

Aus der Universitäts-Augenklinik
des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. Berthold Seitz

**Femtosekundenlaser-assistierte vs. mechanische Implantation
von ICRS und MyoRing – eine Metaanalyse**

**Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät**

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2021

vorgelegt von Ann-Kristin Struckmeier

geboren am 16.10.1997 in Lüneburg

Mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität des Saarlandes

Tag der mündlichen Prüfung: 10.01.2022

Dekan: Prof. Dr. M. D. Menger

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Berthold Seitz
2. Berichterstatter: Prof. Dr. Stefan Wagenpfeil

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. Zusammenfassung | 7 |
| 2. Summary | 9 |
| 3. Einleitung | 9 |
| 3.1 Definition der Keratektasie | 10 |
| 3.2 Keratokonus | 10 |
| 3.3 Post-LASIK-Ektasie | 12 |
| 3.4 Pelluzide marginale Degeneration | 13 |
| 3.5 Therapiemöglichkeiten der Keratektasien | 13 |
| 3.6 Intrakorneale Ringsegmente und MyoRing | 15 |
| 3.7 Arten der Tunnelpräparation | 19 |
| 3.8 Komplikationen | 21 |
| 4. Material und Methoden | 24 |
| 4.1 Technik der Metaanalyse | 24 |
| 4.2 Ein- und Ausschlusskriterien | 24 |
| 4.2.1 Studientypen..... | 24 |
| 4.2.2 Studienteilnehmer..... | 24 |
| 4.2.3 Beobachtungszeitpunkt | 25 |
| 4.2.4 Outcomes..... | 25 |
| 4.3 Literaturrecherche | 25 |
| 4.4 Statistische Auswertung | 26 |
| 4.5 Präsentation der Ergebnisse der Metaanalysen | 27 |
| 4.6 Untersuchung auf mögliche Verzerrungen | 28 |
| 4.7 Untersuchung der statistischen Heterogenität | 29 |
| 5. Ergebnisse | 31 |
| 5.1 Ergebnisse der Literaturrecherche | 31 |
| 5.2 Tabellarische Darstellung der Charakteristika der eingeschlossenen Studien | 33 |
| 5.2.1 Femtosekundenlaser-assistierte Intacs/Intacs SK-Implantation..... | 33 |
| 5.2.2 Intacs/Intacs SK-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation..... | 38 |
| 5.2.3 Femtosekundenlaser-assistierte Keraring-Implantation | 41 |
| 5.2.4 Keraring-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation..... | 46 |
| 5.2.5 Femtosekundenlaser-assistierte MyoRing-Implantation..... | 49 |
| 5.2.6 MyoRing-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation..... | 51 |
| 5.2.7 Femtosekundenlaser-assistierte Ferrara Ring-Implantation..... | 53 |
| 5.2.8 Ferrara Ring-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation..... | 55 |
| 5.3 Veränderungen des Visus | 57 |
| 5.3.1 Veränderungen des Visus cum correctione..... | 57 |
| 5.3.1.1 Intacs/Intacs SK..... | 57 |
| 5.3.1.2 Keraring | 59 |
| 5.3.1.3 MyoRing | 61 |

| | |
|------------------------------------------------------------|------------|
| 5.3.1.4 Ferrara Ring | 63 |
| 5.3.2 Veränderungen des Visus sine correctione | 64 |
| 5.3.2.1 Intacs/Intacs SK..... | 64 |
| 5.3.2.2 Keraring | 66 |
| 5.3.2.3 MyoRing | 68 |
| 5.3.2.4 Ferrara Ring | 70 |
| 5.4 Veränderungen der Refraktion..... | 71 |
| 5.4.1 Veränderungen der Sphäre | 71 |
| 5.4.1.1 Intacs/Intacs SK..... | 71 |
| 5.4.1.2 Keraring | 73 |
| 5.4.1.3 MyoRing | 75 |
| 5.4.1.4 Ferrara Ring | 76 |
| 5.4.2 Veränderungen des Zylinders..... | 77 |
| 5.4.2.1 Intacs/Intacs SK..... | 77 |
| 5.4.2.2 Keraring | 79 |
| 5.4.2.3 MyoRing:..... | 81 |
| 5.4.2.4 Ferrara Ring | 83 |
| 5.4.3 Veränderungen des SE | 84 |
| 5.4.3.1 Intacs/Intacs SK..... | 84 |
| 5.4.3.2 Keraring | 86 |
| 5.4.3.3 MyoRing | 88 |
| 5.4.3.4 Ferrara Ring | 89 |
| 5.5 Veränderungen der Keratometrie | 90 |
| 5.5.1 Veränderungen des steilen Keratometriewertes | 90 |
| 5.5.1.1 Intacs/Intacs SK..... | 90 |
| 5.5.1.2 Keraring | 92 |
| 5.5.1.3 MyoRing | 94 |
| 5.5.1.4 Ferrara Ring | 95 |
| 5.5.2 Veränderungen des mittleren Keratometriewertes | 96 |
| 5.5.2.1 Intacs/Intacs SK..... | 96 |
| 5.5.2.2 Keraring | 98 |
| 5.5.2.3 MyoRing | 100 |
| 5.5.2.4 Ferrara Ring | 101 |
| 5.5.3 Veränderungen des flachen Keratometriewertes..... | 102 |
| 5.5.3.1 Intacs/Intacs SK..... | 102 |
| 5.5.3.2 Keraring | 104 |
| 5.5.3.3 MyoRing | 106 |
| 5.5.3.4 Ferrara Ring | 107 |
| 5.6 Prävalenz der Komplikationen | 108 |
| 5.6.1 Ringsegmentmigration | 108 |
| 5.6.2 Korneale Neovaskularisation | 110 |
| 5.6.3 Ringsegmentextrusion | 112 |
| 5.6.4 Hornhautperforation | 114 |
| 5.6.6 Dezentrierung | 117 |
| 5.6.8 Superfizielle Deplatziierung..... | 121 |
| 5.6.9 Hornhauteinschmelzung..... | 123 |
| | |
| 6. Diskussion | 124 |
| | |
| 6.1 Diskussion der Methodik..... | 124 |
| 6.2 Diskussion der Ergebnisse..... | 129 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.2.1 Effizienz der intrakornealen Ringsegmente | 129 |
| 6.2.2 Vergleich der Femtosekundenlaser-assistierten und mechanischen Implantation | 131 |
| 6.3 Fazit | 134 |
| | |
| 7. Literaturverzeichnis..... | 135 |
| | |
| 8. Abbildungsverzeichnis | 153 |
| | |
| 9. Tabellenverzeichnis | 159 |
| | |
| 11. Anlagen..... | 162 |
| | |
| 13. Publikationen | 269 |
| | |
| 14. Lebenslauf..... | 270 |
| | |
| 14. Danksagung..... | 271 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Abl. | Ablagerungen |
| CCT | Central corneal thickniss = zentrale Hornhautdicke |
| 95% CI | 95% confidence interval = 95%-Konfidenzintervall |
| CXL | Crosslinking |
| DALK | Deep anterior lamellar keratoplasty = Tiefe lamelläre Keratoplastik |
| Dpt | Dioptrien |
| DZ | Dezentrierung |
| Ex. | Explantation |
| Extr. | Extrusion |
| FS Laser | Femtosekundenlaser |
| HHD | Hornhautdicke |
| ICRS | Intracorneal ring segment = Intracorneales Ringsegment |
| ISZ | Implantationszone |
| K | Keratitis |
| KE | Korneale Einschmelzung |
| Kf-Wert | Flacher Keratometriewert |
| KK | Keratokonus |
| Km-Wert | Mittlerer Keratometriewert |
| Kmax-Wert | Maximaler Keratometriewert |
| KN | Korneale Neovaskularisation |
| Ks-Wert | Steiler Keratometriewert |
| LASIK | Laser in situ keratomileusis |
| Mo | Monate |
| N | Anzahl der eingeschlossenen Studien |
| PKP | Perforating keratoplasty = Perforierende Keratoplastik |
| PMD | Pelluzide marginale Degeneration |
| PMMA | Polymethacrylat |
| p.op. | Post operationem = nach der Operation |
| PRK | Photorefraktive Keratektomie |
| RGP-CL | Rigid gas-permeable contact lenses = Formstabile, sauerstoffdurchlässige Kontaktlinsen |
| RSM | Ringsegmentmigration |
| SD | Standard deviation = Standardabweichung |
| SDE | Superfizielle Deplatziierung |
| SMILE | Small Incision Lenticule Extraction |
| Visus c.c. | Visus cum correctione = Korrigierter Visus |
| Visus s.c. | Visus sine correctione = Unkorrigierter Visus |
| WMD | Weighted mean difference = Gewichtete mittlere Differenz |

1. Zusammenfassung

Fragestellung: Klinische Studien haben gezeigt, dass die intrakornealen Ringsegmente (ICRS) und der MyoRing geeignete Behandlungsoptionen für Patienten mit Keratektasien sind. Aufgrund der sichereren und präziseren Tunnelkreation mithilfe des Femtosekunden (FS) Lasers ersetzt dieser zunehmend die mechanische Tunnelkreation. Das Ziel dieser Metaanalyse war es, die Ergebnisse von intrakornealen Ringsegmenten und MyoRing bei der Behandlung von Keratektasien zu evaluieren und die klinischen Ergebnisse und Komplikationsraten zwischen mechanischer und FS Laser-assistierter Tunnelkreation zu vergleichen.

Methodik: Die elektronische Literaturrecherche erfolgte via Pubmed und Cochrane Library. Es wurden Studien, die die Behandlung von Patienten mit Keratokonus, pelluzider marginaler Hornhautdegeneration oder Post-LASIK-Ektasie mithilfe von Intacs, Intacs SK, Keraring, Ferrara Ring oder MyoRing untersuchten, eingeschlossen, sofern diese prä- und postoperative Messdaten mit Standardabweichung eindeutig differenziert zwischen FS Laser-Präparation und mechanischer Tunnelkreation zu den Zeitpunkten drei, sechs oder zwölf Monate post operationem zu einem oder mehreren der folgenden Parametern aufführten: Sphäre, Zylinder, Sphärisches Äquivalent, unkorrigierter Visus, korrigierter Visus, flacher, steiler und mittlerer Keratometriewert. Die Ergebnisse wurden mithilfe der gewichteten mittleren Differenz und des dazu gehörigen 95%-Konfidenzintervalls (95% CI) veranschaulicht. Bei der Berechnung der Komplikationsraten erfolgte eine Varianzstabilisierung mithilfe der Freeman-Tukey-Transformation.

