkleralen Venendruck
Winkelblockglaukom	Primär: 5 %	Abflussbehinderung durch blockierten Kammerwinkel, entweder durch die Iris oder
	Sekundär: 2-4 %	durch Synechien, Narben, neugebildete Gefäße
Kongenitales Glaukom	1 %	Entwicklungsstörung des Kammerwinkels

Aus der Tabelle geht hervor, dass das primäre Offenwinkelglaukom mit ungefähr 90% den größten Anteil an den Glaukomen ausmacht. Wie aufgelistet kommt es hier zu einer Behinderung des Kammerwasserflusses im Trabekelwerk und so zu einer Verlegung des Kammerwasserabflusses, die dann in einem erhöhten Augeninnendruck resultieren und letztlich einen Glaukomschaden zur Folge haben kann. In etwa zwei Prozent der Fälle, beim sekundären Offenwinkelglaukom, kann es durch in obiger Tabelle genanntes Material oder durch einen erhöhten episkleralen Venendruck zu einer Abflussbehinderung des Kammerwassers, somit zu einer Steigerung des Augeninnendrucks und infolgedessen zu einem Glaukomschaden kommen.

In den meisten Fällen liegt bei einem Offenwinkelglaukom ein erhöhter Augeninnendruck vor. Es gibt jedoch auch Glaukomfälle, bei denen der Augeninnendruck im Normalbereich liegt, man spricht dann von Normaldruckglaukom. Man erklärt sich den Papillenschaden beim Normaldruckglaukom einerseits durch eine Minderperfusion der Augengefäße, verursacht durch entweder dauerhaft oder aber auch durch intermittierend erniedrigten Blutdruck, der möglicherweise noch kombiniert mit einer gestörten Autoregulation der Augendurchblutung einhergeht. Eine andere mögliche Erklärung ist, dass bei diesen Patienten der Augeninnendruck zwar im statistischen Normalbereich liegt, subjektiv aber zu hoch ist. Es gibt auch Fälle, bei denen der Augeninnendruck über dem Normalbereich liegt, der Patient also an okulärer Hypertension leidet, jedoch kein Glaukomschaden vorliegt. Die Ocular hypertension treatment study (Kass et al., 2002) konnte hier zeigen, dass Patienten, die an okulärer Hypertension leiden, ein Risiko von 9 Prozent haben, innerhalb von 5 Jahren ein Offenwinkelglaukom zu entwickeln, während das Risiko bei Patienten, deren okuläre Hypertension medikamentös behandelt wurde, auf 4 Prozent sinkt (Kass et al., 2002). Patienten, die an okulärer Hypertension leiden, sollten daher in jedem Fall, obwohl sie bislang keine Schädigung des N. Opticus aufweisen, regelmäßig augenärztlich untersucht und gegebenenfalls in Abhängigkeit weiterer Risikofaktoren auf einen niedrigeren Augeninnendruck eingestellt werden.

Die zweithäufigste Glaukomform, mit einem Anteil von circa fünf bis zehn Prozent, ist das Winkelblockglaukom. Wie oben aufgeführt, kommt es hier zur Verlegung des Kammerwinkels entweder durch die Iris oder sekundär infolge von Synechien, Narben, oder Einsprossung neuer Gefäße.

Den geringsten Anteil an den Glaukomformen hat das kongenitale Glaukom. Das kongenitale Glaukom entsteht durch eine Entwicklungsstörung des Kammerwinkels. Persistierendes embryonales Gewebe verdeckt teilweise den Schlemmschen Kanal, und es kommt so zu einem chronisch erhöhten Augeninnendruck, der typischerweise eine Hornhautvergrößerung und -trübung und eine Bulbusvergrößerung mit sich führt.

2.2.3 Risikofaktoren für die Entstehung eines Glaukoms

Da es in den meisten Fällen zu den typischen Glaukomschäden durch einen erhöhten Augeninnendruck kommt, ist ein Augeninnendruck > 21 mm Hg als wesentlicher Risikofaktor zu sehen. Daraus ergibt sich, dass in Kapitel 2.1.2 genannte Einflussfaktoren auf den Augeninnendruck auch Risikofaktoren für die Entstehung eines Glaukoms sein können.

Hier sollen wichtige Risikofaktoren noch einmal dargestellt werden. Ein wesentlicher Faktor ist das Alter: So steigt die Prävalenz der okulären Hypertonie und des Glaukoms, wie in 2.2.1 aufgeführt, ab dem 40. Lebensjahr. Die ethnische Zugehörigkeit ist ein weiterer Risikofaktor für die Entwicklung eines Glaukoms. Schwarze erkranken ungefähr 10 Jahre früher und 4-mal häufiger am primären Offenwinkelglaukom als weiße Menschen (Grehn, 2008). Auch die Augenform stellt einen Risikofaktor dar. Asiaten leiden sehr viel häufiger am Winkelblockglaukom, was man durch eine flachere Vorderkammer erklärt (Grehn, 2008). Frauen erkranken häufiger am Winkelblockglaukom, während Männer häufiger am Offenwinkelglaukom erkranken. Weiterhin gibt es eine familiäre Disposition, an Glaukom zu erkranken. Als weitere Risikofaktoren gelten Kurzsichtigkeit < -5 Dioptrien, Fehlregulation der okulären Blutgefäße (Evans et al., 1999, Leske et al., 2009, Moore et al., 2008, Mozaffarieh et al., 2008) und Hypotonie (Grehn, 2008).

2.3 Zentrale Fragestellungen der Untersuchungen

Die Datenlage ist in Bezug auf die Auswirkung von Krafttraining auf den Augeninnendruck nicht eindeutig: Während es in einigen Studien zu Anstiegen des Augeninnendrucks durch Krafttraining kam (Vieira et al., 2006, Dickermann et al., 1999), verzeichneten andere Studien Absenkungen des Augeninnendrucks nach Krafttraining.

Mit der vorliegenden Studie sollte geklärt werden, wie sich verschiedene sportliche Aktivitäten auf den Augeninnendruck auswirken.

Aus den gegensätzlichen Ergebnissen früherer Literatur entwickelte sich das erkenntnisleitende Interesse der vorliegenden Arbeit. So soll hier versucht werden zu klären, wie sich verschiedene sportliche Aktivitäten, nämlich Kraft- und Ausdauerbelastungen, im Vergleich auf den Augeninnendruck auswirken. Zum einen wurden dazu die Folgen verschiedener Intensitätsgrade des Trainings insgesamt untersucht, dann anschließend aber auch der Einfluss der Belastung von verschiedenen Körperregionen, hier der oberen und unteren Extremitäten. Die so gewonnenen Daten wurden abschließend vergleichend gegenübergestellt und ausgewertet.

Die Belastung der oberen Extremität wurde am Butterflygerät (siehe 3.2.2), die der unteren Extremität am Legcurlgerät (siehe 3.2.2) durchgeführt. Die Geräte trainieren annähernd gleich große Muskelgruppen. Das Butterflygerät die Mm pectoralis, deltoideus pars anterior, das Legcurlgerät die ischiocrurale Muskulatur. In bisherigen Forschungsarbeiten wurde

überwiegend mit sehr hohen Intensitäten gearbeitet (80% Vieira et al., 2006; 100% Dickermann et al., 1999).

Da viele Menschen, die in ihrer Freizeit Kraftsport betreiben, mit niedrigeren Intensitäten und höherer Wiederholungszahl trainieren, wurden für diese Studie Intensitäten von 75% der Maximalkraft bei 10 Wiederholungen und 65% der Maximalkraft bei 20 Wiederholungen festgelegt.

Zusätzlich wurde der Anstrengung durch Krafttraining eine aerobe Sportart gegenübergestellt. Viele Studien haben schon gezeigt, dass aerobe Sportarten den Augeninnendruck senken, es erschien jedoch für die grundsätzliche Problematik ergiebig, die Effekte von Kraft- und Ausdauerbelastung bei denselben Probanden zu untersuchen und vergleichen.

Die Probanden dieser Studie fuhren auf einem Fahrradergometer eine halbe Stunde lang bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute Fahrrad. Um die Auswirkung der Länge der Anstrengung auf das Ausmaß der Augeninnendruckänderung zu überprüfen, wurde alle 10 Minuten der Augeninnendruck gemessen.

Es sollte untersucht werden, ob Ausdauerbelastung am Fahrradergometer, wie in anderen Studien beschrieben, einen senkenden Effekt auf den Augeninnendruck hat, ob dieser abhängig von der Dauer der sportlichen Aktivität ist und ob er über die Belastung hinausgehend (≥ 10 Minuten) anhält.

Zusammenfassend sollte in der vorliegenden Arbeit also die Effekte von Ausdauer- und Krafttraining auf den Augeninnendruck untersucht und verglichen werden. Bei der Kraftbelastung sollten außerdem gezielt die Auswirkungen von Belastung der oberen mit denen der unteren Extremität auf den Augeninnendruck gegenübergestellt werden.

3 Material und Methoden

3.1 Die Probanden

Die durchgeführten Versuche wurden an 21 Probanden im Alter von 21 – 32 Jahren ($26 \pm 3,38$). Es nahmen 11 Männer und 10 Frauen an den Versuchen teil.

Alle Probanden waren zum Zeitpunkt der Untersuchung Studenten an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und erklärten, zum Zeitpunkt der Untersuchung körperlich gesund zu sein. Allerdings gab eine Probandin an, an Asthma zu leiden, nahm jedoch zum Untersuchungszeitraum keine Medikamente ein. Speziell befragt nach Augenerkrankungen

und kardiovaskulären Erkrankungen, sagten sechs der Probanden aus, an einer Fehlsichtigkeit zu leiden, die jedoch bei keinem mehr als ± 5 Dioptrien betrug. Außerdem wurden Angaben zum Sportverhalten der Teilnehmer erhoben und zusätzlich abschließend gefragt, ob sie ein Blasinstrument spielten, da Schuman et al. (2000) hier einen Einflussfaktor auf den Augeninnendruck nachgewiesen haben.

Keiner der Probanden war Leistungssportler, jedoch waren 15 Probanden (71,4 %), sportlich aktiv. Bei den angegebenen Sportarten handelte es sich um Ausdauertraining (13 Probanden), Mannschaftssportarten (zwei Probanden), Kampfsportarten (zwei Probanden), Schlägersportarten (zwei Probanden), Krafttraining (fünf Probanden) und Fitnesstraining/ Aerobic (drei Probanden).

Weiterhin gaben 6 der 15 sportlich aktiven Probanden an, ein-, bis zweimal in der Woche zu trainieren, neun Probanden gaben an, sich dreimal oder öfter in der Woche körperlich zu betätigen.

Keiner der Befragten spielte ein Blasinstrument.

Die Probanden hatten einen durchschnittlichen Body- Mass- Index von $23,1 \pm 2,2$ und waren somit normalgewichtig.

3.2 Die Sportgeräte

Im Folgenden sollen die für die Arbeit benutzten Sportgeräte vorgestellt werden

3.2.1 Das Fahrradergometer

Für den Versuch zur Ausdauerbelastung fuhren die Probanden auf dem Fahrradergometer der Firma Technogym, Modell "Race" im Fitnesszentrum der Universität Kiel. Das Fahrradergometer zeigte gleichzeitig die Herzfrequenz an, die mittels eines Brustgurts, Modell TCM 228 902 der Firma TCM (Tchibo), gemessen und an das Fahrradergometer gesandt wurde.

3.2.2 Die Kraftgeräte

Sämtliche Versuche zur Untersuchung der Auswirkung von Krafttraining auf den Augeninnendruck wurden an den Trainingsgeräten der Firma TechnoGym, Seriennummer

M406V 300079 (Butterflygerät) und M455V 40000093 (Legcurlgerät) im Fitnesszentrum der Universität Kiel durchgeführt. Nachfolgend eine Abbildung beider Geräte.



Abbildung 3: Legcurlgerät (eigenes Foto) Abbildung 4: Butterflygerät (eigenes Foto)

Bei dem Legcurlgerät wird, wie im oben abgebildeten Foto angedeutet, eine Flexionsbewegung im Kniegelenk gegen ein einstellbares Gewicht durchgeführt, die Rückführung erfolgt entsprechend dem Gewicht nachgebend. Hierbei wird die ischiocrurale Muskulatur trainiert.

Beim Butterflygerät werden bei um 90° abduzierten, außenrotierten Armen und 90° im Ellenbogen gebeugten Unterarmen beide Arme vor der Brust zueinander gegen ein gewähltes Gewicht geführt, hierbei werden der Musculus pectoralis sowie der anteriore Teil des Musculus deltoideus trainiert.

3.3 Datenerhebung: Das Messverfahren mit dem iCare Tonometer

Die Messungen des Augeninnendrucks erfolgten mit dem iCare ®Rebound Tonometer, im Folgenden iCare Tonometer genannt. Das iCare Tonometer ist ein handliches, leicht bedienbares Gerät (siehe Abbildung 3). Die Berechnung des Augeninnendrucks durch das

iCare Tonometer folgt dem Prinzip der Rebound oder auch Impact Tonometrie. Ein Messfühler wird auf die Cornea des Auges geschleudert, drückt sie ein und prallt zurück. Der Augeninnendruck wird aus der Dauer des Eindrucks und der maximalen Abbremsung (Kontiola, 2000) berechnet. Je höher der Augeninnendruck, desto geringer ist die Eindruckszeit und umgekehrt, je niedriger der Augeninnendruck, desto geringer ist die Abbremsung der Probe durch die Cornea. Obwohl die Geschwindigkeit, mit der der Messfühler ausgeschleudert wird, nur 2 m/s beträgt, ist der Messfühler schneller als der Lidschlussreflex, sodass es zu keiner Beeinträchtigung der Messung durch den Lidschlussreflex kommen sollte.

Der vom iCare Tonometer ermittelte Wert basiert auf 6 Einzelmessungen pro Messung. Diese Einzelmessungen sind vonnöten, da der Augeninnendruck je nach Puls, Atmung und Bewegung der Augen variiert (Tiolat, Betriebs- und Wartungsanleitung). Die einzelne Messung erfolgt in dem Bruchteil einer Sekunde und aus der freien Hand, sie ist somit eine Momentaufnahme.

Das Gerät wird bei der Messung mittels einer Stirnstütze (siehe Abbildung 3) auf der Stirn der untersuchten Person abgestützt. Das Verwenden von sechs Einzelmessungen zur Ermittlung des Augeninnendruckes ist besonders exakt und versucht, einen Einfluss der oben genannten Störfaktoren möglichst gering zu halten.

Bei zu großer Abweichung der einzelnen Messwerte voneinander zeigt das iCare Tonometer dies an und empfiehlt eine erneute Messung.

Obwohl schon aus der ersten gelungenen Messung das Ergebnis ersichtlich ist, wurden in dieser Studie ausschließlich Werte aus sechs gelungenen Einzelmessungen verwendet.

Für die Messung ist kein Lokalanästhetikum notwendig, die Probanden nahmen den Aufschlag des Messfühlers auf die Hornhaut kaum wahr, ein Lidschlussreflex wurde nicht ausgelöst

Es wurde aus hygienischen Gründen für jeden Probanden ein neuer Messfühler benutzt.

Die Anzeigegenauigkeit beträgt ± 1 mmHg; die Messgenauigkeit liegt bei $\pm 2,8$ mmHg.



Abbildung 5: Das iCare Tonometer

Zur Ermittlung des Augeninnendrucks ist das Goldmannapplanationstonometer der Goldstandard. Im Vergleich zum Goldmannapplanationstonometer fanden Fernandes et al. (2005) um $1,34 \text{ mmHg} \pm 2,03 \text{ mmHg}$ signifikant höhere Werte beim iCare Tonometer, während Pakrou et al. (2008) und Davies et al. (2005) nur leicht, nicht signifikant erhöhte Werte maßen. Allgemein misst das iCare Tonometer jedoch im Normalbereich zufriedenstellende Ergebnisse im Vergleich zum Goldmannapplanationstonometer (Munkwitz et al., 2008 Fernandes et al., 2005, Brusini et al., 2006, Davies et al., 2005, Pakrou et al., 2008).

Pakrou et al. (2008) und Brusini et al. (2006) beobachteten eine Abhängigkeit der ermittelten Werte von der Hornhautdicke: So steigt der gemessene Augeninnendruck mit der Hornhautdicke.

Da für diese Studie weniger die absoluten Augeninnendruckwerte, als vielmehr die Entwicklung der Werte in Abhängigkeit der Belastung von Interesse war, konnten eventuell falsch höher gemessene Augeninnendruckwerte und auch die Hornhautdicke als beeinflussende Faktoren vernachlässigt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das iCare Tonometer weitestgehend übereinstimmende Ergebnisse zum Goldmannapplanationstonometer misst und sich wegen seiner Handlichkeit und leichten Bedienbarkeit hervorragend für die vorliegende Studie eignete.

3.4 Durchführung

3.4.1 Ausdauerbelastung auf dem Fahrradergometer

Zur Untersuchung oben genannter Fragestellung wurde der Augeninnendruck bei 21 Probanden, das entspricht 42 Augen, zu fünf Zeitpunkten gemessen.

Die Probanden hatten Gelegenheit, sich vor dem Versuch mit dem Fahrradergometer vertraut zu machen und sich an dem Gerät aufzuwärmen. Dann wurde der Augeninnendruck (Zeitpunkt t₀; Augeninnendruck vor Belastung) gemessen, der Proband konnte nun mit der Übung anfangen. Er wurde aufgefordert, sich zügig an eine Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute anzunähern und diese während des gesamten Versuchs beizubehalten.

Nach 10 Minuten (Zeitpunkt t₁), nach 20 Minuten (Zeitpunkt t₂) und nach 30 Minuten Fahrradfahren (Zeitpunkt t₃) sowie nach 10 Minuten Erholung nach dem Fahrradfahren (Zeitpunkt t₄) wurde der Augeninnendruck erneut ermittelt. Hierzu stand der Proband kurz vom Fahrradergometer ab, dann wurde jeweils zuerst das rechte dann das linke Auge gemessen. Danach setzte der Proband den Versuch fort. Die Unterbrechung durch die Messung dauerte in keinem Fall länger als maximal zwei Minuten.

Nach Beendigung des Ausdauerversuchs wurde zur Vorbereitung auf Tag 2 die Maximalkraft bestimmt. Sie wurde in Form des Einwiederholungsmaximums gemessen. Dieses ist jenes Gewicht in Kilogramm, das mit einer bestimmten Übung unter Aufbietung aller (psychischen und physischen) Kräfte gerade einmal bewältigt werden kann (Tomasits und Haber, 2007). Hierzu steigerten wir das Gewicht an dem jeweiligen Gerät solange, bis nur noch eine Wiederholung möglich war. Es wurde darauf geachtet, dieses Gewicht in möglichst drei Anläufen festzustellen, um eine ermüdungsbedingte Verfälschung des Ergebnisses zu vermeiden.

Im Anschluss daran wurden die persönlichen Daten der Probanden erhoben (siehe Fragebogen, Anhang).

3.4.2 Krafttraining

An Tag 2 der Versuchsdurchführung wurden sämtliche Versuche an den Kraftgeräten durchgeführt. Auch hier wurde der Augeninnendruck von 21 Probanden, das heißt 42 Augen, gemessen.

Es wurde darauf geachtet, dass zwischen der Erhebung der Maximalkraft an Tag 1 und Beginn der Kraftversuche an Tag 2 mindestens 24 Stunden Pause lagen.

Insgesamt waren vier Versuche durchzuführen. Jeweils 20 Wiederholungen mit 65% der Maximalkraft an Butterfly- und Legcurlgerät sowie 10 Wiederholungen mit 75% der Maximalkraft an beiden Geräten.

Vor Beginn der Versuche hatten die Probanden wieder Gelegenheit, sich an den Geräten mit niedriger Intensität aufzuwärmen.

Dann wurde mit den Versuchen gestartet. Die Reihenfolge der Versuche an den einzelnen Geräten, also mit welchem Gerät und mit welcher Intensität angefangen wurde, wurde zwischen den Probanden randomisiert.

Es wurde der Augeninnendruck vor der Belastung (Zeitpunkt t_0) gemessen, dann fing der Proband mit der Übung an. Unmittelbar nach der letzten Wiederholung wurde der Augeninnendruck nach Belastung (Zeitpunkt t_1) ermittelt. Dann wurde nach 10 Minuten Erholung erneut der Augeninnendruck festgestellt (Zeitpunkt t_2).

Es wurde darauf geachtet, dass die Probanden bei Anstrengung ausatmeten und bei Entspannung einatmeten, um eine mögliche Beeinflussung des Augeninnendrucks durch ein Valsalvamanöver auszuschließen.

Zwischen den einzelnen Versuchen wurde eine halbe Stunde pausiert, um eine eventuelle Verfälschung der nachfolgenden Versuche durch die vorherigen gering zu halten.

Alle Messungen des Augeninnendrucks wurden bei den Versuchen zum Krafttraining im Sitzen an den jeweiligen Geräten durchgeführt, auch hier wurde zuerst das rechte Auge, dann das linke gemessen. Bei den Messungen zum Augeninnendruck nach Belastung wurde besonderer Wert auf eine rasche Ermittlung des Augeninnendrucks gelegt. Da die Probanden das iCare Tonometer schon von Tag 1 kannten, war eine schnelle und problemlose Messung möglich.

3.5 Operationalisierung der Forschungshypothesen

Fragestellung 1: Wie wirkt sich Fahrradfahren auf dem Fahrradergometer bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute auf den Augeninnendruck aus?

H_0 : Fahrradfahren hat keine Auswirkung auf den Augeninnendruck.

$H_0: \mu(t_0) = \mu(t_1, t_2, t_3)$

H_1 : Fahrradfahren senkt den Augeninnendruck.

$H_1: \mu(t_0) \geq \mu(t_1, t_2, t_3)$

Fragestellung 2: Hat Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer einen über die Belastung hinaus anhaltenden Effekt - ≥ 10 Minuten - auf den Augeninnendruck?

H₀: Der Effekt des Trainings auf den Augeninnendruck ist nach 10 Minuten nicht mehr nachweisbar.

H₀: $\mu(t_3) \leq \mu(t_4)$; $\mu(t_0) = \mu(t_4)$

H₁: Der Effekt des Trainings ist nach 10 Minuten noch nachweisbar.

H₁: $\mu(t_3) = \mu(t_4)$; $\mu(t_0) \geq \mu(t_4)$

Fragestellung 3: Hat die Dauer des Trainings einen Effekt auf die Stärke der Veränderung des Augeninnendrucks?

H₀: Die Dauer des Trainings hat keine Auswirkung auf den Augeninnendruck.