Ergebnisse: Von 1484 in die Vorauswahl miteinbezogenen Studien konnten letztendlich 115 Studien in die Metaanalyse eingeschlossen werden. Alle Ringarten zeigten postoperativ eine signifikante Verbesserung der klinischen Messparameter. Die Veränderungen waren zwischen beiden Präparationsarten vergleichbar. Die Komplikationsraten waren in der Gruppe der mechanischen Präparation ausnahmslos größer. Die Komplikationsraten betragen für Dezentrierung 1,6% vs. 0,7%, superfizielle Deplatierung 1,7% vs. 0%, Hornhautperforation 1,1% vs. 0,1%, Explantation 6,3% vs. 1,2%, Hornhauteinschmelzung 1,3% vs. 0,7%, Migration des Ringsegments 2,9% vs. 0,3%, korneale Neovaskularisation 2,3% vs. 0,7%, Ringextrusion 4,7% vs. 1,7% und infektiöse Keratitis 1,2% vs. 0,1%.

Schlussfolgerungen: Die ICRS und der MyoRing sind geeignete Behandlungsoptionen für Patienten mit Keratektasien. Mit beiden Methoden können Verbesserungen des Visus, der

Refraktion und der Keratometrie erreicht werden. Die intra- und postoperativen Komplikationsraten sind bei der mechanischen Tunnelpräparation im Vergleich zur FS Laser-assistierten Technik deutlich erhöht.

2. Summary

Purpose: The aims of this meta-analysis were to evaluate the results of intracorneal ring segments (ICRS) and MyoRing in the management of corneal ectasia and to compare the clinical outcomes and complication rates between mechanical and femtosecond (FS) laser-assisted surgery.

Methods: An online electronic search was performed for pre-post studies published until April 2020. Studies were included if they dealt with the treatment of patients with keratoconus, pellucide marginal degeneration (PMD) or post-LASIK-ectasia with Intacs, Intacs SK, Keraring, Ferrara Ring or MyoRing implantation and reported the mean change of one or more outcome measures, including uncorrected distance visual acuity (UDVA), corrected distance visual acuity (CDVA), sphere, cylinder, spherical equivalent (SE), steep (Ks), flat (Kf) and mean keratometry (Km) (with the standard deviation) at time point of 3, 6 or 12 months after implantation. Weighted mean difference (WMD) with 95% confidence interval was used as a pooled estimation of intervention efficacy. Complication rates were calculated using the Freeman-Tukey transformation.

Results: Of 1484 potentially related studies, 115 studies were finally included in the meta-analysis. Findings of this meta-analysis demonstrated considerable improvement in visual, refractive and keratometric outcomes in all ICRS models and MyoRing. Intrastromal tunnel creation with both methods yielded similar results. Complication rates were without exception higher when mechanical dissection was used compared to FS laser-assisted dissection, with respectively: 1.6% vs. 0.7% decentration, 1.7% vs. 0% superficial placement, 1.1% vs. 0.1% corneal perforation, 6.3% vs. 1.2% explantation, 1.3% vs. 0.7% corneal melting, 2.9% vs. 0.3% ring segment migration, 2.3% vs. 0.7% corneal neovascularization, 4.7% vs. 1.7% ring extrusion and 1.2% vs. 0.1% keratitis.

Conclusions: ICRS and MyoRing are appropriate treatment options for patients with corneal ectasia. Both techniques for tunnel creation are efficacious in achieving good visual, keratometric and refractive results. Mechanical intrastromal tunnel creation is associated with much higher complication rates when compared to FS laser-assisted technique.

3. Einleitung

3.1 Definition der Keratektasie

Als Keratektasie bezeichnet man eine pathologische Ausdünnung der Hornhaut mit progressiver Vorwölbung nach außen, welche im Rahmen eines Keratokonus, einer pelluziden marginalen Hornhautdegeneration (PMD) oder als iatrogen verursachte Folgekomplikation der keratorefraktiven Chirurgie auftreten kann (Rapuano, 2016).

3.2 Keratokonus

Der Keratokonus ist gekennzeichnet durch eine vermutlich entzündliche (Galvis et al., 2015; Ferrari & Rama, 2020), zentrale und/oder parazentrale Verdünnung und kegelförmige Vorwölbung der Hornhaut (Ferrari & Rama, 2020), deren Prävalenz weltweit bei 2 % liegt (Hashemi et al., 2020).

Die Erkrankung manifestiert sich typischerweise zwischen dem 15. und 30. Lebensjahr (Matar et al., 2020) mit einer zunächst einseitigen Verschlechterung des Sehvermögens, verursacht durch eine starke Myopie und einen frühzeitig irregulären Astigmatismus und ist oft langsam progredient (El-Husseiny et al., 2013). Mit zunehmender Krankheitsdauer und -schwere wird gehäuft ein bilaterales Auftreten beobachtet (Eppig et al., 2019). Eine asymmetrische Ausprägung bleibt jedoch meist bestehen (Goebels et al., 2013).

Die Ursache für den Keratokonus ist bisher noch unbekannt, es wird eine polyätiologische Genese unter dem Einfluss unterschiedlicher genetischer, immunologischer und mechanischer Faktoren vermutet, die zu einer Störung im Bereich der Kollagenfasern des bindegewebigen Stützgerüsts der Hornhaut führen und somit eine biomechanische Instabilität der Hornhaut bedingen (Seitz, 2016; Swann & Waldron, 1986). Eine Assoziation mit Kollagenosen (u.a. Ehlers-Danlos-Syndrom, Osteogenesis imperfecta), genetischen Syndromen (u.a. Trisomie 21 (Papoulidis et al., 2014)) und Systemerkrankungen (u.a. Atopie (Rohrbach et al., 2018), Hypothyreose (Rabinowitz, 2006)) wird beschrieben (Krachmer et al., 1984). In 5–20% der Fälle wird über ein autosomal-dominantes bzw. autosomal-rezessives Vererbungsmuster berichtet (Müller et al., 2018).

Ein wesentlicher, modifizierbarer Risikofaktor ist das habituelle Augenreiben. Dieses führt zu einer erhöhten Hornhauttemperatur, die wiederum die Aktivität der Kollagenosen erhöht und somit einen vermehrten Abbau der kollagenen Matrix fördert. Zudem entstehen sog. thixotrope

Effekte, welche die Verflüssigung von Gelen während der Einwirkung von Schub und Scherkräften beschreiben und für eine Abnahme der kornealen Widerstandskräfte verantwortlich gemacht werden (McMonnies, 2009). Eine weitere Hypothese ist die Verursachung von kornealen Mikrotraumata durch das Augenreiben sowie der Verlust von Keratozyten durch erhöhten intraokulären Druck oder mechanische Traumatisierung (Bron, 2001).

Bei Diabetikern, Rauchern sowie im höheren Lebensalter zeigt sich eine signifikant geringere Prävalenz. Als Ursache wird eine verstärkte Kollagenfaservernetzung durch toxische Nebenprodukte im Rauch, den „Advanced Glycation Endproducts“ bzw. altersbedingt angenommen (Naderan et al., 2014; Spoerl et al., 2008).

Die irreguläre Vorwölbung und Verdünnung der Hornhaut führt zu einer zunehmenden Ansteilung und Distorsion der Hornhaut mit Myopisierung, irregulärem Astigmatismus und herabgesetztem Visus. Im mäßiggradig bis fortgeschrittenem Stadium des Keratokonus können sich folgende Spaltlampenbefunde zeigen: eine parazentrale Stromaverdünnung, Vogt-Linien (feine, vertikale Linien im Hornhautstroma), Fleischer-Ring (Eisenablagerungen um die Keratokonusbasis), subepitheliale Knötchen, oberflächliche Narben und prädesementale Narben. Ein weiterer klinischer Befund in einem sehr fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung ist das Munson-Zeichen (Seitz, 2016; siehe Abbildung 1).

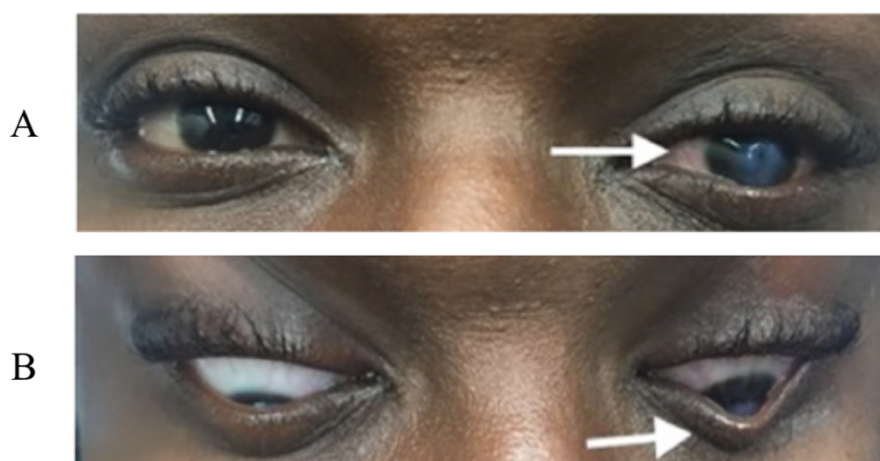


Abbildung 1: Charakteristika des fortgeschrittenen Keratokonus

A: Hornhauttrübung

B: Positives Munson-Zeichen

In Anlehnung an: Gold J, Chauhan V, Rojanasthien S, Fitzgerald J: Munson's Sign: An Obvious Finding to Explain Acute Vision Loss 2019;3:312-313

3.3 Post-LASIK-Ektasie

Die Post-LASIK-Keratektasie, auch bezeichnet als iatrogene Keratektasie, ist eine gefürchtete, schwerwiegende Komplikation der lamellären refraktiven Laserchirurgie (Ambrosio, 2019), zu der die Photorefraktive Keratektomie (PRK), die Laser-in-situ-Keratomileusis (LASIK) sowie die Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) gezählt werden.

Gemeinsam ist diesen, dass zur Refraktionskorrektur ein Teil der Hornhaut entfernt wird: Bei der PRK wird eine Photoablation an der Hornhautoberfläche mithilfe eines Excimerlasers durchgeführt. Bei der Laser-in-situ-Keratomileusis wird mithilfe eines Mikrokeratoms oder Femtosekundenlasers (FS Laser) ein Flap präpariert, der zum Teil abgeklappt wird. Darunter wird mithilfe eines Excimerlasers ein Gewebelentikel ablatiert. Bei der SMILE wird ausschließlich durch einen FS Laser ein intrastromaler Lentikel präpariert, der anschließend durch eine kleine Inzision entfernt wird (Kermani, 2017).

Seiler et al. berichteten 1998 zum ersten Mal über das Auftreten der Post-LASIK-Ektasie (Seiler et al., 1998). Die Inzidenz variiert in Abhängigkeit von der Population zwischen 0,05 bis 0,6% (Randleman et al., 2008; Giri & Azar 2017). Der Befund gleicht nahezu dem des Keratokonus: Durch die Ausdünnung und der daraus folgenden Destabilisierung der Hornhaut kommt es zu einer irregulären, kegelförmigen Vorwölbung der Kornea (Kohnen & Remy, 2015). Die Post-LASIK-Ektasie kann sich bereits eine Woche post operationem oder erst mehrere Jahre später manifestieren (Pallikaris et al., 2001). In der Vergangenheit haben Untersuchungen gezeigt, dass das Risiko der Entwicklung einer Post-LASIK-Ektasie nach SMILE und LASIK in etwa gleich hoch ist, wohingegen es nach PRK als gering eingeschätzt wird.