H₀: $\mu(t_1 - t_0) = \mu(t_2 - t_1) = \mu(t_3 - t_2)$

H₁: Die Dauer des Trainings hat eine Auswirkung auf den Augeninnendruck.

H₁: $\mu(t_1 - t_0) \leq \mu(t_2 - t_1)$; $\mu(t_2 - t_1) \leq \mu(t_3 - t_2)$

Fragestellung 4: Wie wirkt sich Krafttraining auf den Augeninnendruck aus? Für Butterfly und Legcurl jeweils 10 Wiederholungen bei 75% Maximalkraft sowie für 20 Wiederholungen bei 65% Maximalkraft

H₀: Krafttraining hat keinen Effekt auf den Augeninnendruck.

H₀: $\mu(t_0) = \mu(t_1)$

H₁: Krafttraining hat einen Effekt auf den Augeninnendruck.

H₁: $\mu(t_0) \neq \mu(t_1)$

Fragestellung 5: Hat Krafttraining einen über die Belastung hinaus anhaltenden Effekt - ≥ 10 Minuten - auf den Augeninnendruck? Für Butterfly und Legcurl jeweils 10 Wiederholungen bei 75% Maximalkraft sowie für 20 Wiederholungen bei 65% Maximalkraft

H₀: Der Effekt des Trainings auf den Augeninnendruck ist nach 10 Minuten nicht mehr nachweisbar.

H₀: $\mu(t_1) \neq \mu(t_2)$; $\mu(t_0) = \mu(t_2)$

H₁: Der Effekt des Trainings ist nach 10 Minuten noch nachweisbar.

H₁: $\mu(t_1) = \mu(t_2)$; $\mu(t_0) \neq \mu(t_2)$

Fragestellung 6: Wirkt sich Krafttraining der oberen Extremität im Vergleich zu als Krafttraining der unteren Extremität unterschiedlich auf den Augeninnendruck aus? Jeweils für 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft und 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft

H_0 : Der Effekt vom Training der oberen Extremität ist gleich dem Effekt vom Training der unteren Extremität auf Augeninnendruck.

H_0 : μ (obere Extremität t1- t0) = μ (untere Extremität t1- t0)

H_1 : Der Effekt vom Training der oberen Extremität unterscheidet sich von dem Effekt vom Training der unteren Extremität auf den Augeninnendruck.

H_1 : μ (obere Extremität t1- t0) \neq μ (untere Extremität t1- t0)

Fragestellung 7: Unterscheiden sich die Effekte von Krafttraining bei verschiedenen Intensitäten auf den Augeninnendruck?

H_0 : Der Effekt von Training auf den Augeninnendruck bei 75% der Maximalkraft und 10 Wiederholungen ist gleich dem Effekt von Training bei 65% der Maximalkraft und 20 Wiederholungen.

H_0 : μ (75% der Maximalkraft t1-t0) = μ (65% der Maximalkraft t1- t0)

H_1 : Der Effekt von Training auf den Augeninnendruck bei 75% der Maximalkraft und 10 Wiederholungen unterscheidet sich von dem Effekt von Training bei 65% der Maximalkraft und 20 Wiederholungen.

H_1 : μ (75% der Maximalkraft t1-t0) \neq μ (65% der Maximalkraft t1- t0)

3.6 Statistische Berechnungen

Die erhobenen Daten wurden mittels des Kolmogorov- Smirnov- Anpassungstest auf Normalverteilung getestet. Weitere statistische Tests, die durchgeführt wurden, waren der ein- und zweiseitige Student's T-Test, die einfaktorielle Varianzanalyse und die einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen (siehe unten).

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS 16.0 für Microsoft Windows, die graphische Bearbeitung mittels Microsoft Excel 2004 für Macintosh.

4 Ergebnisse

Nach der Schilderung des Versuchsaufbaus und – ablaufs sowie der Darstellung der teilnehmenden Versuchspersonen soll nun die Darstellung und statistische Auswertung der ermittelten Werte folgen.

4.1 Effekte von Ausdauerbelastung auf dem Fahrradergometer auf den Augeninnendruck

Zunächst wurden die Augeninnendrucke zum Zeitpunkt t₀, t₁, t₂, t₃ und t₄ mit dem Kolmogorov- Smirnov- Anpassungstest auf Normalverteilung getestet. Eine Normalverteilung wurde jeweils festgestellt.

Hiernach wurde der Student`s t-Test für abhängige Stichproben angewendet und die Entwicklung des Augeninnendrucks in Bezug auf den Ausgangsdruck getestet (t₀/ t₁; t₀/t₂; t₀/t₃; t₀/t₄).

Da in der Literatur ausreichend beschrieben wurde, dass es zu einer Absenkung des Augeninnendrucks nach aerober Belastung kommt, konnte ein einseitiger t- Test durchgeführt werden.

Bei Inkaufnahme einer fünfprozentigen Fehlerwahrscheinlichkeit wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ festgelegt.

Fragestellung 1: Wie wirkt sich Fahrradfahren auf dem Fahrradergometer bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute auf den Augeninnendruck aus?

Der mittlere Ausgangsausgeninnendruck von 18,83 mmHg \pm 2,72 mmHg sank nach 10 Minuten Fahrradfahren auf einen mittleren Augeninnendruck von 16,45 mmHg \pm 2,80 mmHg, nach 20 Minuten auf 17, 12 mmHg \pm 2,60 mmHg und nach 30 Minuten auf 16,69 mmHg \pm 3,27 mmHg signifikant ab; p immer $< 0,01$.

In Bezug zur oben genannten Hypothese 1 bedeuten die aufgeführten Ergebnisse, dass die Alternativhypothese angenommen werden kann:

Fahrradfahren führt zu einem Absinken des Augeninnendrucks.

Fragestellung 2: Hat Ausdauerbelastung auf dem Fahrradergometer einen über die Belastung hinaus anhaltenden Effekt - ≥ 10 Minuten - auf den Augeninnendruck ?

Der mittlere Augeninnendruck betrug nach 30 Minuten Fahrradfahren noch 16,69 mmHg \pm 3,27 mmHg. Er stieg nach 10 Minuten Erholung nach Belastung wieder auf 18,83 mmHg \pm 2,65 mmHg an, $p < 0,01$ und unterschied sich damit nicht signifikant von dem mittleren Ausgangsausgeninnendruck, der 18,83 \pm 2,72 betrug, $p =$ nicht signifikant (n.s.). Für die Hypothese 2 muss die Nullhypothese beibehalten werden:

Ausdauerbelastung auf dem Fahrradergometer hat keinen über die Belastung hinaus anhaltenden Effekt - ≥ 10 Minuten - auf den Augeninnendruck.

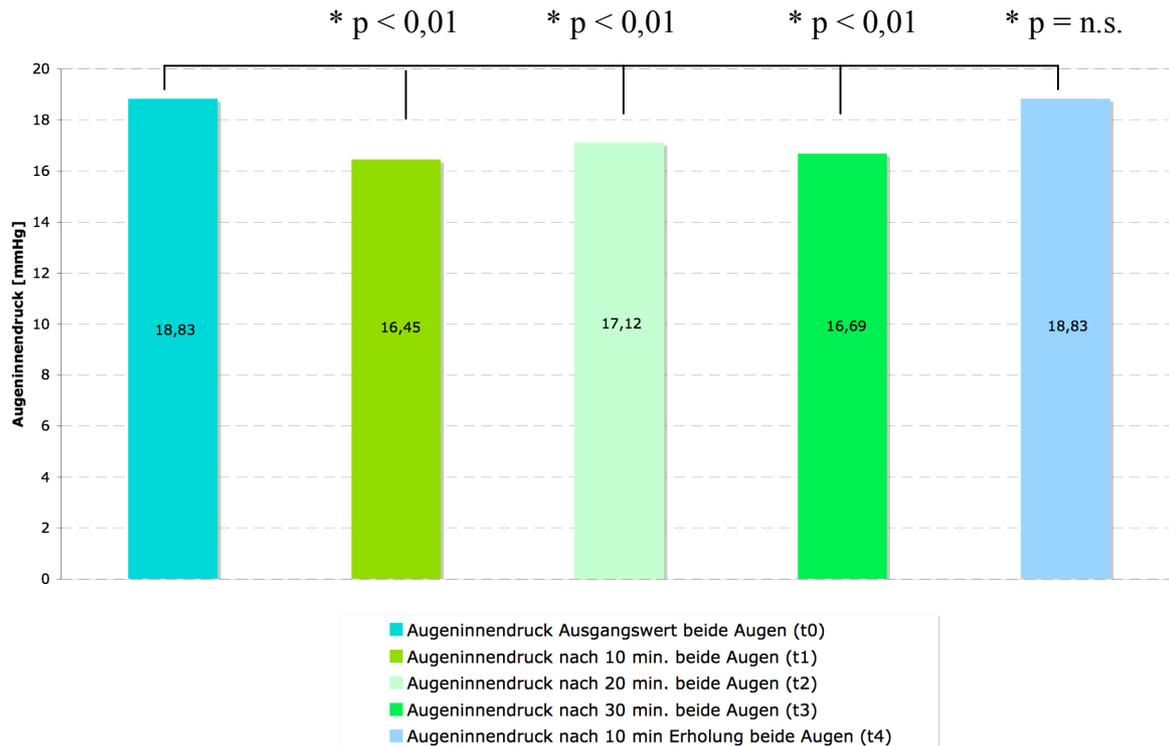


Abbildung 6: Augeninnendruck während des Versuchs zur Ausdauerbelastung

Fragestellung 3: Hat die Dauer der Belastung einen Effekt auf die Stärke der Veränderung des Augeninnendrucks?

Zur Untersuchung dieser Fragestellung wurde eine Varianzanalyse mit Messwiederholungen durchgeführt.

Die Varianzanalyse hat ergeben, dass die Länge der Belastung keine Auswirkung auf das Ausmaß der Senkung des Augeninnendrucks hat.

Die Werte des Augeninnendrucks unterschieden sich nach 10 Minuten, nach 20 Minuten und nach 30 Minuten nicht signifikant voneinander.

4.2 Einfluss von Kraftbelastung auf den Augeninnendruck

Es wurden die Augeninnendrucke der Probanden vor Belastung (t0), direkt nach der Belastung (t1) und 10 Minuten nach der Belastung (t2) erhoben und dem Kolmogorov-Smirnov- Anpassungstest auf Normalverteilung unterzogen. Es ist eine Normalverteilung der Augeninnendrucke für alle Versuche anzunehmen. Da die Literatur keine eindeutigen Erkenntnisse in Bezug auf den Effekt von Krafttraining auf den Augeninnendruck bietet,

wurden die erhobenen Daten im Anschluss einem zweiseitigen t-Test bei gepaarten Stichproben überprüft.

Bei einer fünfprozentigen Fehlerwahrscheinlichkeit gilt wieder $p = 0,05$.

4.2.1 Einfluss von Legcurl 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft auf den Augeninnendruck

Fragestellung 4: Wie wirkt sich Kraftbelastung auf den Augeninnendruck aus?

Der mittlere Augeninnendruck in Ruhe betrug $16,98 \text{ mmHg} \pm 3,04 \text{ mmHg}$. Er veränderte sich nach der Belastung mit 20 Wiederholungen am Legcurlgerät nicht signifikant, hier betrug er $17,17 \text{ mmHg} \pm 2,96 \text{ mmHg}$; $p = \text{n.s.}$.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse muss für die Hypothese 1 die Nullhypothese beibehalten werden.