Das Auftreten einer Keratektasie nach LASIK wird dadurch begründet, dass die vorderen Kollagenfasern der Hornhaut, die eine dichtere und festere Binnenstruktur aufweisen als die Kollagenfasern im hinteren Bereich der Hornhaut und somit maßgeblich für die Stabilität der Hornhaut sorgen, für die Flap-Präparation durchtrennt werden und anschließend auch die Ablationszone im vorderen Bereich der Hornhaut liegt. Das erhöhte Risiko nach SMILE lässt sich hiermit nicht erklären, da die vorderen Kollagenfasern weitgehend intakt bleiben und auch der Lentikel in einer tieferen Schicht exzidiert wird. Vermutet wird eine multifaktorielle Pathogenese, die in ihrer Komplexität noch nicht vollständig verstanden wurde (Kermani, 2017).

In den meisten Fällen können Keratektasien nach LASIK durch eine korrekte Indikationsstellung sowie korrekte Ausführung der Behandlung vermieden werden (Uthoff, 2017). Intraoperative Auslöser für eine Keratektasie können ein zu dick präparierter LASIK-Flap sowie eine zu tiefe intrastromale Ablation sein, die zu einer postoperativen Hornhautdicke von weniger als 250 µm führt. Präoperativ müssen die häufigsten Ursachen der Post-LASIK-Ektasie, der Forme fruste Keratokonus sowie die pelluzide marginale Degeneration, sicher ausgeschlossen werden (Kohnen & Remy, 2015).

3.4 Pelluzide marginale Degeneration

Bei der PMD handelt es sich um eine in der Regel bilaterale periphere Hornhautverdünnung in einem Abstand von 1-2 mm zum Limbus (Martínez-Abad & Piñero, 2019), welche sich meist inferior zwischen 4 und 8 Uhr befindet. Der Ort der erhöhten Hornhautkrümmung befindet sich oberhalb dieses Bereiches (Lee et al., 2007), während die zentrale Dicke der Hornhaut meist im Normbereich bleibt (Jinabhai et al., 2011). In der Hornhauttopographie ergibt sich damit das typische „Krebsscherenmuster“ (Koc et al., 2018).

Die Bezeichnung „pelluzide“ bezieht sich auf die klare Hornhaut ohne jegliche Vernarbungen, Lipidablagerungen oder Vaskularisationen (Martínez-Abad & Piñero, 2019).

Die Unterscheidung vom Keratokonus fällt manchmal schwer, da das klinische und topographische Erscheinungsbild sehr ähnlich sein kann. Jedoch wird die PMD meist zwischen der zweiten und fünften Lebensdekade diagnostiziert und damit deutlich später als der Keratokonus (Sridhar et al., 2004). Zudem ist eine deutlich langsamere Progression als beim Keratokonus zu verzeichnen (Kamiya et al., 2003).

Die Ätiologie der PMD ist unbekannt. Eine mögliche Hypothese ist, dass die Hornhaut durch pathologisch veränderte Kollagenfasern geschwächt ist und in Folge eines erhöhten intraokulären Drucks protrudiert.

3.5 Therapiemöglichkeiten der Keratektasien

In frühen Stadien werden zur symptomatischen Verbesserung der durch die Keratektasie induzierten Fehlsichtigkeit formstabile, sauerstoffdurchlässige Kontaktlinsen (rigid gas-permeable contact lenses, RGP-CL) bevorzugt (Maier & Reinhard, 2017). Der hiermit erreichbare bestkorrigierte Visus liegt meist deutlich über dem der Brille (Klühspies et al., 2013).

Bei Progredienz der Erkrankung oder Unverträglichkeit der RGP-CL gab es bis vor einigen Jahren auch bei milder bis moderater Keratektasie lediglich die Option der Keratoplastik. Dies war zum einen wegen des auch heute noch bestehenden Mangels an Spendergewebe, welcher zu langen Wartezeiten führt, sowie wegen der langsamen Rehabilitation des Visus nach Keratoplastik, der langfristigen kortisonhaltigen Tropftherapie, die zu einem erhöhten Risiko für die Entwicklung eines Glaukoms oder einer Katarakt führt, sowie der möglichen intra- und postoperativen Komplikationen (u.a. hoher Astigmatismus, Endothelzahlverlust) bei den meist noch jungen Patienten problematisch (Kymionis et al., 2007; El-Husseiny et al., 2013).

Heute ist in frühen Stadien bei progredienter Keratektasie das korneale Crosslinking (CXL) die Methode der Wahl, mit dem Versuch, die Progression der Erkrankung aufzuhalten (Maier & Reinhard, 2017).

In späteren Stadien und bei RGP-CL-Unverträglichkeit kann bei einer ausreichenden Hornhautdicke sowie einer narbenfreien optischen Achse eine Implantation von intrakornealen Ringsegmenten (ICRS) erfolgen. Auch bei diesen wurde über einen hemmenden Einfluss auf die Progression der Erkrankung berichtet (Bedi et al., 2012; El-Husseiny et al., 2016).

Bei fortgeschrittenen Befunden sind die tiefe lamelläre Keratoplastik (Deep anterior lamellar keratoplasty, DALK) und die perforierende Keratoplastik (PKP) Therapieoptionen, welche heute nach Möglichkeit mithilfe des Excimerlasers durchgeführt werden (Daas et al., 2021; Seitz et al., 1999). Im Gegensatz zur PKP werden bei der DALK die Descemet-Membran und das darunterliegende Endothel des Transplantat-Empfängers belassen, sodass es zu keiner endothelialen Immunreaktion kommt und das Auge im Rahmen der Operation nicht eröffnet werden muss, was das Risiko einer Infektion sowie choroidealer Blutungen erheblich verringert.

Nach akutem Keratokonus mit Ruptur der Descemet-Membran besteht die Möglichkeit der perforierenden Keratoplastik (Seitz, 2016).

Die zunehmende Auswahl an Therapiemöglichkeiten hat die Prognose der Patienten mit ektatischen Hornhautveränderungen deutlich verbessert, sie stellt den Behandler jedoch zunehmend vor die Wahl, die bestmögliche Therapie für den Patienten zu finden (Al-Tuwairqi et al., 2017).

3.6 Intrakorneale Ringsegmente und MyoRing

Bei den ICRS und dem MyoRing handelt es sich um kleine, synthetische Spangen, die in das Hornhautstroma, außerhalb der optischen Achse, implantiert werden. Die Erstbeschreibung erfolgte im Jahr 1978 durch Reynolds. Sie wurden ursprünglich für die Behandlung der Myopie entwickelt (Burriss et al., 1993). Colin et al. beschrieben die Implantation der ICRS bei Keratokonuspatienten als erste im Jahr 2000 (Colin et al., 200). Seitdem erweitern die intrakornealen Ringsegmente und der MyoRing als minimal-invasive Methode das Therapiespektrum des Keratokonus (Oezertuerk et al., 2012). Das Indikationsspektrum wurde bis heute auf weitere Keratektasien erweitert, sodass die Implantation der ICRS heutzutage auch bei Patienten mit PMD oder Post-LASIK-Ektasie Anwendung findet (Giacomin et al., 2016).

Das Ziel der ICRS- und MyoRing-Implantation ist eine mechanische Stabilisierung der Hornhaut, eine Myopiereduktion durch Abflachung der Hornhautoberfläche und eine Regularisierung des Astigmatismus sowie die Verbesserung des Visus.

Die ICRS und der MyoRing haben zwischen den kornealen Kollagenlamellen eine Platzhalterfunktion und führen zu einer Verkürzung der zentralen Bogenlänge, dem „Arc Shortening Effect“ (siehe Abbildung 2). Dieser beschreibt eine Volumenaddition in der Peripherie der Hornhaut und eine gleichzeitige Abflachung des kornealen Zentrums, wobei die positive Asphärizität der Hornhaut erhalten bleibt (El-Husseiny et al., 2013; Ruckhofer, 2009). Generell gilt, dass das Ausmaß der Korrektur der Refraktion direkt proportional zur Dicke des Ringsegmentes und umgekehrt proportional zu dessen Durchmesser ist. Je höher die gewählte Dicke und je geringer der Durchmesser des Ringes ist, desto größer ist die erwartete Korrektur (Burriss et al., 2003). Dieser Effekt führt idealerweise zu einer Verminderung der Brechungsmyopie, des Astigmatismus (Daxer, 2008) sowie einer Verbesserung des Sehvermögens (El-Husseiny et al., 2013).

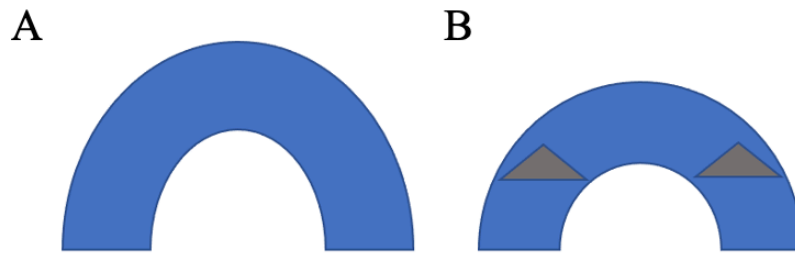


Abbildung 2: Arc Shortening Effect der intrakornealen Ringsegmente und des MyoRings

A: Querschnitt der Hornhaut vor Implantation

B: Querschnitt der Hornhaut nach Implantation

Zu den zum heutigen Zeitpunkt am häufigsten beschriebenen und verwendeten ICRS gehören die Intacs, die Intacs SK (beide *Addition Technology Inc., Des Plaines, IL, USA*), der Keraring (*Mediphacos, Belo Horizonte, Brazil*) und der Ferrara Ring (*AJL Ophthalmics S.A., Mino, Spain*). Als Vollringimplantat findet der MyoRing (*Mediphacos, Belo Horizonte, Brazil*) Anwendung.