Kraftbelastung mit 20 Wiederholung bei 65% der Maximalkraft am Legcurlgerät führt nicht zu einer signifikanten Veränderung des Augeninnendrucks

Fragestellung 5: Hat Kraftbelastung einen über die Belastung hinaus anhaltenden Effekt - ≥ 10 Minuten - auf den Augeninnendruck?

Der mittlere Augeninnendruck betrug in Ruhe $16,98 \text{ mmHg} \pm 3,04 \text{ mmHg}$, nach Belastung $17,17 \text{ mmHg} \pm 2,96 \text{ mmHg}$ und nach 10 Minuten Erholung nach Belastung $17,07 \text{ mmHg} \pm 2,93$. Es gab zwischen keinem der drei Messpunkte signifikante Veränderungen des mittleren Augeninnendrucks: weder zwischen mittlerem Ausgangs-Augeninnendruck und mittlerem Augeninnendruck nach Belastung, noch zwischen mittlerem Ausgangs-Augeninnendruck und mittlerem Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung und auch nicht zwischen mittlerem Augeninnendruck nach Belastung und mittlerem Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung.

Hieraus und aus der Tatsache, dass schon in Hypothese 1 die Nullhypothese beibehalten werden musste, ergibt sich, dass diese auch für Hypothese 2 gilt. Es kann daher festgestellt werden, dass

Kraftbelastung mit 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft am Legcurlgerät keinen über die Belastung hinaus anhaltenden Effekt - ≥ 10 Minuten- auf den Augeninnendruck hat.

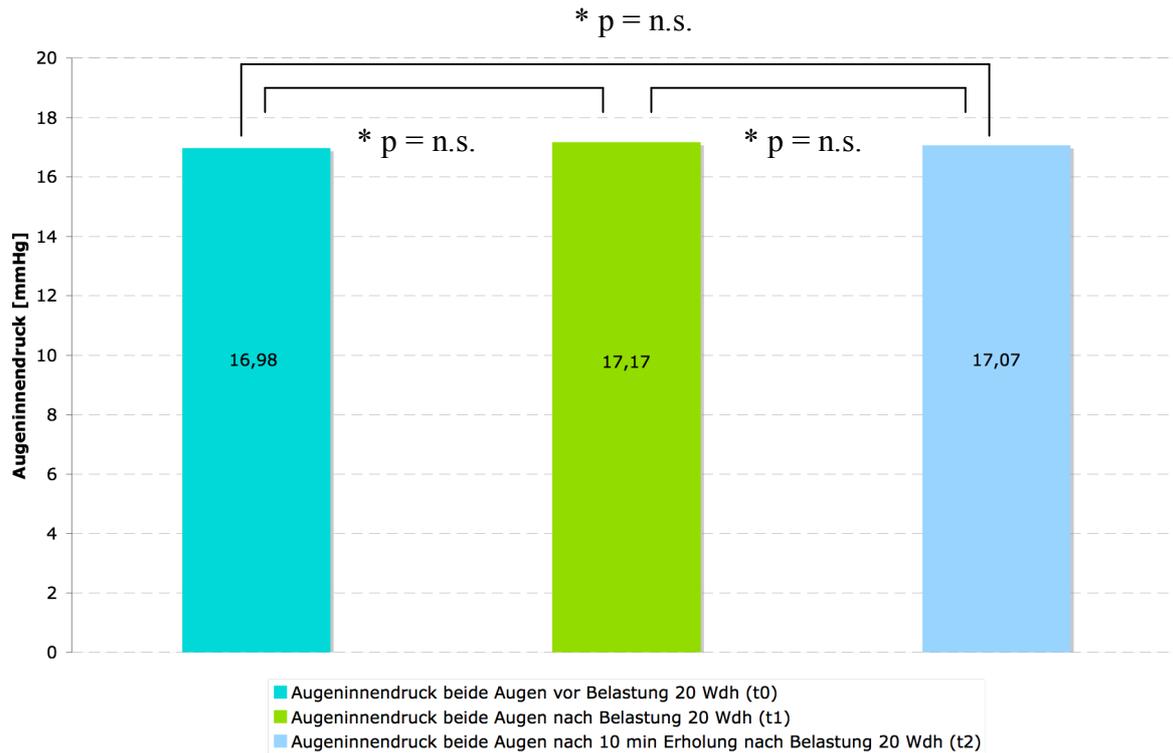


Abbildung 7: Augeninnendruck während des Versuchs zur Belastung mit 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft am Legcurlgerät

4.2.2 Einfluss von Legcurl 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft auf den Augeninnendruck

Fragestellung 4: Wie wirkt sich Kraftbelastung auf den Augeninnendruck aus?

Der mittlere Augeninnendruck vor der Belastung mit 10 Wiederholungen am Legcurlgerät betrug $16,81 \text{ mmHg} \pm 3,28 \text{ mmHg}$. Er bewegte sich nicht signifikant zum mittleren Augeninnendruck nach Belastung, dieser betrug $17,21 \text{ mmHg} \pm 2,93$. Es muss also auch hier die Alternativhypothese verworfen werden.

Die 10fache Wiederholung mit 75% der Maximalkraft am Legcurlgerät führt zu keiner signifikanten Änderung des Augeninnendrucks.

Fragestellung 5: Hat Kraftbelastung einen über die Belastung hinaus anhaltenden Effekt - ≥ 10 Minuten - auf den Augeninnendruck?

Während des Versuchs zur Belastung mit 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft am Legcurlgerät kam es zu keinem der drei Messzeitpunkten zu einer signifikanten Änderung des mittleren Augeninnendrucks, Der mittlere Ausgangs Augeninnendruck betrug $16,81 \text{ mmHg} \pm 3,29 \text{ mmHg}$, der mittlere Augeninnendruck nach Belastung $17,21 \text{ mmHg} \pm 2,93$ und der

mittlere Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung $16,71 \pm 2,79$ mmHg. Keiner dieser Werte unterscheidet sich signifikant von den anderen.

Es liegt die gleiche Situation vor wie bei der Auswertung von 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft. Da es zu keiner signifikanten Änderung des Augeninnendrucks durch die Belastung kam, kann kein Effekt der Zeit auf die Änderung des Augeninnendrucks beurteilt werden. Auch hier untermauern die aufgeführten Ergebnisse obige Aussage.

Die 10fache Wiederholung bei 75% der Maximalkraft am Legcurlgerät hat keinen über die Belastung hinaus anhaltenden Effekt - ≥ 10 Minuten - auf den Augeninnendruck.

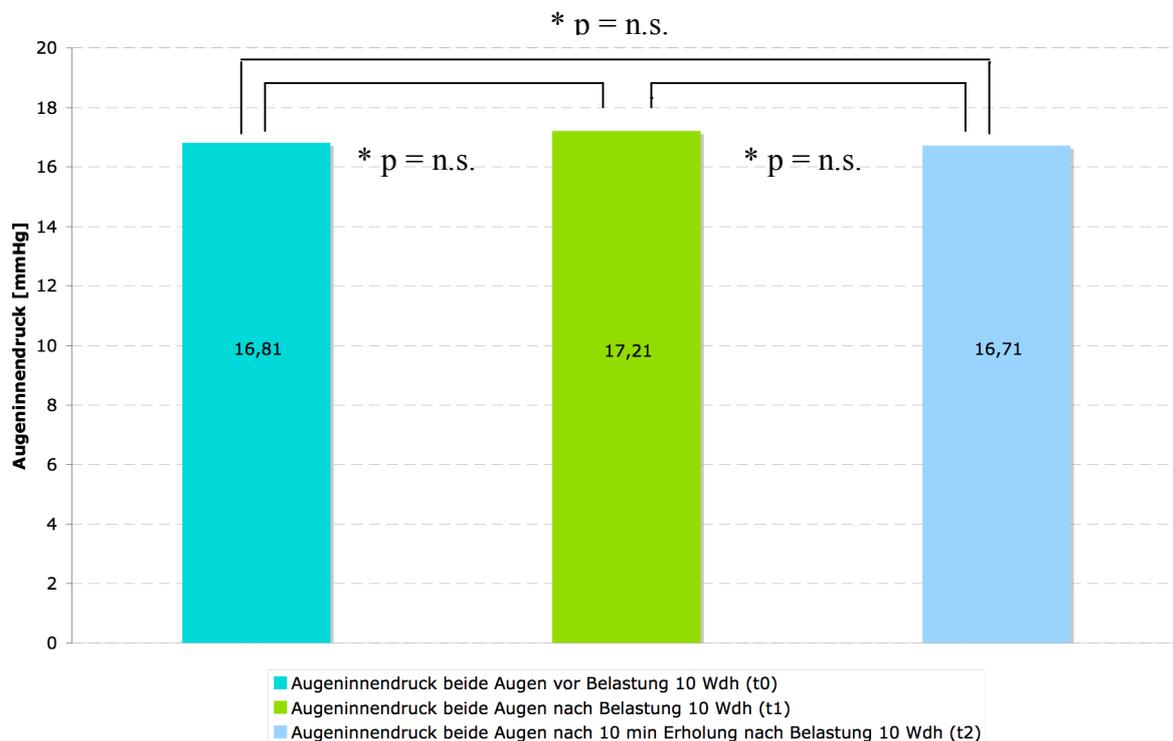


Abbildung 8: Augeninnendruck während des Versuchs zur Belastung mit 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft am Legcurlgerät

4.2.3 Einfluss von 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft am Butterflygerät auf den Augeninnendruck

Fragestellung 4: Wie wirkt sich Kraftbelastung auf den Augeninnendruck aus?

Der mittlere Ausgangs-Augeninnendruck betrug $16,40 \text{ mmHg} \pm 2,61 \text{ mmHg}$ und stieg nach der Kraftbelastung am Butterflygerät auf einen mittleren Augeninnendruck von $17,21 \text{ mmHg} \pm 2,63 \text{ mmHg}$ an. Dieser Anstieg war signifikant, $p < 0,05$.

Es kommt zu einem signifikanten Anstieg des Augeninnendrucks, die Nullhypothese wird verworfen.

Fragestellung 5: Hat Krafttraining einen über die Belastung hinaus anhaltenden Effekt - ≥ 10 Minuten - auf den Augeninnendruck?

Der mittlere Augeninnendruck nach Belastung von $17,21 \pm 2,63$ mmHg veränderte sich signifikant zum mittleren Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung, er betrug hier $16,26 \pm 2,74$; $p \leq 0,01$.

Der mittlere Ausgangs-Augeninnendruck von $16,40$ mmHg $\pm 2,61$ mmHg und der mittlere Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung, $16,26 \pm 2,74$ unterschieden sich jedoch nicht signifikant voneinander, $p = \text{n.s.}$.

Die Nullhypothese kann deshalb nicht verworfen werden. Nach 10 Minuten Erholung nähert sich der Augeninnendruck wieder dem Ausgangswert an.

Kraftbelastung mit 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft am Butterflygerät hat keinen über die Belastung hinaus anhaltenden Effekt - ≥ 10 Minuten - auf den Augeninnendruck.

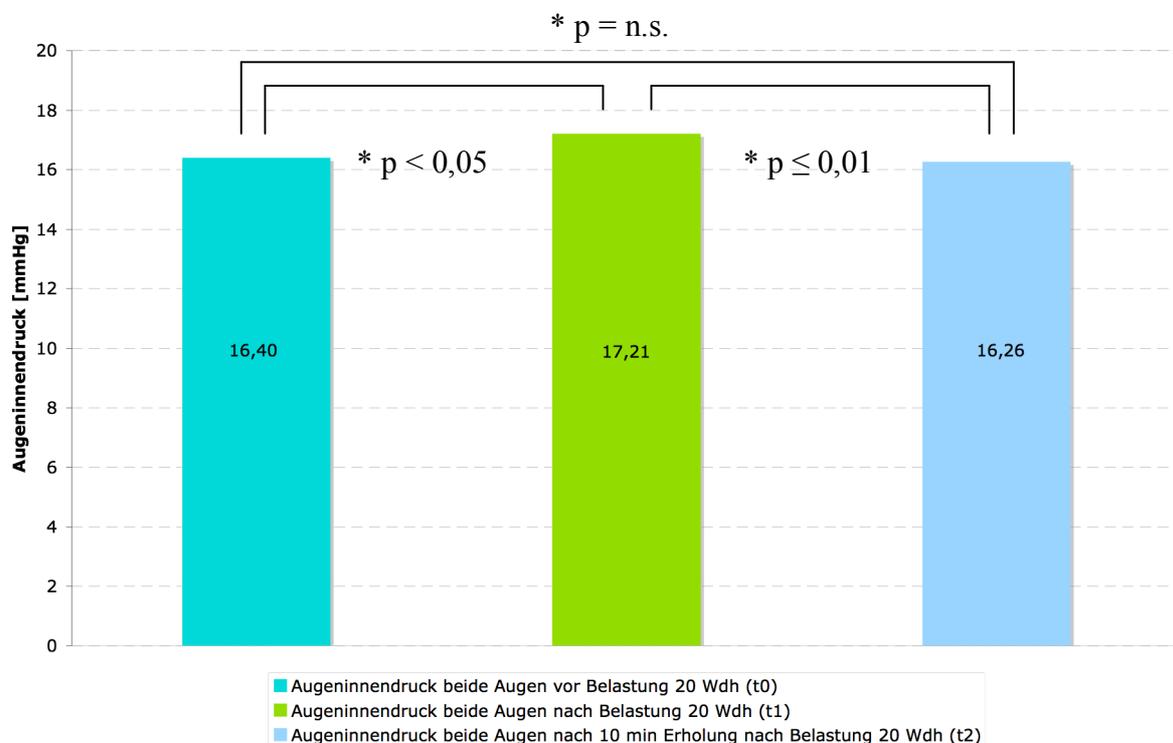


Abbildung 9: Augeninnendruck während des Versuchs zur Belastung mit 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft am Butterflygerät

4.2.4 Einfluss von 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft am Butterflygerät auf den Augeninnendruck

Fragestellung 4: Wie wirkt sich Kraftbelastung auf den Augeninnendruck aus?

Der mittlere Augeninnendruck betrug in Ruhe $16,31 \text{ mmHg} \pm 2,49 \text{ mmHg}$ und nach Belastung $16,88 \text{ mmHg} \pm 2,46 \text{ mmHg}$. Es konnte keine signifikante Bewegung des Augeninnendrucks festgestellt werden, $p = \text{n.s.}$. Die Alternativhypothese muss verworfen werden.

Die Belastung durch 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft am Butterflygerät hat keinen signifikanten Effekt auf den Augeninnendruck.

Fragestellung 5: Hat Kraftbelastung einen über die Belastung hinaus anhaltenden ≥ 10 Minuten - Effekt auf den Augeninnendruck?

Der mittlere Augeninnendruck nach Belastung mit 10 Wiederholungen, $16,88 \pm 2,46$, änderte sich nicht signifikant zum mittleren Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung nach Belastung, $16,64 \pm 2,72$, $p = \text{n.s.}$. Auch zwischen dem mittleren Ausgangs-Augeninnendruck von $16,31 \text{ mmHg} \pm 2,49 \text{ mmHg}$ und dem mittleren Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung von $16,64 \text{ mmHg} \pm 2,72 \text{ mmHg}$ gab es keinen signifikanten Unterschied, $p = \text{n.s.}$. Da kein Effekt des Trainings auf den Augeninnendruck nachweisbar war, konnte auch hier der Einfluss der Zeit auf den Effekt nicht untersucht werden. Die Nullhypothese wird beibehalten, oben genannte Ergebnisse untermauern diese.

Die 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft am Butterflygerät haben keine über die Belastung hinaus anhaltenden ≥ 10 Minuten - Auswirkungen auf den Augeninnendruck.

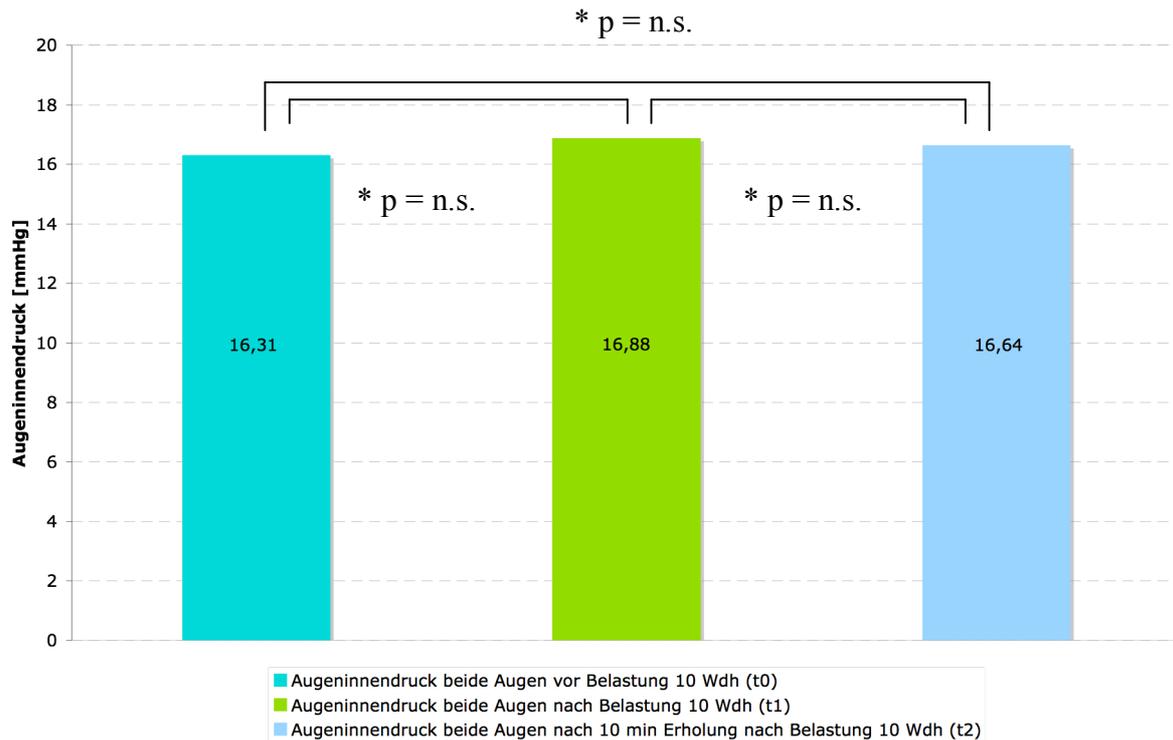


Abbildung 10: Augeninnendruck während des Versuchs zur Belastung mit 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft am Butterflygerät

4.2.5 Unterschiede in den Effekten von Krafttraining der oberen, beziehungsweise unteren Extremität auf den Augeninnendruck

Fragestellung 6: Wirkt sich Kraftbelastung der oberen Extremität unterschiedlich auf den Augeninnendruck aus als Kraftbelastung der unteren Extremität? Jeweils für 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft und 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft.

Hier soll zwischen dem Effekt von Belastung der oberen Extremität zu Training der unteren Extremität auf den Augeninnendruck verglichen werden.

Um die oben genannte Fragestellung zu untersuchen, wurden die Differenzen des Augeninnendrucks zwischen dem Ausgangswert und dem Wert direkt nach Belastung gebildet. Diese wurden dann mit einer einfaktoriellen Varianzanalyse getestet. Die Werte unterscheiden sich nicht signifikant voneinander, das heißt:

Die Belastung der oberen Extremität unterscheidet sich in ihrer Auswirkung auf den Augeninnendruck nicht signifikant von der Belastung der unteren Extremität.

4.2.6 Unterschiede in den Effekten von Belastung bei unterschiedlichen Intensitäten auf den Augeninnendruck

Fragestellung 7: Unterscheiden sich die Effekte von Kraftbelastung bei verschiedenen Intensitäten auf den Augeninnendruck?

Weiterhin wurde getestet, ob sich die Belastung mit den zwei verschiedenen Intensitäten unterschiedlich auf den Augeninnendruck auswirkt. Auch hier wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt. Sie ergab:

Die zwei unterschiedlichen Belastungsintensitäten unterscheiden sich nicht signifikant in ihrem Effekt auf den Augeninnendruck.

5 Diskussion

5.1 Schlussfolgerungen

5.1.1 Ausdauerbelastung auf dem Fahrradergometer

In der vorliegenden Arbeit konnte gezeigt werden, dass Fahrradfahren bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute über den Zeitraum von 30 Minuten den Augeninnendruck senkt. Nach 10 Minuten war der Augeninnendruck wieder auf den Ausgangswert angestiegen. Die Dauer des Trainings beeinflusste den Abfall des Augeninnendrucks nicht signifikant. Die Ergebnisse bestätigen somit vorherige Studien. In Ausblick auf den klinischen Alltag kann die Aussage getroffen werden, dass Patienten mit erhöhtem Augeninnendruck oder Glaukom angeraten werden kann, Fahrrad zu fahren, auch wenn keine Aussage über die langfristige Wirkung möglich ist.

5.1.2 Kraftbelastung

Eine allgemeine Aussage bezüglich des Effekts von Kraftbelastung auf den Augeninnendruck zu treffen ist schwieriger als für das Fahrradfahren. In der vorliegenden Studie beeinflusste von vier verschiedenen Belastungssituationen nur eine signifikant den Augeninnendruck, nämlich 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft am Butterflygerät. Die übrigen Übungen zeigten keinen signifikanten Effekt auf den Augeninnendruck. Auch muss man berücksichtigen, dass es zwar zu einem statistisch signifikanten Anstieg von $0,81 \pm 1,63$ mmHg, beziehungsweise 4,9% kam, dieser jedoch trotz allem sehr gering ist. Wenn man sich

dann weiterhin die absoluten Werte vor Augen führt und diese miteinander vergleicht, so zeigen sich – wenn überhaupt - nur sehr geringe Abweichungen unter den Augeninnendruckwerten, die während der verschiedenen Belastungssituationen gemessen wurden. So beträgt die Differenz zwischen dem mittleren Augeninnendruck bei Belastung durch 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft und 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft am Butterflygerät 0,33 mmHg, zu 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft am Legcurlgerät nur noch 0,04 mmHg und zu 10 Wiederholungen bei 75% der Maximalkraft am Legcurlgerät gibt es keine Differenz der gemessenen Werte. Die klinische Bedeutung des gemessenen Anstiegs ist daher in diesem Kontext eher weniger bedeutsam zu sehen.