Alle intrakornealen Ringsegmente bestehen aus Polymethacrylat (PMMA; Mohammadpour et al. 2017), unterscheiden sich jedoch in ihrer Bogenlänge, ihrem Durchmesser, Querschnitt und Dicke (Park et al., 2019). Der MyoRing unterscheidet sich von den Ringsegmenten dadurch, dass es sich um das zurzeit einzige Vollringimplantat handelt. Eine Übersicht über die zuvor aufgeführten ICRS und den MyoRing bietet Tabelle 1:

| | Intacs (<i>Addition Technology Inc.</i>) | Intacs SK (<i>Addition Technology Inc.</i>) | KeraRing (<i>Mediphacos, Belo Horizonte, Brazil</i>) | Ferrara Ring (<i>AJL Ophthalmics S.A., Minaloa, Spain</i>) | MyoRing (<i>Mediphacos, Belo Horizonte, Brazil</i>) |
|---------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Material | PMMA | PMMA | PMMA, medical grade | Gelbes PMMA-Acrylic Perspex CQ | PMMA |
| Bogenlänge (Grad) | 150/210 | 90/130/150 | Si-5: 90/120/160/210; Si-6: 90/120/150/210 | 90/120/140/160/210 | 360 |
| Innerer Durchmesser (mm) | 6,8 | 6,0 | Si-5: 5,0; Si-6: 5,5 oder 6,0 | 4,4 | 4,5-7,5 |
| Äußerer Durchmesser) | 8,1 | 7,3 | Si-5: 5,0; Si-6: 6,7 oder 7,2 | 5,6 | 5-8 |
| Ringdicke (mm) | 0,21/0,25/0,3/0,35/0,4/0,5 | 0,21/0,25/0,3/0,35/0,4/0,45/0,5 | 0,15/0,2/0,25/0,3/0,35 | 0,15/0,2/0,25/0,3 | 0,2-0,4 in Schritten von 0,02 mm |
| Ringform (Querschnitt) | Hexagonal | elliptisch | Triangulär | triangulär | Anterior konvex, posterior konkav |

Tabelle 1: Übersicht über die derzeit gebräuchlichen ICRS

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an „Übersicht über die derzeit erhältlichen ICRS (Thomas Kohnen: Refraktive Chirurgie S. 205, 2011)“

Bei jedem Hersteller orientiert sich die Wahl des ICRS an unterschiedlichen Parametern.

KeraVision gibt für die Wahl der richtigen Intacs die manifeste Refraktion, die präoperative Hornhauttopographie, die Keratometriewerte, die Anordnung des Konus sowie die Art des Astigmatismus als entscheidend an (Addition Technology Inc, 2015).

Zudem ist eine größere Korrektur der Refraktion und Keratometrie zu erwarten, je näher das ICRS an der optischen Zone implantiert wird. Dieser Effekt führte unter anderem zur Entwicklung der Intacs SK (= severe keratoconus), die bei bereits fortgeschrittenen Fällen der Keratektasie bevorzugt werden. Während die Intacs in der 7-mm optischen Zone implantiert werden, werden die Intacs SK in der 6-mm-Zone implantiert. Kamburoglu et al. berichten nach Implantation der Intacs SK im fortgeschrittenen Keratokonus-Stadium über signifikant bessere postoperative refraktive und keratometrische Ergebnisse im Vergleich zur Implantation der Intacs (Kamburoglu et al. 2008). Ein Nachteil der Implantation in geringerer Distanz zur optischen Zone ist jedoch, dass postoperativ vermehrt Halos und Glares auftreten können. Bei den Intacs SK wird versucht, diesem durch die Abrundung der Kanten entgegenzuwirken (Kymionis et al., 2010).

Der Keraring wird in der 5 mm- oder 6-mm-Zone implantiert. Den o.g. visuellen Effekten wird hier durch die trianguläre Form versucht entgegenzuwirken. Auch der Ferrara Ring hat einen triangulären Querschnitt mit dem Ziel, einen prismatischen Effekt zu bewirken, der Lichteffekte reduzieren soll.

Der Implantation in der engen optischen Zone mit größeren Möglichkeiten der Refraktionskorrektur steht gegenüber, dass die Implantation in dieser Zone erschwert ist, da die Hornhaut eine geringere Dicke aufweist.

Sekallaris et al. beschreiben die idealen Voraussetzungen für die Implantation von kornealen Ringsegmenten bei Keratektasie wie folgt:

1. Alter > 18 Jahre
2. Kontaktlinsen-Intoleranz
3. Visus c.c. > 0,2 LogMAR
4. Hornhautdicke in der Implantationszone > 400 μ m
5. Zentral klare Hornhaut ohne Vernarbungen
6. Differenz zwischen Kf und Zylinder-Achse $\leq 15^\circ$ (Sakellaris et al., 2019).

Absolut kontraindiziert sind die ICRS bei Patienten mit einem $K_{max} > 70$ Dioptrien (dpt), einer zentralen Hornhautnarbe, Hornhauttrübungen sowie nach einem kornealen Hydrops (Mohammadpour et al., 2017).

3.7 Arten der Tunnelpräparation

Für die Insertion der ICRS in das Hornhautstroma ist eine Tunnelkreation notwendig, diese kann mechanisch oder mithilfe eines FS Lasers erfolgen. Beide Verfahren erfolgen in Tropfanästhesie.

Die mechanische Tunnelkreation ist das Verfahren, welches zuerst etabliert wurde (Ruckhofer et al., 2001). Für die mechanische Tunnelkreation wird zunächst das Zentrum der Pupille oder das korneale geometrische Zentrum mit einem Sinsky-Haken markiert. Diese Markierung dient als Referenzpunkt für die spätere Inzision und die Positionierung der Segmente. Es folgt eine einen Millimeter breite radiäre Inzision in einer Tiefe von 70 bis 80% der Hornhautdicke mithilfe eines Diamantmessers. Mithilfe eines Taschenhakens werden auf beiden Seiten der Inzision unter Beachtung der bereits festgelegten Tiefe Hornhauttaschen erzeugt. Nach Anlegen eines Vakuumringes erfolgt die stromale Tunnelpräparation daraufhin mittels Dissektoren (Sakellaris et al., 2019; Piñero & Alio, 2010)

Die Tunnelkreation mit dem FS Laser folgt dem Prinzip der Photodisruption (Piñero & Alio, 2010). Der FS Laser erzeugt Lichtimpulse im Bereich weniger Hundert Femtosekunden ($1 \text{ fs} = 10^{15} \text{ s}$), die in einem Abstand von 6-10 μm Punktabstand in das Hornhautstroma appliziert werden. Dadurch entsteht am Fokus, in diesem Fall in einer bestimmten Hornhauttiefe, ein elektrisches Feld sehr hoher Intensität. Dieses führt durch die Ionisation des Gewebes zur Ausbildung von Plasmen und Kavitationsblasen, die in Wechselwirkung mit den Kollagenlamellen der Hornhaut zur Aufspaltung dieser führen und einen zusammenhängenden Schnitt im Hornhautstroma erzeugen (Vogel et al., 2014).

Für die Tunnelkreation mit dem FS Laser wird zunächst das Pupillenzentrum oder der Ort des ersten Purkinje-Reflexes als Referenzpunkt markiert. Daraufhin erfolgt die Platzierung des Vakuumringes des Lasers, welcher der Vakuumsaugung und Applanation des Auges dient. Hierdurch wird das Auge fixiert und es kann ein genauer Abstand von Laserkopf und Fokuspunkt im Hornhautstroma eingehalten werden. Es folgt die Tunnelkreation in einer Tiefe von 70 bis 80% des Hornhautstromas, die innerhalb von 15 s abgeschlossen ist. Die Ablationszone wird in Abhängigkeit von dem zu implantierenden ICRS gewählt (z.B. Intacs SK in der 6- bis 7-mm-optischen Zone). Nach diesem Schritt erfolgt eine kleine Inzision der Hornhaut, anschließend kann die Insertion der ICRS leicht rotierend erfolgen (siehe Abbildung 3 und 4). Die mechanische und thermische Schädigung des umliegenden Gewebes ist bei Einsatz des Lasers sehr gering.

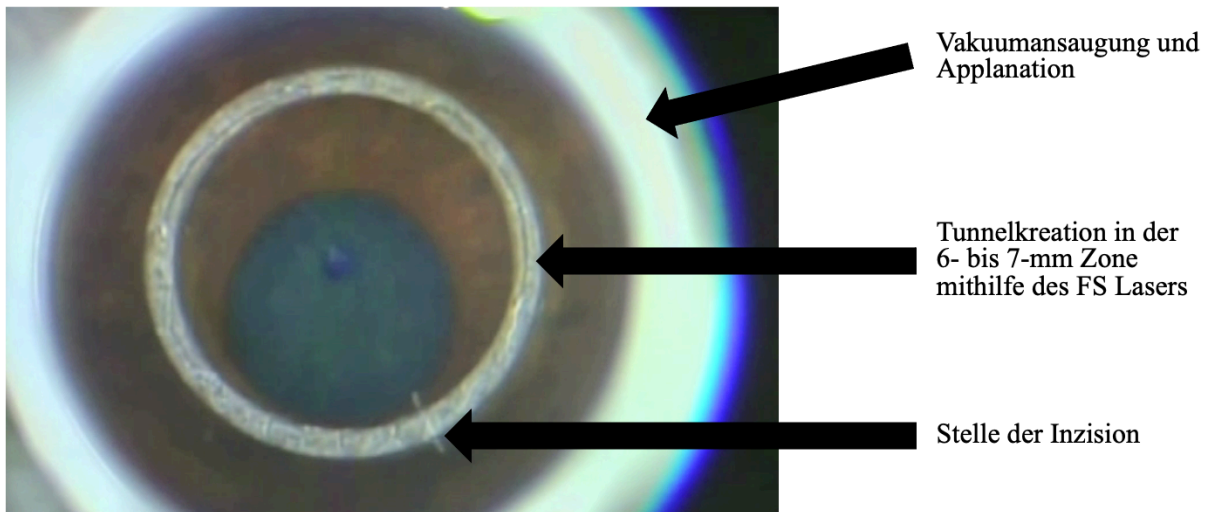


Abbildung 3: Zustand nach Femtosekundenlaser-assistierter Tunnelpräparation für Intacs SK-Implantation