Wie in 2.1.3 dargestellt, ist auch die aktuelle Forschungslage über den Effekt von Krafttraining auf den Augeninnendruck nicht einheitlich. Dickerman et al. (1999) sowie Vieira et al. (2006) maßen mit Bankdrücken bei hohen Intensitäten einen steigenden Augeninnendruck von 115% und bis zu 23%, während Ozmerdivenli et al. (2006), Chromiak et al. (2003) einen Augeninnendruckabfall von bis zu 14,5 % und Avunduk et al. (1999) bis zu 59 % bei Trainingssituationen, die eher Kraftausdauertraining entsprachen, verzeichneten. Weiterhin ist es schwierig, zu einer einheitlichen Aussage bezüglich des Effekts von Kraftbelastung auf den Augeninnendruck zu kommen, da die Ergebnisse in oben genannten Studien durch sehr unterschiedliche Belastungssituationen entstanden sind. Natürlich muss man außerdem die verschiedenen Versuchsaufbauten der Studien berücksichtigen. So wurden die Studien, bei denen es zu starken Anstiegen kam (Dickermann et al., 1999, Vieira et al., 2006), im Liegen durchgeführt, während die Studien, bei denen es zu einem Augeninnendruckabfall kam (Avunduk et al., 1999, Chromiak et al., 2003, Ozmerdivenli et al., 2006), im Sitzen durchgeführt wurden. Es ist denkbar, dass die unterschiedlichen Körperpositionen auch zu den unterschiedlichen Ergebnissen beigetragen haben. So ist es möglich, dass die im Liegen stärkere Füllung der venösen Gefäße des Halses und Kopfes den in 2.1.3 beschriebenen Mechanismus unterstützen und es so positionsbedingt zu einer verstärkten Füllung des choroidalen Gewebes und letztlich Anstieg des Augeninnendrucks kommt. Weiterhin kamen die stärksten Anstiege immer dann zustande, wenn auch gleichzeitig ein Valsalvamanöver der Versuchspersonen gefordert wurde. Dickermann et al. (1999) konnten einen Anstieg des Augeninnendrucks von 115 % und Vieira et al. (2006) von 23% messen. Hier ist besonders interessant, dass Vieira et al. (2006) bei der Kontrollgruppe, die dieselbe Übung ohne Valsalvamanöver machte, nur Anstiege des Augeninnendrucks von 11 % verzeichnen konnte.

Ein weiterer Faktor, der in der oben angeführten Literatur unterschiedlich gewählt wurde, ist die Intensität mit der die jeweiligen Übungen durchgeführt wurden. Dickermann et al. (1999) ließen ihre Probanden bei 100% der Maximalkraft, Vieira et al. (2006) hingegen nur bei 80% der Maximalkraft Bankdrücken, während Chromiak et al. (2003) einen Versuchsaufbau der eher einem Kraftausdauertraining entsprach, benutzten. Sie verwendeten 70% der Maximalkraft bei mehreren Durchgängen. Avunduk et al. (1999) hingegen verwendeten ein anderes System zur Messung der Belastungsintensität, sodass sich die Ergebnisse schlechter mit denen der anderen Forschungsgruppen vergleichen lassen.

Aufgrund der genannten Unterschiede ist es deshalb schwierig, eine allgemeingültige Aussage bezüglich des Effekts von Kraftbelastung auf den Augeninnendruck zu treffen. Eine Tendenz hingegen lässt sich jedoch trotzdem feststellen: So kann man beobachten, dass Augeninnendruckanstiege in der Literatur durch eine eher statische Kraftbelastung mit hohen Intensitäten erzielt worden sind, während eine dynamische Kraftbelastung mit niedrigeren Intensitäten eher zu einer Senkung des Augeninnendrucks geführt hat.

Die Ergebnisse von Avunduk et al. (1999) zeigen auch einen deutlichen Unterschied zwischen dem Effekt von statischer und dynamischer Kraftbelastung auf den Augeninnendruck. Während bei isokinetischer Belastung (Flexion des Kniegelenks gegen einen Widerstand) ein Augeninnendruckabfall von 51% verzeichnet wurde, führte eine Belastung der gleichen Muskelgruppe durch isometrische Haltearbeit lediglich zu einem Augeninnendruckabfall von 29%. Aus diesem Ergebnis wird deutlich, dass nicht nur Kraft- und Ausdauerbelastung unterschiedliche Auswirkungen auf den Augeninnendruck haben, sondern dass sich auch die Art der Kraftbelastung unterschiedlich auf diesen auswirkt.

Trotzdem bleibt es fraglich, wieso bei Avunduk et al. (1999) auch eine isometrische Belastung zu einer Augeninnendruckreduktion führte, während Dickermann et al. (1999) und Vieira et al. (2006) beim Bankdrücken Anstiege verzeichneten. Wie oben schon angeführt, ist die Durchführung eines Valsalvamanövers ein wichtiger Faktor.

Es ist möglich, dass auch die Kontrollgruppe von Vieira et al. (2006), obwohl dies ausgeschlossen werden sollte, ein Valsalvamanöver durchführte, da es schwierig ist, beim Halten eines Gewichtes von 80% der Maximalkraft über dem Kopf ruhig weiterzuatmen. In den Studien, in denen Augeninnendruckabfälle verzeichnet wurden, war der Effekt eines Valsalvamanövers schon deshalb geringer, weil mit niedrigeren Intensitäten belastet wurde. Obwohl in dieser Studie kein signifikanter Unterschied zwischen dem Effekt von Belastung der unteren gegenüber Belastung der oberen Extremität nachgewiesen werden konnte, ist es denkbar, dass die Belastungssituation der oberen Extremität zu einer unwillkürlichen

Anspannung geführt hat, die in einem erhöhten intrathorakalen Venendruck und auf diesem Weg durch Fortleitung bis hin zu den Vortexvenen einen Anstieg des Augeninnendrucks bewirkt. Möglicherweise ist diese Anspannung bei Belastung der unteren Extremität eventuell besser zu kontrollieren oder führt eher zu einer Anspannung des Abdomens, die auf dem Weg bis zu den Orbitalvenen schon wieder gegenreguliert werden kann.

Der minimale Anstieg des Augeninnendrucks, der in dieser Studie bei 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft verzeichnet wurde, könnte also durch ein nicht gewollt erfolgtes Valsalvamanöver oder auch durch unwillkürliche Anspannung erhöhten intrathorakalen Druck zustande gekommen sein. Diesem geringen, wenn auch signifikanten Anstieg braucht jedoch, wie oben schon angedeutet, wahrscheinlich keine Bedeutung beigemessen zu werden. Im Gegensatz zur oberen Extremität führten beide Belastungsmodalitäten bei der unteren Extremität zu keiner signifikanten Änderung des Augeninnendrucks.

In Bezug auf den klinischen Alltag muss man außerdem kritisch berücksichtigen, dass sowohl vorliegende Arbeit, aber auch die Studien der genannten Literatur an jungen und gesunden Probanden durchgeführt wurden. Es wäre sehr interessant zu untersuchen, ob ein ähnlicher Versuchsaufbau bei älteren Menschen oder Glaukompatienten zu gleichen Ergebnissen führt.

In Bezug auf den klinischen Alltag muss man Glaukompatienten oder Patienten mit erhöhtem Augeninnendruck nicht abraten, Kraftausdauersport der unteren Extremität zu betreiben.

Da in der vorliegenden Studie bei Kraftbelastung der oberen Extremität ein geringer Augeninnendruckanstieg nachweisbar war, sollte der Effekt von Kraftbelastung der oberen Extremität auf den Augeninnendruck noch einmal unter engmaschiger augenärztlicher Kontrolle genauer untersucht werden, bevor hier eine Empfehlung für oder gegen diese Sportart bei Patienten mit Glaukom oder erhöhtem Augeninnendruck ausgesprochen wird.

Zum jetzigen Zeitpunkt sollte Glaukompatienten oder Patienten mit erhöhtem Augeninnendruck daher eher Krafttraining der unteren Extremität empfohlen werden.

5.2 Methodenkritik

Die vorliegende Studie wurde an 21 Probanden durchgeführt. Dies ist eine relativ kleine Gruppe, trotzdem wurden signifikante Ergebnisse erzielt, was für die Eindeutigkeit der Beziehung zwischen Ausdauersport und dem Augeninnendruck spricht. Die Ergebnisse in Bezug auf Kraftbelastung zeigten einen tendenziellen Anstieg, hier wäre es sicherlich sinnvoll, eine größere Gruppe zu untersuchen.

In einzelnen Fällen kam es bei den ersten Messungen des Augeninnendrucks zu Blinzeln, sodass erst die zweite oder sogar die dritte vollständige Messung genutzt werden konnte. Bei der Kraftbelastung wurde der Wert des Augeninnendrucks gemessen, nachdem die Probanden die letzte Wiederholung ausgeführt hatten. Es ist also nicht der Wert des Augeninnendrucks zum Zeitpunkt der Belastung, sondern erst kurz nach der Belastung. An Tag 2 wurden sämtliche Daten zur Auswirkung des Krafttrainings auf den Augeninnendruck erhoben. Zwischen den einzelnen Übungen wurde jeweils eine halbe Stunde gewartet. Es ist nicht auszuschließen, dass die vorangegangenen Übungen die nachfolgenden beeinflusst haben könnten.

5.3 Ausblick

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit gerade bezüglich des Einflusses von Kraftbelastung auf den Augeninnendruck ergeben sich weitere Fragen: Es konnte in dieser Arbeit nicht abschließend beurteilt werden, ob Kraftbelastung der unteren Extremität einen signifikanten Einfluss auf den Augeninnendruck hat. Es wäre interessant zu untersuchen, ob sich diese Ergebnisse mit einer Gruppe von Patienten, die an erhöhtem Augeninnendruck leiden, unter engmaschiger Kontrolle bestätigen lassen.

Für Kraftbelastung der oberen Extremität konnte gezeigt werden, dass sich bei einer Wiederholungszahl von 20 und einer Intensität von 65% der Maximalkraft der Augeninnendruck erhöht. Hier wäre es gut, den Studienaufbau mit einer größeren Anzahl an Probanden und mit Patienten die an erhöhtem Augeninnendruck oder Glaukom leiden, zu wiederholen, um eine eindeutige Aussage treffen zu können.

Weiterhin könnte es vielversprechend sein, Belastung an anderen Kraftsportgeräten und auch in anderen Körperpositionen auf ihren Effekt auf den Augeninnendruck zu untersuchen. Dies könnte helfen, die Mechanismen, die zu einer Änderung des Augeninnendrucks führen, besser zu verstehen und natürlich auch, Glaukompatienten genauer beraten zu können, ob und wie sie sich sportlich betätigen sollten.

6 Zusammenfassung

Theorie: Der Augeninnendruck ist für das Entstehen eines Glaukoms ein wichtiger Risikofaktor. Viele Studien haben bislang den Effekt von Sport auf den Augeninnendruck untersucht. Die Mehrzahl der Studien kamen zu dem Ergebnis, dass aerobe Sportarten den Augeninnendruck senken. Für Krafttraining ist die Datenlage jedoch nicht eindeutig: Es wurden nach Belastung mit Krafttraining sowohl starke Anstiege als auch Absenkungen des Augeninnendrucks verzeichnet.

Fragestellung: In dieser Arbeit wurde untersucht, welchen Effekt Kraftbelastung und Ausdauersport (Fahrradfahren) bei denselben gesunden Probanden auf den Augeninnendruck haben.

Beim Ausdaueranteil wurde geprüft, ob sich der Augeninnendruck bei einem Training bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute absenkt, ob der Effekt des Trainings auf den Augeninnendruck zeitabhängig und ob er noch über die Belastung hinaus nach 10 Minuten nachweisbar ist.

Ferner wurden die Effekte ermittelt, die Kraftbelastung auf den Augeninnendruck hat und ob sich Belastung der unteren Extremität anders auf den Augeninnendruck auswirkt als Belastung der oberen. Außerdem wurde in zwei verschiedenen Intensitäten belastet. So sollte sich herausstellen, ob die Belastung mit hoher Intensität und niedriger Wiederholungszahl oder eine hohe Wiederholungszahl mit niedrigerer Intensität einen stärkeren Effekt auf den Augeninnendruck hat. Besonders interessiert hat die Frage, ob der Effekt nach 10 Minuten noch nachweisbar ist.

Die Geräte, an denen die Kraftbelastung absolviert wurde, sind das Legcurl- und das Butterflygerät.

Probanden und Methode: Zur Untersuchung der oben genannten Fragestellung wurde der Augeninnendruck von 21 Probanden, also 42 Augen, gemessen. Der Versuchsablauf gliederte sich in zwei Tage. An Tag 1 wurde der Augeninnendruck nach Belastung durch Fahrradfahren erhoben. Die Probanden mussten dazu eine halbe Stunde lang bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute Fahrradfahren. Alle 10 Minuten, sowie 10 Minuten nach Ende der Belastung (t₀, t₁, t₂, t₃, t₄) wurde der Augeninnendruck bestimmt. An Tag 2 wurde der Augeninnendruck nach Belastung durch Kraftübungen erhoben. Dieses wurde in zwei Teilen durchgeführt, die Probanden mussten dabei sowohl am LegCurl- wie

auch am Butterflygerät jeweils 10 Wiederholungen bei einer Intensität von 75% der Maximalkraft sowie 20 Wiederholungen bei 65% der Maximalkraft absolvieren. Es wurde der Augeninnendruck vor Belastung (t1), kurz nach Belastung (t2) und 10 Minuten nach Belastung (t3) gemessen.

Ergebnisse: Fahrradfahren: Der mittlere Augeninnendruck von 21 Probanden sank vom Zeitpunkt t0: $18,83 \text{ mmHg} \pm 2,72 \text{ mmHg}$ zu den Zeitpunkten t1: $16,45 \text{ mmHg} \pm 2,86 \text{ mmHg}$, t2: $17,12 \text{ mmHg} \pm 2,60 \text{ mmHg}$ und t3: $16,69 \text{ mmHg} \pm 3,27 \text{ mmHg}$ signifikant ab.

Der mittlere Augeninnendruck stieg dann vom Zeitpunkt t3 auf den Zeitpunkt t4 (nach 10 Minuten Erholung) wieder signifikant an. Zwischen dem mittleren Ausgangsausgeninnendruck und dem Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung gab es keinen signifikanten Unterschied.

Kraftteil: untere Extremität: Sowohl bei einer Intensität von 75% der Maximalkraft und 10 Wiederholungen, wie auch bei einer Intensität von 65% der Maximalkraft und 20 Wiederholungen konnte keine signifikante Änderung des mittleren Ausgangsausgeninnendrucks, zum mittleren Augeninnendruck direkt nach Belastung und zum mittleren Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung verzeichnet werden.

obere Extremität: Die Belastung mit 75% der Maximalkraft und 10 Wiederholungen führte zu keiner signifikanten Änderung des mittleren Augeninnendrucks.

Bei Belastung mit 65% der Maximalkraft und 20 Wiederholungen konnte allerdings ein signifikanter Anstieg des mittleren Augeninnendrucks um $0,81 \text{ mmHg} \pm 1,63 \text{ mmHg}$ von $16,4 \text{ mmHg} \pm 2,61 \text{ mmHg}$ auf $17,21 \text{ mmHg} \pm 2,63 \text{ mmHg}$ beobachtet werden.

Vom mittleren Augeninnendruck zum Zeitpunkt t1 zum mittleren Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung (t2) sank der mittlere Augeninnendruck wieder signifikant ab.

Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen dem mittleren Ausgangsausgeninnendruck (t0) und dem mittleren Augeninnendruck nach 10 Minuten Erholung (t2).

Schlussfolgerungen:

Fahrradfahren bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen pro Minute senkt den Augeninnendruck. Das Ausmaß der Senkung ist unabhängig von der Dauer der Anstrengung und nach 10 Minuten Erholung ist der Effekt des Fahrradfahrens auf den Augeninnendruck

nicht mehr nachweisbar. Ausdauertraining auf einem Fahrradergometer kann daher Glaukumpatienten oder Patienten mit erhöhtem Augeninnendruck empfohlen werden. Kraftbelastung der unteren Extremität hat am Legcurlgerät keine signifikanten Auswirkungen auf den Augeninnendruck. Menschen, die an Glaukom leiden oder Glaukom gefährdet sind, muss also nicht abgeraten werden, Krafttraining der unteren Extremität zu betreiben. Da es bei Kraftbelastung der oberen Extremität zumindest bei einer Übung zu einem signifikanten Anstieg des Augeninnendrucks kam, sollten Patienten, die an erhöhtem Augeninnendruck oder Glaukom leiden, diese Übung nicht unkontrolliert durchführen.

7 Literaturverzeichnis

Augustin, A. J. (2007) : Augeneheilkunde. 3. Auflage, Springer, Berlin

Ashkenazi, I., Melamed, S., Blumenthal, M. (1002): The effect of continuous strenuous exercise on intraocular pressure. Invest Ophthalmol Vis Sci. 33 (10), 2874- 2877

Avunduk, A.M., Yilmaz, B., Sahin, N., Kapicioglu, Z., Dayanir, V. (1999): The comparison of intraocular pressure reductions after isometric and isokinetic exercise in normal individuals. Ophthalmologica. 213, 290- 294

Berufsverband der Augenärzte Deutschlands e.V. (2010): Statistische Datenbank, Augenkrankheiten, Glaukom, abgerufen über http://www.augeninfo.de/stat_db/glaukom.php

Biró, I., Botar, Z. (1962): Über das Verhalten des Augendruckes bei verschiedenen Sportleistungen. Klin Monatsbl Augenheilkd. 140 (1), 23- 30

Brusini, P., Salvat, M.L., Zeppieri, M., Tosoni, C., Parisi, L. (2006): Comparison of icare tonometer with goldmann applanation tonometer in glaucoma patients. J Glaucoma. 15 (2), 213- 217

Chromiak, J.A., Abadie, B.R., Braswell, R.A., Koh, Y.S., Chilek, D.R.(2003): Resistance training exercises acutely reduce intraocular pressure in physically active men and women. J Strength Cond Res. 17 (4), 715- 720

Dane, S., Kocer, I., Demirel, H., Uçok, K., Tan, U. (2006): Effect of submaximal exercise on intraocular pressure in athletes and sedentary subjects. Int J Neurosci. 116 (10), 1223- 1230

Davies, L.N., Bartlett, H., Mallen, E.A.H., Wolffsohn, J.S. (2006): Clinical evaluation of rebound tonometer. Acta Ophthalmol Scand. 84 (2), 206- 209

Evans, D., Harris, A., Garrett, M., Chung, H.S., Kagemann, L.(1999): Glaucoma patients demonstrate faulty autoregulation of ocular blood flow during posture change. Br J Ophthalmol. 83 (7), 809- 813

Fernandes, P., Diaz- Rey, J.A., Queirós, A., Gonzalez- Meijome, J.M., Jorge, J.(2005): Comparison of the icare rebound tonometer with the goldmann tonometer in a normal population. *Ophthalmic Physiol Opt.* 25 (5), 436- 440

Fogagnolo, P., Rossetti, L., Mazzolani, F., Orzalesi, N. (2006): Circadian variation in central corneal thickness and intraocular pressure in patients with glaucoma. *Br J Ophtalmol.* 90, 24- 28

Frampton, P., Da Rin, D., Brown, B. (1987): Diurnal variation of intraocular pressure and the overriding effects of sleep. *Am J Optom Physiol Opt.* 64 (1), 54- 61

Grehn, F. (2008): *Augenheilkunde.* 30. Auflage, Springer, Heidelberg

Harris, A.,Malinovsky, V.E., Cantor, L.B., Henderson, P.A., Martin, B.J. (1992): Isocapnia blocks exercise- induced reductions in ocular tension. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 33 (7), 2229- 2232

Harris, A., Malinovsky, V., Martin, B. (1994): Correlates of acute exercise- induced ocular hypotension. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 35 (11), 3852 – 3857

Henmi, T., Yamabayashi, S., Furuta, M., Hosoda, M., Fujimori, C., Tamura, M., Kashiwagi, F., Tsukahara, S. (1994): Seasonal variation in intraocular pressure. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi.* 98 (8), 782- 786

Hennis, A., Wu, S.Y., Nemesure, B., Leske,M.C. (2003): Hypertension, diabetes, and longitudinal changes in intraocular pressure. *Ophthalmology.* 110 (5), 908- 914

Kanski, J. J. (2004): *Klinische Ophtalmologie. Lehrbuch und Atlas.* 5. Auflage, Urban und Fischer, München

Karabatakis, V.E., Natsis, K. I., Chatzibalis, T.E., Lake, S.L., Bisbas, I.T., Kallinderis, K.A., Stangos, N.T. (2004): Correlating intraocular pressure, blood pressure, and heart rate changes after jogging. *Eur J Ophtalmol.* 14 (2), 117- 122

Kass, M.A., Heuer, D.K., Higginbotham, E.J., Johnson, C.A., Keltner, J.L., Miller, J.P., Parrish, R.K. 2nd, Wilson, M.R., Gordon, M.O. (2002): The ocular hypertension treatment study: a randomized trial determines that topical ocular hypotension medication delays or prevents the onset of primary open- angle glaucoma. *Arch Ophthalmol.* 120 (6), 701-13

Kida, T., Liu, J.H.K., Weinreb, R.N. (2006): Effect of 24- hour corneal biomechanical changes on intraocular pressure measurement. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 47 (10), 4422-4426

Kielar, R.A., Teraslinna, P., Rowe, D.G., Jackson, J. (1975): Standardized aerobic and anaerobic exercise: differential effects on intraocular tension, blood pH, and lactate. *Invest Ophthalmol.* 14 (10), 782- 785

Kiuchi, Y., Mishima, H.K., Hotehama, Y., Furumoto, A., Hirota, A., Onari, K. (1994): Exercise intensity determines the magnitude of iop decrease after running. *Jpn J Ophthalmol.* 38(2), 191- 195

Klein, B.E.K., Klein, R., Linton, K.L.P.(1992): Intraocular pressure in an american community. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 33(7), 2224- 2228

Klein, B.E.K., Klein, R., Knudtson, M.D. (2005): Intraocular pressure and systemic blood pressure: longitudinal perspective: the beaver dam eye study. *Br J Ophthalmol.* 89, 284- 287

Krejci, R.C., Gordon, R.B., Moran, C.T., Sargent, R.G., Magun, J.C. (1981): Changes in intraocular pressure during acute exercise. *Am J Optom Physiol Opt.* 58 (2), 144- 148

Krist, D., Cursiefen, C., Jünemann, A. (2001): Transitorische intrathorakale und –abdominale druckerhöhung in der anamnese von 64 patienten mit normaldruckglaukomen. *Klin Monatsbl Augenheilkd.* 218, 209- 213