Quelle: Universitäts-Augenklinik des Saarlandes

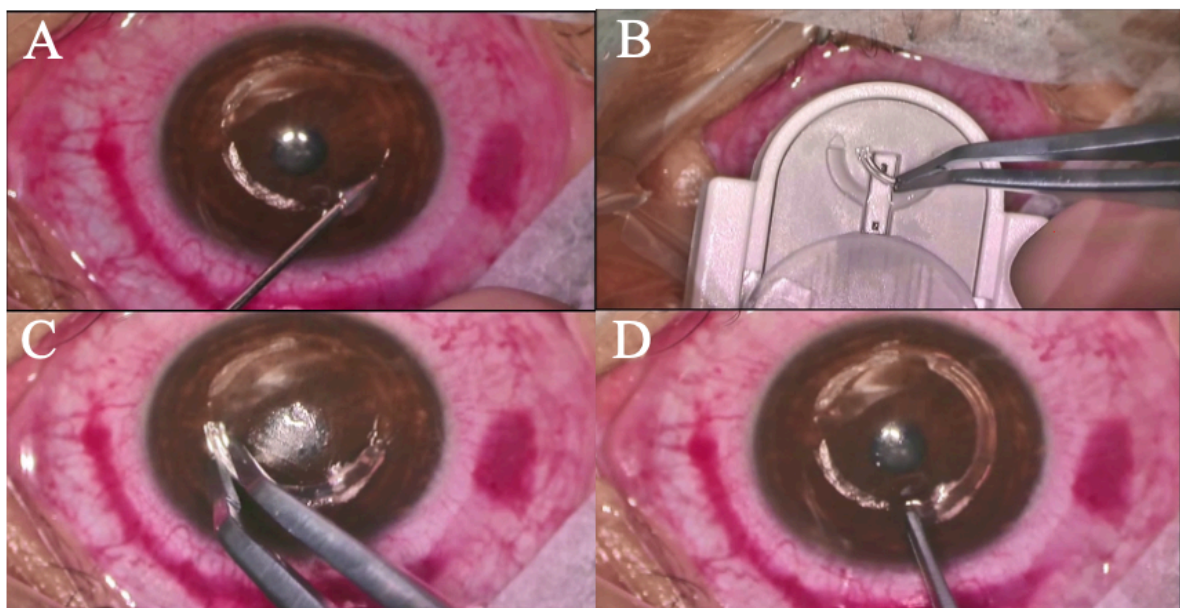


Abbildung 4: Ablauf der Implantation der Intacs SK

A: Anheben des mit dem Femtosekundenlaser präparierten Flaps

B: Entnahme der Intacs SK

C: Intacs SK werden langsam rotierend eingebracht

D: Implantierte Intacs SK

Quelle: Universitäts-Augenklinik des Saarlandes

Sowohl für die ICRS-Implantation nach Tunnelkreation mit dem FS Laser als auch nach mechanischer Tunnelkreation wurden in der Vergangenheit gute refraktive, keratometrische und visuelle Ergebnisse publiziert (Carrasquillo et al., 2007). Jedoch ist die Dissektion der

Hornhautlamellen durch den FS Laser präziser mit einer darauffolgenden exakteren Platzierung der ICRS, weist eine höhere Reproduzierbarkeit auf und kann schneller durchgeführt werden (Piñero et al., 2009). Die Genauigkeit der mechanischen Tunnelkreation ist zudem stark von den Fähigkeiten des Operateurs abhängig.

Für die Implantation des MyoRings ist im Gegensatz zu den Ringsegmenten keine zirkuläre Öffnung im Sinne einer Tunnelpräparation notwendig, sondern es erfolgt die Präparation einer kleinen lamellären Öffnung, einer Hornhauttasche (Bikbova et al., 2018; Ariza-Gracia et al., 2020).

3.8 Komplikationen

Es wird zwischen intra- und postoperativ auftretenden Komplikationen unterschieden.

Zu den intraoperativen Komplikationen zählen: Dezentrierung, Fehlinzisionen nahe der visuellen Achse oder des Limbus, unzureichende oder unpräzise Tunneltiefe und -breite, Perforationen der Bowman-Lamelle oder der Vorderkammer, asymmetrische Segmentplatzierung sowie Hornhautödeme.

Postoperativ können folgende Komplikationen auftreten: klaffende Inzisionsstellen, Epithelpropfen an der Inzisionsstelle, vor allem nachts auftretende Halos, intrastromale Ablagerungen, Ringsegmentextrusion und -migration, korneale Neovaskularisationen, infektiöse Keratiden und Hornhauteinschmelzung (siehe Abbildungen 5 und 6; Carrasquillo et al., 2007).

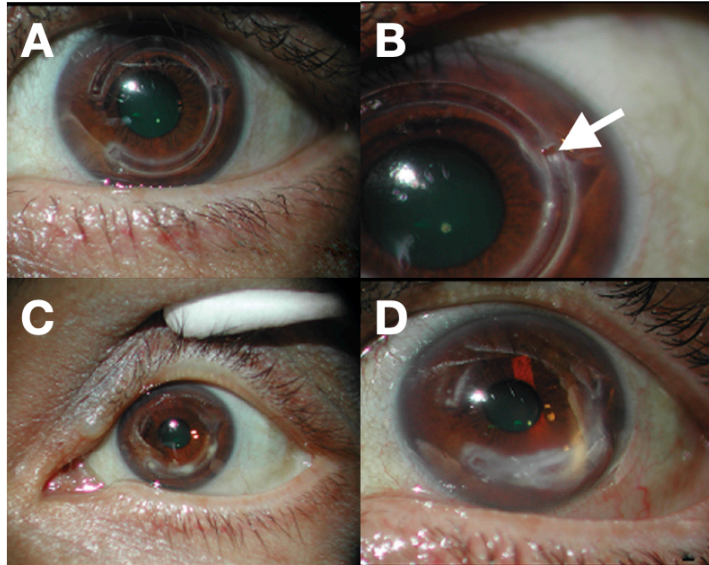


Abbildung 5: Untersuchung unter der Spaltlampe

A: Vier Monate nach Intacs-Insertion

B: Extrusion eines Ringsegments fünf Monate post operationem

C: Initiale stromale Infiltrationen acht Monate post operationem

D: Stromale Infiltrate zehn Monate post operationem und vor anschließender Keratoplastik

In Anlehnung an: Mitchell B, Kanellopoulos A, Font R: Post intrastromal corneal ring segments insertion complicated by *Candida parapsilosis* keratitis. *Clinical Ophthalmology* 2013:443-448

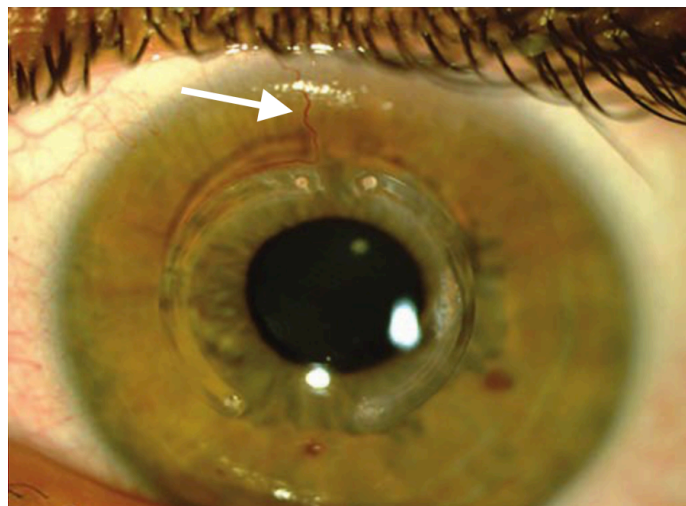


Abbildung 6: Korneale Neovaskularisation nach Implantation eines Ferrara Rings;

Quelle: Universitäts-Augenklinik des Saarlandes

3.9 Zielsetzung dieser Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Veränderungen der klinischen Parameter nach Implantation der intrakornealen Ringsegmente und des MyoRings bei der Behandlung von Keratektasien zu evaluieren und die klinischen Ergebnisse und Komplikationsraten zwischen mechanischer und FS Laser-assistierter Tunnelkreation zu vergleichen.

Es wurden folgende Schlüsselfragen formuliert:

1. Wie stark verbessert sich der klinische Zustand nach Implantation der ICRS und des MyoRings?
2. Tunnelpräparation mit dem FS Laser versus mechanisch: Hat die sicherere Durchführung der Tunnelpräparation mittels FS Lasers einen Einfluss auf das klinische Outcome und die Komplikationsraten der Patienten?

Aufgrund des unterschiedlichen Designs der intrakornealen Ringsegmente wurden im ersten Teil dieser Arbeit die Veränderungen für jede Ringsegmentart bzw. für den MyoRing getrennt ausgewertet. Im zweiten Teil der Arbeit erfolgt die Berechnung der Komplikationsraten für alle Ringarten zusammengefasst, jedoch weiterhin getrennt nach Art der Tunnelpräparation, da im ersten Teil der Arbeit bereits gezeigt wird, dass alle Ringarten einen positiven Einfluss auf das postoperative Outcome der Patienten haben.

Aufgrund der z.T. schlechten Datenlage und um trotz dieser einen möglichst umfassenden Überblick zu erlangen, wurden die Ergebnisse von Studien, welche postoperative Daten nach drei, sechs oder zwölf Monaten nach Implantation der ICRS bzw. des MyoRings evaluierten, ausgewertet.

4. Material und Methoden

4.1 Technik der Metaanalyse

Aufgrund der immer unübersichtlicher werdenden Zahl an neuen Publikationen gewinnen Übersichtsarbeiten wie Systematische Reviews und Metaanalysen immer mehr an Bedeutung. Das Ziel einer Metaanalyse ist es, die Ergebnisse verschiedener Studien, die zum Beispiel unterschiedliche Skalen verwenden oder nur eine geringe Anzahl an Teilnehmern aufweisen, unter Zuhilfenahme statistischer Methoden quantitativ zusammenzufassen, sodass eine verlässliche Aussage getroffen werden kann.

Hierbei besteht der Anspruch, unter Anwendung von zuvor festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien möglichst alle Studien zu einem bestimmten Forschungsgegenstand miteinzubeziehen (Ressing et al., 2009; Montori et al., 2003).

4.2 Ein- und Ausschlusskriterien

4.2.1 Studientypen

Es wurden Studien aller Evidenzlevel, die die Behandlung von mindestens fünf Augen umfassten, eingeschlossen. Berücksichtigung fanden nur Humanstudien in englischer, deutscher, spanischer oder französischer Sprache. Hinsichtlich des Publikationsdatums wurden keine Limitationen gesetzt.

Da das Bestimmen eines Treated-vs.-Control-Effektwertes bei der Implantation der Intacs nicht möglich ist, wurden im Rahmen dieser Metaanalyse die Prä-Post-Effektstärken bestimmt.

Ursprünglich war ein direkter Vergleich der Ergebnisse der Tunnelpräparation mithilfe des FS Lasers und der mechanischen Tunnelpräparation angedacht. Da bisher jedoch nur wenige Vergleichsstudien veröffentlicht wurden (Gatzioufas et al., 2018; Kubaloglu et al., 2010; Kubaloglu et al., 2010; Monteiro et al., 2019; Söğütü et al., 2012), welche zudem aufgrund der Implantation verschiedener Arten von Ringsegmenten nicht vergleichbar sind, wurde hiervon abgesehen und es ist eine getrennte Auswertung der klinischen Ergebnisse beider Arten der Tunnelpräparation erfolgt.

4.2.2 Studienteilnehmer

Es wurden Studien mit erwachsenen Patienten, die 16 Jahre oder älter waren, mit Keratektasien unabhängig von Art und Entität, die eine Behandlung mit intrakornealen Ringsegmenten aus alloplastischem Material erhielten, eingeschlossen.

In die Metaanalyse wurden ausschließlich Studien, die sich mit der Implantation der Intacs, der Intacs SK, des Kerarings, des Ferrara Rings oder des MyoRings befassen und ausschließlich eine Methode der Tunnelkreation verwenden oder die Messdaten nach mechanischer und FS Laser-Präparation differenziert darlegen, eingeschlossen.

Patienten, die präoperativ, simultan oder im Beobachtungszeitraum ein CXL erhielten, wurden ausgeschlossen. Ebenfalls wurden Studien, die sich mit der Behandlung des hohen irregulären Astigmatismus nach PKP oder einer additiven Implantation eines ICRS nach inadäquater Primärbehandlung befassen, nicht berücksichtigt.

4.2.3 Beobachtungszeitpunkt

Die Zeitpunkte der Follow-ups liegen bei drei, sechs oder zwölf Monaten.

4.2.4 Outcomes

Eingeschlossen wurden Studien, die prä- und postoperative Messdaten mit Standardabweichung oder die Änderung des Parameters mit Standardabweichung zu mindestens einem der oben genannten Zeitpunkte zu einem oder mehreren der folgenden Parameter angeben: Sphärisches Äquivalent (SE), Kugel, Zylinder, Visus sine correctione (s.c.), Visus cum correctione (c.c), flacher Keratometriewert (K_f), mittlerer Keratometriewert (K_m), steiler Keratometriewert (K_s). Die Visusangaben wurden bei Angabe in Dezimal oder Snellen in LogMAR umgerechnet.

4.3 Literaturrecherche

Die Recherche erfolgte gemäß dem im PRISMA Statement aufgeführten Suchalgorithmus.

Es wurde eine elektronische Literaturrecherche via Pubmed und Cochrane Library durchgeführt. Die Meta-Datenbank Pubmed bietet u.a. Zugang zu den Datenbanken *MEDLINE* und *NCBI Bookshelf* sowie auch zu Publikationen, die bisher nur als epub ahead of print erschienen sind (Kumar, 2020).

Als Suchsyntax fand „Ring segment eye OR intacs OR keraring OR myoring OR ferrara ring OR intracorneal ring“ Verwendung.

Die in der Primärsuche gefundenen Studien wurden anhand ihres Titels und Abstracts auf ihre mögliche Relevanz beurteilt und vorselektiert. Publikationen, die sich thematisch nicht mit der

oben genannten Fragestellung auseinandersetzen, die eine Zusammenfassung oder einen Systematischen Review darstellen sowie Duplikate wurden ausgeschlossen.

Studien, bei denen aus dem Abstract nicht klar hervorging, ob die Einschlusskriterien erfüllt werden, wurden zunächst den potentiell relevanten Studien zugeordnet. Von diesen wurde anschließend der Volltext gelesen und die methodische Eignung geprüft.

Zusätzlich wurden die Referenzlisten bereits gefundener Studien, systematischer Reviews und bereits publizierter Metaanalysen zu ähnlichen Themen nach weiterer relevanter Literatur händisch durchsucht.

Es wurden alle Publikationen erfasst, die bis zum 7. April 2020 veröffentlicht wurden.

Nach der Identifikation aller geeigneten Studien wurden die relevanten Informationen, welche das Jahr und den Erstautor der Publikation, Studienart, Art des ICRS und Art der Tunnelpräparation, Erkrankung und ggf. präoperative Keratokonus-Einteilung nach Amsler-Kremeich sowie das Vorliegen einer Krankheitsprogression oder eines stabilen Krankheitszustandes, Anzahl der Augen, durchschnittliches Patientenalter, Ein- und Ausschlusskriterien bei der Patientenselektion sowie intra- und postoperative Komplikationen umfassen, aus den Studien extrahiert und zur Übersicht in einer Tabelle zusammengefügt. Abschließend wurden die Studien den jeweiligen ICRS zugeordnet und anhand der Art der Tunnelkreation gegliedert.

4.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der extrahierten Daten erfolgte unter Zuhilfenahme des Meta-Package in R (R version 4.0.2, The R Foundation for Statistical Computing) und der Software Open Meta [Analyst] software version 10.12.

Fixed vs. Random Effects-Modell:

Eine Berechnung des Effektschätzers ist durch Anwendung des Fixed Effects-Modells oder des Random Effects-Modells möglich. Beim Random Effects-Modell wird im Vergleich zum Fixed Effects-Modells, welches von einer Inter-Studien-Varianz von null ausgeht, die Inter- und Intra-Studienvarianz berücksichtigt. Somit stellt das Random Effects-Modell das geeignete Modell dar, wenn die zuvor bestimmte Heterogenität der Studien hoch ist.

Im Allgemeinen wird bei Metaanalysen jede Effektgröße ins Verhältnis der Stichprobengröße gesetzt. Dadurch werden Studien mit einer größeren Anzahl von Teilnehmern stärker gewichtet als Studien mit einer kleineren Teilnehmerzahl, da diese in der Regel eine genauere Schätzung des Effekts aufweisen. Im Vergleich zum Fixed Effects-Modell werden beim Random Effects-Modell kleinere Studien stärker gewichtet. Da Cochran's Q-Test in dieser Arbeit grundsätzlich einen p-Wert von unter 0,05 ergab, wurde das Random Effects-Modell angewendet.

Bei den statistischen Tests auf Signifikanz wurde eine Signifikanz ab einem Niveau von $p \leq 0,05$ anerkannt.

Bei der Berechnung der Komplikationsraten erfolgte die Anwendung des Random-Effekts-Modells. Um die Varianz zu stabilisieren, wurde die Freeman-Tukey-double-arcsine-Transformation durchgeführt. Diese hat im Vergleich zur Inversen-Varianz den Vorteil, dass eine zu starke Gewichtung von Studien mit kleiner oder großer Prävalenz vermieden werden kann. Die gewichtete Proportion wurde anschließend durch die Rücktransformation des gewichteten Mittels der transformierten Proportion berechnet.

4.5 Präsentation der Ergebnisse der Metaanalysen

Die Ergebnisse der Metaanalysen werden in dieser Arbeit mithilfe von Forest-Plots dargestellt. Die Ergebnisse des Visus, der Refraktion und der Keratometrie wurden mithilfe der gewichteten mittleren Differenz und dem dazu gehörigen 95%-Konfidenzintervall veranschaulicht. Für die Komplikationsraten wurde der prozentuale Anteil mit 95%-Konfidenzintervall berechnet.

In den Grafiken stehen die Bezeichnungen „Mean Difference“ für „Mittelwertsdifferenz“ und der Begriff „RE-Modell“ zeigt an, dass das Random Effects Modell für die Metaanalyse verwendet wurde. Aus Gründen der Übersichtlichkeit erfolgt die Darstellung der Forest Plots im Anhang. Im Hauptteil sind die Daten aus den Forest Plots in tabellarischer Form zusammengefasst.

Die Auswertung eines Forest Plots ist in Abbildung 7 dargestellt.

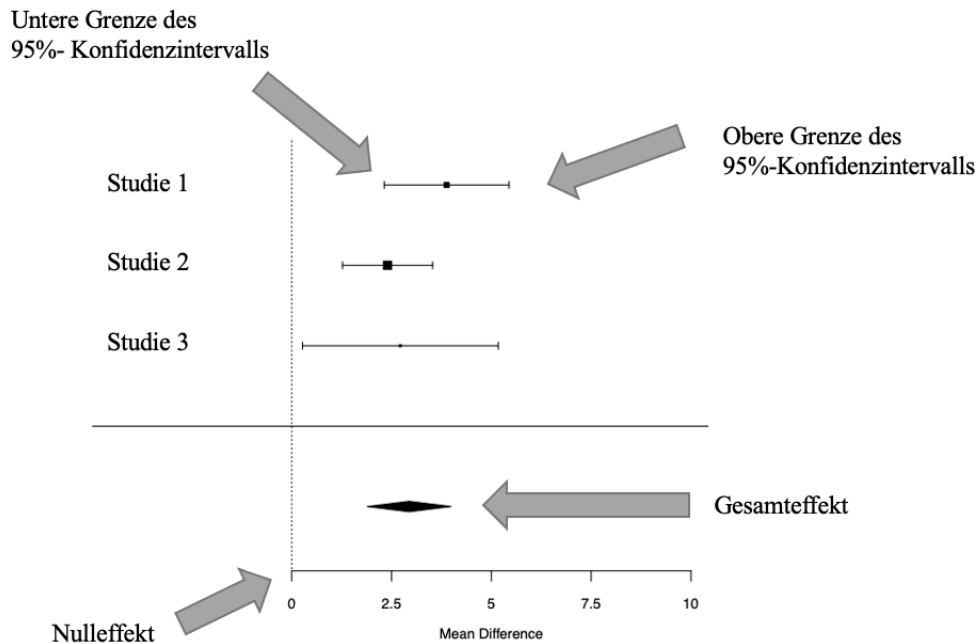


Abbildung 7: Auswertung eines Forest Plots

4.6 Untersuchung auf mögliche Verzerrungen

Als Publikationsbias wird der Sachverhalt bezeichnet, dass bevorzugt Studien veröffentlicht werden, die den gewünschten Erfolg bzw. signifikante Ergebnisse erzielten. Da auf nicht publizierte Studien nicht oder nur erschwert zugegriffen werden kann, kann dies zu einem verzerrten Bild der aktuellen Studienlage führen (Schott et al., 2020). Um einen möglichen Publikationsbias zu demaskieren, fanden in dieser Arbeit Funnel Plots Verwendung (Weckmann et al., 2015). Um eine statistisch signifikante Asymmetrie des Diagramms zu bestätigen oder auszuschließen, wurde der Egger-Test ergänzend durchgeführt.

Bei einem Funnel Plot handelt es sich um ein abgewandeltes Streudiagramm, in dem der geschätzte Therapieeffekt auf der X-Achse gegen die Varianzen oder den Standardfehler als Maß für die Präzision auf der Y-Achse aufgetragen werden. Die diagonalen Linien repräsentierten das 95%-Konfidenzintervall (Sterne & Egger, 2001). Die Ergebnisse kleiner Studien, die aufgrund größerer Zufallsschwankungen über einen größeren Bereich streuen, befinden sich im unteren Teil des Diagramms, wohingegen sich die Ergebnisse der größeren Studien im oberen Teil befinden. Wenn keine ausgeprägte Heterogenität zwischen den Studien vorliegt, nimmt die Präzision der Studien von oben nach unten zu, da die Größe des Standardfehlers abhängig ist von der Anzahl der eingeschlossenen Patienten in einer Studie. Eine große Fallzahl spricht allgemein für einen kleinen Standardfehler und umgekehrt.

Im Optimalfall der normalen statistischen Streuung der Einzeleffekte um den gepoolten Effektschätzer ergibt sich insgesamt das Bild eines symmetrischen umgedrehten Trichters (engl. „funnel“). Ein asymmetrischer „funnel“ weist auf einen Publikationsbias hin (Schwarzer & Rücker, 2010, siehe Abbildung 8).