Kypke, W., Höllge, J., Seriba, B. (1973): Augeninnendruck während und nach körperlicher Belastung. Eine systematische Untersuchung unter reproduzierbaren Arbeitsbedingungen. 1. Kreislaufparameter. *Albrecht von Graefes Arch. Klein. Exp. Ophthalmol.* 186, 91 -104

Lang, K. (2008): *Augenheilkunde*. 4. Auflage, Thieme, Stuttgart

Leighton, D.A. (1972): Effect of walking on the ocular tension in open- angle glaucoma. *Br J Ophthalmol*. 56, 126- 130

Lempert, P., Cooper, K.H., Culver, J.F., Tredici, T.J. (1967): The effect of exercise on intraocular pressure. *Am J Ophthalmol*. 63 (6), 1673- 1676

Leske, M.C. (2009): Ocular perfusion pressure and glaucoma: clinical trial and epidemiologic findings. *Curr Opin Ophthalmol*. 20(2), 73-78

Leske, M.C., Wu, S.Y., Hennis, A., Honkanen, R., Nemesure, B. (2008): Risk factors for incident open- angle glaucoma. *Ophthalmology*. 115 (1), 85- 93

Lüllmann- Rauch, Renate (2003): *Histologie. Verstehen Lernen Nachschlagen*, Thieme, Stuttgart

Leydhecker, W., Akiyama, K., Neumann, H.G. (1958): Der intraokulare Druck gesunder menschlicher Augen. *Klin Monatsbl Augenheilkd*. 133, 662- 670

Marcus, D.F., Krupin, T., Podos, S.M., Becker, B. (1970): The effect of exercise on intraocular pressure. I. Human beings. *Invest Ophthalmol*. 9 (10), 749- 752

Martin, B., Harris, A., Hammel, T., Malinovsky, V. (1999): Mechanism of exercise- induced ocular hypotension. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 40 (5), 1011- 1015

McDaniel, D.R., Tribbey, C.L., Tobias, G.S. (1983): Effects of moderate exercise on intraocular pressure. *Am J Optom Physiol Opt*. 60 (3), 154- 157

McLeod, S.D., West, S.K., Quigley, H.A., Fozard, J.L. (1990): A longitudinal study of the relationship between intraocular and blood pressures. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 31 (11), 2361- 2366

- Moore, D., Harris, A., WuDunn, D., Kheradiya, N., Siesky, B.(2008): Dysfunctional regulation of ocular blood flow: a risk factor for glaucoma?. *Clin Ophtalmol* 2(4), 849- 861
- Mori, K., Ando, F., Nomura, H., Sato, Y., Shimokata, H.(2000): Relationship between intraocular pressure and obesity in japan. *Int J Epidemiol.* 29, 661- 666
- Moura, M.A., Rodrigues, L.O.C., Waisberg, Y., de Almeida, H.G., Silami- Garcia, E. (2002): Effects of submaximal exercise with water ingestion on intraocular pressure in healthy human males. *Braz J Med Biol Res.* 35, 121- 125
- Mozaffarieh, M., Grieshaber, M.C., Flammer, J.(2008): Oxygen and blood flow: players in the pathogenesis of glaucoma. *Mol Vis.* 14, 224-233
- Munkwitz, S., Elkarmouty, A., Hoffmann, E.M., Pfeiffer, N., Thieme, H.(2008): Comparison of the icare rebound tonometer and the goldmann applanation tonometer over a wide iop range. *Graefes Arch Clin Exp Ophtalmol.* 246, 875- 879
- Nomura, H., Shimokata, H., Ando, F., Miyake, Y., Kuzuya, F.(1999): Age- related changes in intraocular pressure in a large japanese population. *Ophtalmology.* 106, 2016- 2022
- Ortiz, G.J., Cook, D.J., Yablonski, M.E., Masonson, H., Harmon, G. (1988): Effect of cold air on aqueous humor dynamics in humans. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 29 (1), 138- 140
- Ozmerdivenli, R., Simsek, E., Bulut, S., Karacabey, K., Saygin, O. (2006): Comparison of the effects of acute and regular exercise on intraocular pressure in turkish athletes and sedentarians. *Int J Neurosci.* 116 (3), 351- 360
- Pakrou, N., Gray, T., Mills, R., Landers, J., Craig, J.(2008): Clinical comparison of the icare tonometer and goldmann applanation tonometry. *J Glaucoma.* 17 (1), 43- 46
- Passo, M.S., Goldberg, L., Elliot, D.L., Van Buskirk, E.M. (1991): Exercise training reduces intraocular pressure among subjects suspected of having glaucoma. *Arch Ophtalmol.* 109, 1096- 1098

Qureshi, I.A. (1996): Effects of exercise on intraocular pressure in physically fit subjects. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 23, 648- 652

Qureshi, I.A., Phil, M., Xi, X.R., Lu, H.J., Wu,X.D., Huang, B.J., Shiarkar, E. (1996): Effect of seasons upon intraocular pressure in healthy population of china. *Korean J Ophthalmol.* 10, 29- 33

Qureshi, I.A., Xi, X.R., Huang, Y.B., Wu, X.D. (1996): Magnitude of decrease in intraocular pressure depends upon intensity of exercise. *Korean J Ophtalmol.* 10 (2), 109 -115

Qureshi, I.A., Wu, X. D., Xi, X.R., Yang, J., Huang, Y. B. (1997): Resting intraocular pressure of steel factory workers is related to their physical fitness. *Ind Health.* 35, 259 - 263

Rochtchina, E., Mitchell, P., Wang, J. J. (2002): Relationship between age and intraocular pressure: the blue mountains eye study. *Clin Experiment Ophthalmol.* 30 (3), 173 -175

Rowe, D.G., Teraslinna, P., Kielar, R.A., Jackson, J.A. (1976): Effects of different intensities of exercise on intraocular pressure. *Res Q.* 47 (3), 436- 444

Saccá, S.C., Rolando, M., Marletta, A., Macrí, A., Cerqueti, P., Ciurlo,G. (1998): Fluctuations of intraocular pressure during the day in open- angle glaucoma, normal- tension glaucoma and normal subjects. *Ophtalmologica.* 212, 115- 119

Stewart, R.H., LeBlanc, R., Becker, B. (1970): Effects of exercise on aqueous dynamics. *Am J Ophtalmol.* 69 (9), 245- 248

Schuman, J.S., Massicotte, E.C., Connolly, S., Hertzmark,E., Mukherji, B., Kunen, M.Z.(2000): Increased intraocular pressure and visual field defects in high resistance wind instrument players. *Ophtalmology.* 107 (1),127- 133

Schlote, T., Grüb, M., Mielke, J. (2004): *Taschenatlas Augenheilkunde.* 1. Auflage, Thieme, Stuttgart

Shapiro, A., Wolf, E., Ferber, I., Merin, S.(1983): The effect of physical Activity on the intraocular pressure of glaucomatous patients. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 52 (1), 136- 138

Tiolat Oy (2005): Betriebs- und Wartungsanleitung – For future vision. Gebrauchsanweisung abrufbar unter www.tiolat.fi

Tonnu, P.A., Ho,T., Sharma, K., White, E., Bunce, C., Garway- Heath, D. (2005): A comparison of four methods of tonometry: method agreement and interobserver variability. Br J Ophtalmol. 89, 847- 850

Wu, S.Y., Nemesure, B., Hennis, A., Leske, M.C. (2006): Nine- year changes in intraocular pressure. The barbados eye studies. Arch Ophtalmol. 124, 1631- 1636

8 Anhang

8.1 Anhang 1: Fragebogen für Effekte von Ausdauer- und Kraftbelastung auf den Augeninnendruck

Name:

Geburtsdatum :

Größe (cm):Gewicht(Kg):.....

1) Leidest Du an Augenerkrankungen, wenn ja, an welchen ?

.....

2) Leidest Du an kardiovaskulären Erkrankungen, wenn ja, an welchen?

.....

3) Sind sonstige Erkrankungen bekannt ?

.....

4) Treibst Du Sport, wenn ja, was für Sport und wie oft in der Woche ?

.....

5) Spielst Du ein Blasinstrument, wenn ja, welches und wie oft in der Woche?

.....

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Burkhard Weisser für die Bereitstellung des interessanten Themas meiner Doktorarbeit, die geduldige Betreuung, die konstruktive Kritik, die inspirierenden Kommentare und Vorschläge und die freundliche Hilfestellung während der gesamten Arbeit bedanken.

Ich danke weiterhin Frau Prof. Dr. Iris Lanzl für das zur Verfügung gestellte iCare Tonometer, ohne das die vorliegende Arbeit nicht durchzuführen gewesen wäre.

Ich danke Herrn Dr. Florian Rüfer für konstruktive Kritik an meiner Arbeit.

Ich danke Herrn Ronald Berndt, dass die Geräte des Fitnesszentrum der Universität Kiel zur Durchführung der Versuche genutzt werden durften.

Ich möchte mich bei meinen Probanden/ Probandinnen für die Teilnahme an den Untersuchungen danken, ohne sie wäre die Arbeit nicht zustande gekommen.

Ich danke Danyelle Klauss und meinem Bruder Claudius Schiller für aufschlussreiche Gespräche über SPSS und Excel.

Lebenslauf

Persönliche Daten

geboren am 17.10.1983
in Hamburg

Ausbildungsdaten

2003 allgemeine Hochschulreife an der Fritz- Reuter- Schule Bad Bevensen
WS/SS 03/04 Studium der Elementaren Musikpädagogik an der Musikhochschule
Nürnberg, Zusatzfach Violine
seit WS 04/05 Studium der Humanmedizin an der CAU Kiel
August 06 erfolgreiche Absolvierung des ersten Staatsexamens mit Note gut (2.0)
Februar 07 Beginn der Doktorarbeit am sportwissenschaftlichen Insitut der CAU
Kiel
WS 07/08 Auslandsaufenthalt an der Universität Las Palmas de Gran Canaria

Praktika

07.07- 07.08.2004 Pflegepraktikum Kreiskrankenhaus Husum
02.03- 31.03.2005 Pflegepraktikum Augenklinik Bellevue, Kiel
18.07.-17.08.2005 Pflegepraktikum Erler Klinik, Nürnberg

Famulaturen

11.08.-11.09.2007 Famulatur orthopädische/ traumatologische Chirurgie; Hospital
universitario de Gran Canaria Dr. Negrín, Las Palmas de Gran Canaria
20.09.-05.10.2007 Famulatur Anästhesie; Hospital universitario de Gran Canaria Dr.
Negrín, Las Palmas de Gran Canaria
19.02.-21.03.2008 Famulatur neurologische Praxis; Hospital universitario de Gran Canaria
Dr. Negrín, Las Palmas de Gran Canaria
04.08.- 18.18.2008 Famulatur innere Medizin; Herz-Kreislaufklinik Bad Bevensen;
Abteilung Kardiologie akut
01.09.- 21.09.2008 Famulatur Neonatologie; Hospital universitario de Guadalajara;
Mexiko
16.02.- 01.03.2009 Famulatur Neurologie; Klinik für Neurologie im Neurozentrum;
Universitätsklinikum Schleswig- Holstein, Campus Kiel

Praktisches Jahr

- 31.08.- 20.12.2009 Chirurgie; Hospital José Joaquín Aguirre; Lehrkrankenhaus
der Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile
- 21.12.- 11.04.2010 Wahlfach Anästhesie; Universitätsklinikum Schleswig- Holstein,
Campus Kiel
- 12.04.- 01.08.2010 Innere Medizin; Kreiskrankenhaus Eckernförde