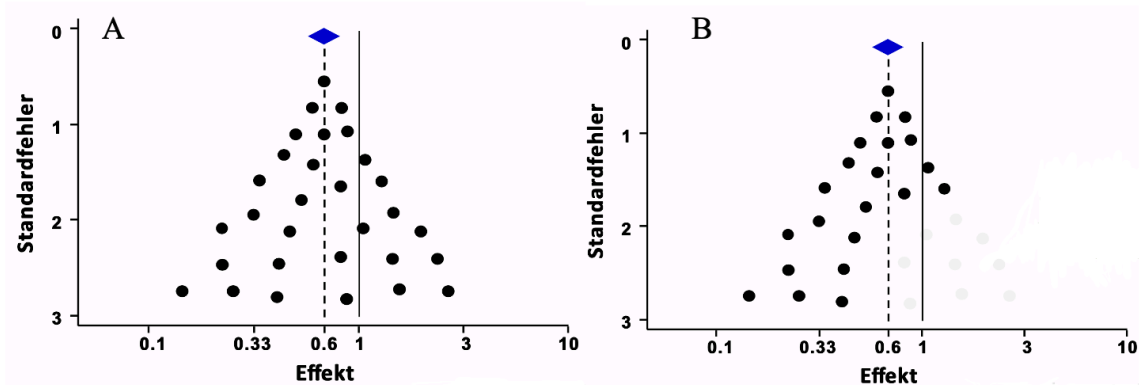


Abbildung 8: Beispiele eines Funnel Plots

A: symmetrischer Funnel Plot

B: asymmetrischer Funnel Plot

In Anlehnung an: Egger M. Sterne J: Small-study effects and reporting bias. Cochrane Training

Eine Darstellung der Funnel Plots sowie die Berechnung des Egger-Wertes erfolgt in dieser Arbeit erst ab einer Studienanzahl von zehn, da im Falle einer geringeren Studienanzahl die Testpower zu gering ist, um eine reale Asymmetrie abzubilden (Sterna et al., 2011).

Beim Egger-Test wurde eine Signifikanz ab einem Niveau von $p \leq 0,10$ anerkannt.

4.7 Untersuchung der statistischen Heterogenität

Inwieweit die eingeschlossenen Studien zu einem Schätzer in einer Metaanalyse zusammengefasst werden können, kann durch die Berechnung der statistischen Heterogenität ermittelt werden.

In dieser Arbeit wurde I^2 von Higgins und Thompson als Heterogenitätsmaß berechnet.

Das Ergebnis ist der Prozentsatz der Varianz aller Studien, bei denen das Ergebnis eher durch die Heterogenität als durch die Zufallsverteilung verursacht ist. Somit entsprechen steigende Prozentwerte einer größeren Heterogenität (Knippschild et al., 2015). Higgins et al. interpretieren die Werte wie in Tabelle 2 dargestellt:

| | |
|--------------|------------------------|
| $I^2 = 0\%$ | Keine Heterogenität |
| $I^2 = 25\%$ | Geringe Heterogenität |
| $I^2 = 50\%$ | Mittlere Heterogenität |
| $I^2 = 75\%$ | Hohe Heterogenität |

Tabelle 2: Interpretation I^2 nach Higgins und Thompson als Heterogenitätsindex

Eigene Darstellung nach: Higgins JP, Thompson SG, Deeks JJ, Altman DG: Measuring inconsistency in meta-analysis. BMJ 2003;327:557-560

5. Ergebnisse

5.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

Mithilfe der oben genannten Suchbegriffe wurden in Pubmed 1.100 und in der Cochrane Datenbank 357 potenziell relevante Publikationen identifiziert. Weiterhin konnten mittels händischer Suche in Google zwei sowie durch Querverweise in den Literaturangaben 25 weitere Studien zur Fragestellung gefunden werden, sodass insgesamt 1.484 Studien vorlagen und in die Vorauswahl miteinbezogen wurden.

Wegen fehlenden Bezugs zur Fragestellung oder Nichterfüllung der Ein- und Ausschlusskriterien erfolgte der Ausschluss von 1.204 Studien. Von den verbliebenen 288 wurde der Volltext gelesen und auf Vorhandensein der relevanten Daten sowie methodische Eignung geprüft. Wegen Nichterfüllung der Kriterien wurden wiederum 173 Studien ausgeschlossen. Insgesamt konnten 115 Studien in die Metaanalyse eingeschlossen werden. Eine Auflistung der nicht eingeschlossenen Publikationen mit Grund des Ausschlusses erfolgt im Anhang. Der Ablauf der Literaturrecherche ist in Abbildung 9 in Form eines Flussdiagramms dargestellt.

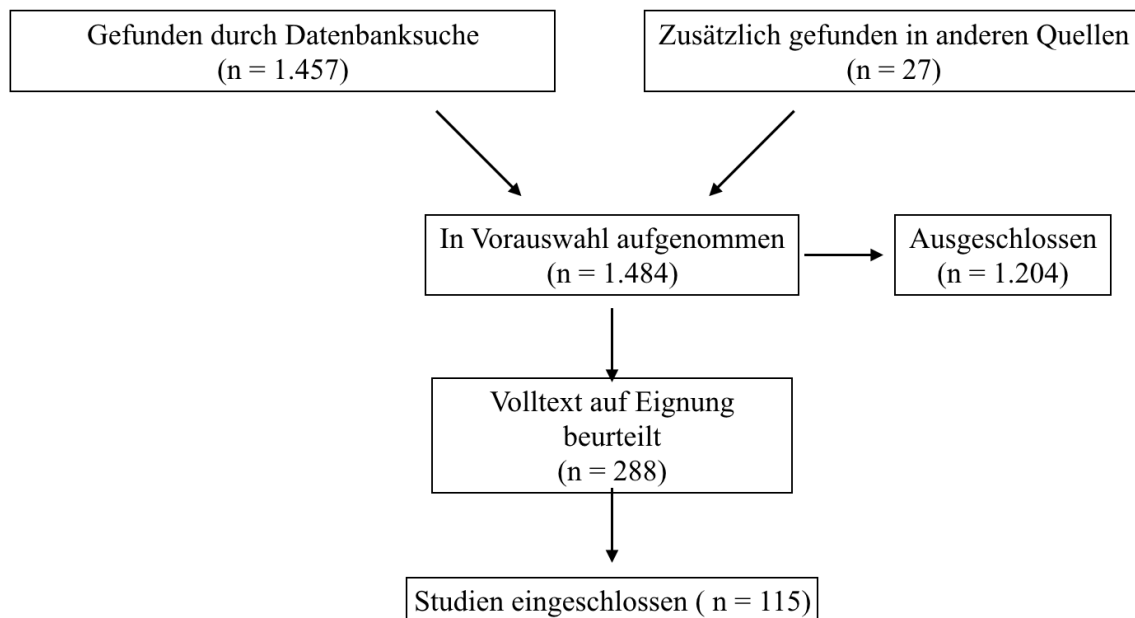


Abbildung 9: Flussdiagramm zum Ablauf der Literaturrecherche

Nach der Identifikation aller geeigneten Studien wurden die relevanten Informationen, welche das Jahr und den Erstautor der Publikation, Studienart, Art des ICRS und Art der Tunnelpräparation, Erkrankung und ggf. präoperative Keratokonus-Einteilung nach Amsler-Krumeich sowie das Vorliegen einer Krankheitsprogression oder eines stabilen Krankheitszustandes, Anzahl der Augen, durchschnittliches Patientenalter, Ein- und Ausschlusskriterien bei der Patientenselektion sowie intra- und postoperative Komplikationen umfassen, aus den Studien extrahiert und zur Übersicht in einer Tabelle zusammengefügt. Abschließend wurden die Studien den jeweiligen ICRS und dem MyoRing zugeordnet und anhand der Art der Tunnelkreation gegliedert.

Die Studiencharakteristika sind in den Tabellen 3 bis 10 dargestellt.

5.2 Tabellarische Darstellung der Charakteristika der eingeschlossenen Studien

5.2.1 Femtosekundenlaser-assistierte Intacs/Intacs SK-Implantation

| Autor | Studienart | Erkrankung (KK mit präoperativer Einteilung nach Amsler-Krumeich) | Einschluss- und Ausschlusskriterien (K-Wert, Hornhautdicke) | Präoperative Progression (Kriterium der Progression) | Anzahl Augen (Anzahl Patienten) | Durchschnittliches Alter in Jahren | Anteil Männer in % | Komplikationen intra- und postoperativ |
|-------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A Ibrahim et al., 2013 | Prospektive, nicht-randomisierte Studie | KK (Grad 1 und 2) | CCT > 400 µm | | 114 (71) | 28,9±6,2 | 46 | Keine intraoperativen (mit Ausnahme eines Hyposphagmas infolge der Fixierung), milde korneale Abl., welche bis zum dritten Mo verschwanden; zwei Ex. (eine wegen Progress mit nachfolgender DALK und eine traumatisch bedingt) |
| Alio et al., 2006 | Retrospektiv | KK (Grad 1: 30,8%, Grad 2: 46,2%, Grad 3: 23%) | | | 13 (11) | 27,6±9,53 | | Drei Augen milde Abl., zwei Augen KN, sieben Augen mit Extr. |
| Al Muammar et al., 2015 | Retrospektive, nicht-randomisierte Vergleichsstudie | KK (Intacs: Grad 1: 75%, Grad 2: 25%, Intacs SK: Grad 1: 55,6%, Grad 2: 44,4%) | HHD > 400 µm in der ISZ | | 34 (26) | Intacs: 29,6±5,4, Intacs SK: 28,1±4,9 | Intacs: 76,9 Intacs SK: 30,3 | Keine |
| Colin & Malet, 2007 | Prospektiv | KK (Grad 1: 19,5%, Grad 2: 31,7%, Grad 3: 48,8%) | | | 82 (68), nach zwölf Mo: 81 | | 64,6 | Zwei Ex. aufgrund von Extr., zwei Ex. aufgrund von schlechtem postoperativen Visus |

| | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| El-Husseiny et al., 2016 | | KK, Post-LASIK-Ektasie, PMD | | | Gruppe 1 (Intacs SK): 74, Gruppe 2 (Keraring): 10 | | | Eine KN |
| El-Husseiny et al., 2013 | Konsequente Studie | KK, Post-LASIK-Ektasie, PMD | Ks < 65 dpt | | 20 (15) | 35,8±10,6 | 75 | Keine |
| Ertan & Bahadır, 2006 | Retrospektive, nicht-vergleichende Fallserie | PMD | HHD ≥ 400 µm in der ISZ | | 9 (6) | 32±9,4 | 66,6 | Keine intraoperativen, keine Angabe zu postoperativ |
| Ertan et al., 2007 | Retrospektiv | KK | | | Gruppe 1 (breite Präparation): 97 (65) Gruppe 2 (schmale Präparation): 62 (38) | Gruppe 1: 27,6±8,6, Gruppe 2: 26,6±6,1 | Gruppe 1: 56,9, Gruppe 2: 60,5 | Gruppe 1: Epithelpropfen in 12,37%, Abl. 10,3%, Haze in 2,06%, keine RSM, 1,16% KE, Gruppe 2: Epithelpropfen in 41,96%, gelbe Abl. in 46,77%, Haze in 14,5%, 4 RSM |
| Ertan et al., 2006 | Retrospektive, nicht-vergleichende Fallserie | Moderater bis schwerer KK | | | 118 (69) | | 56,5 | Epithelpropfen an der Einschnittstelle in 15,2% der Augen, Granulome um die ICRS in 8,5% |
| Ertan et al., 2009 | Retrospektiv | KK | HHD > 400 µm | Ja | 25 (17) | 25,1±7,1 | 66,6 | |
| Fahd et al., 2015 | Retrospektive Fallserie | KK (Grad 2 bis 4) | HHD ≥ 400 µm in der 6,0 mm-Optischen Zone | | 30 (30) | 29,6±8 | 63,3 | Sieben Augen mit Abl., ein Auge mit Fremdkörpergefühl und Blendung in den ersten sechs Wochen, sieben Augen mit asymptomatischen Epithelpropfen |

| | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fahd et al., 2012 | Prospektiv | KK | simK2 \leq 53 dpt, Kmin \geq 40 dpt, HHD \geq 400 μ m in der ISZ | | 41 (39) | 31,7 \pm 9,4 | 53 | Keine |
| Guyot et al., 2019 | Retrospektiv | KK (Grad 1: 33%, Grad 2: 49%, Grad 3: 12%, Grad 4: 5%) | | | 75 (65) | 36,6 \pm 10,7 | 60 | 6,66% Halo |
| Haddad et al., 2012 | Retrospektive, vergleichende Fallserie | Milder bis schwerer KK | | | Gruppe 1 (Intacs SK): 66, Gruppe 2 (Keraring): 107 | Gruppe 1: 29,2 \pm 10,1, Gruppe 2: 29 \pm 11 | Gruppe 1 53, Gruppe 2: 43 | Zwei Augen mit zu tiefer Implantation, Riss in drei Augen -> Ex., Augen mit rezidivierender epithelialer Erosion |
| Hashemi et al., 2015 | Prospektive, interventionelle Fallserie | KK | Kmax $<$ 60 dpt, CCT \geq μ m | | 62 (45) | 29,4 \pm 7,2 | 61,3 | |
| Hashemian et al., 2018 | Prospektive, interventionelle Fallserie | KK (Grad 1: 35,2%, Grad 2: 39,4%, Grad 3: 8,5%, Grad 4: 16,9%) | HHD \geq 450 μ m, Kmean $<$ 60 D | Nein | 71 (52) | 27,5 \pm 7,1 | | Zwei Augen mit Abl. |
| Izquierdo et al., 2017 | Retrospektive Vergleichsstudie | KK (Grad 2 und 3), Post-LASIK-Ektasie | | | 6 (5) | 29 | | Keine |
| Kang et al., 2019 | Retrospektiv | KK (Grad 1: 20%, Grad 2: 43,3%, Grad 3: 36,6%) | | | 30 (23) | 27,6 \pm 6,6 | 61 | Extr., Perforation in der Vorderkammer, Infiltration ohne Angabe von Zahlen |
| Kaya et al., 2011 | Retrospektive Vergleichsstudie | KK (Gruppe 1 (Intacs): Grad 2: 56,3%, Grad 3: 43,7%, Gruppe 2 (Ferrara Ring): Grad 2: 64,7%, Grad 3: 35,3%) | | | Gruppe 1: 16 (11): Gruppe 2: 17 Augen (11) | Gruppe 1: 23 \pm 2,7, Gruppe 2: 24,2 \pm 3,9 | Gruppe 1 36,3, Gruppe 2: 63,6 | Eine KN, sonst keine intra- oder postoperativen |

| | | | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Koh et al., 2019 | Retrospektive Fallserie | KK | HHD \geq 440 μ m | Ja (Kmax-Zunahme \geq 1 dpt, Zunahme des manifesten Astigmatismus \geq 1 dpt oder Abnahme des Visus \geq 1 Linie ohne andere Kausalität in den letzten sechs Mo) | 30 (25) | 27 \pm 6 | 68 | |
| Kotb et al., 2013 | Prospektive, nicht-vergleichende Studie | KK (Grad 2: 83,8%, Grad 3: 16,2%) | Km < 56 dpt, HHD > 400 μ m in der ISZ | | 37 (24) | 25 \pm 6 | 54,2 | Bullöse Keratopathie in zwei Augen (0,5%) zwei Wochen p.op., Überkorrektion in zwei Augen (0,5% -> Teilexplantation), Überlappende Segmente in zwei Augen (0,5% -> Re-Operation) |
| Kremer et al., 2012 | Retrospektive, interventionelle Fallserie | KK | zentrale HHD > 400 μ m | | 45 (40) | 33,3 \pm 7,7 | 67,5 | |
| Niknam et al., 2012 | Prospektive, nicht-vergleichende, interventionelle Fallserie | KK (Grad 2 und 3) | CCT > 400 μ m | | 37 (36) | 24,5 \pm 7,3 | 58,3 | Eine Extr. mit Ex. |
| Piñero et al., 2010 | Retrospektiv | KK (Grad 1: 62,2%, Grad 2: 37,8%), PMD, Post-LASIK-Ektasie | | | Gruppe 1 (Intacs): 17 Gruppe 2 (Keraring): 20 | 31,6 \pm 9,4 | 67,9 | Drei Ex. in Gruppe 2 (eine aufgrund bakteriellen K, zwei wegen eines schlechten postoperativen Visus) |
| Rho et al., 2016 | Retrospektiv, nicht- | KK | | | 34 (34) | 27 \pm 6,7 | 64,7 | |

| | | | | | | | | |
|--------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|------|---------|----------|------|------------------------------------------------------------|
| | randomisierte Studie | | | | | | | |
| Rho et al., 2013 | Retrospektive, nicht-randomisierte Studie | KK (Grad 1: 16%, Grad 2: 24%, Grad 3: 32%, Grad 4: 28%) | | | 25 (21) | 27,1±7,5 | 60 | Eine Perforation der vorderen Augenkammer mit Ex. |
| Sansanayudh et al., 2010 | Retrospektive, nicht-randomisierte Studie | KK (Grad 2 bis 4) | HHD > 400 µm a in der ISZ | | 10 (8) | 28 | 75 | Keine |
| Shahhoseini et al., 2018 | Mix-Design-Studie | Milder bis moderater KK | | Nein | 30 (30) | 31,4±7,9 | 58,6 | Keine intraoperativen |
| Zare et al., 2016 | Prospektive, interventionelle Fallserie | KK (Grad 2 bis 4) | HHD ≥ 450 µm in der ISZ, Km ≤ 60 dpt | | 32 (25) | 23,8±5,4 | 56 | Zwei RSM mit KE und nachfolgender Ex., fünf Augen mit Abl. |

Tabelle 3: Eingeschlossene Studien mit FS Laser-assistierter Intacs/Intacs SK-Implantation

Abkürzungen: Abl.= Ablagerungen, CCT = Central corneal thickness, DZ = Dezentrierung, dpt = Dioptrien, Ex.= Explantationen, Extr. = Extrusion, HHD = Hornhautdicke, ISZ = Implantationszone, K = Keratitis, KE = Korneale Einschmelzung, KK = Keratokonus, Km = mittlerer Keratometriewert, Kmax = maximaler Keratometriewert, KN = Korneale Neovaskularisationen, Mo = Monate, PMD = Pelluzide marginale Degeneration, RSM = Ringsegmentmigration, SDE = Superfizielle Deplatziierung

5.2.2 Intacs/Intacs SK-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation

| Autor | Studienart | Erkrankung (KK mit präoperativer Einteilung nach Amsler-Krumeich) | Einschluss- und Ausschlusskriterien (Kmax-Wert, Hornhautdicke) | Präoperative Progression (Kriterium der Progression) | Anzahl Augen (Anzahl Patienten) | Durchschnittliches Alter in Jahren | Anteil Männer in % | Komplikationen intra- und postoperativ |
|------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alio et al., 2005 | Prospektive, vergleichende, konsekutive Studie | KK | HHD \geq 400 μ m in der ISZ | Ja | Gruppe 1 (< 180° und 1 Segment): 11 (8), Gruppe 2 (> 180° und 2 Segmente): 15 | Gruppe 1: 34,6 \pm 14,3, Gruppe 2: 33,9 \pm 16,6 | 52,6 | Keine intraoperativen, drei schwache KN, Haze bei allen Augen bis zur ersten Woche p.op., drei Augen mit Abl. nach zwölf Mo, RSM in sieben Augen, vier Augen mit Extr. und 4 Ex. |
| Colin, 2006 | Prospektiv | KK (Grad 1 und 2) | | | Nach drei Mo: 57, nach sechs Mo: 34 | | | Sieben Ex. aufgrund von visuellen Wahrnehmungsstörungen (Fremdkörpergefühl, Jucken, Brennen, Photophobie, Einschränkungen des Dunkelsehens, Glare) |
| Colin et al., 2000 | Prospektive, nicht-vergleichende, interventionelle Fallserie | KK | HHD > 400 μ m in der ISZ | | Nach drei Mo: 10, nach sechs Mo: 6 | 30,9 \pm 6,1 | 50 | Keine intraoperativen |
| Colin et al., 2001 | Prospektive, nicht-randomisierte Vergleichsstudie | KK | HHD \geq 400 μ m | | 10 (10) | 30,9 \pm 6,1 | | Eine Ex. aufgrund SDE |
| El-Raggal et al., 2007 | Prospektiv | KK | Kmax < 60 dpt, HHD < 400 μ m | | 8 (6) | 30,9 \pm 6,2 | 33,3 | 87,5% Abl. |
| Hashemi et al., 2013 | Retrospektive Beobachtungsstudie | Post-LASIK-Ektasie | | | 16 (12) | 33,3 \pm 9,2 | 50 | |

| | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|----|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Hashemian et al., 2014 | Prospektive, konsekutive, randomisierte, interventionelle Fallserie | KK | HHD $\geq 450 \mu\text{m}$ | | Gruppe 1 (Intacs): 17, Gruppe 2 (Intacs SK): 16 | 27,6 \pm 6 | 57,6 | Vier Extr. mit Ex. |
| Kanellopoulos et al., 2006 | Prospektive, nicht-vergleichende Fallserie | KK (Grad 2 und 3) | CCT $\geq 300 \mu\text{m}$ | | Bis sechs Mo 20 (15)., zwölf Mo: 13 | 30,2 \pm 5,4 | 40 | Sechs Extr., eine Vorderkammerperforation, eine K |
| Khan et al., 2012 | Fallserie | Moderater bis schwerer KK | CCT $\geq 330 \mu\text{m}$, HHD $\geq 400 \mu\text{m}$ in der ISZ | | 31 (29) | 30 \pm 10 | 89,7 | 9,68% Ex. wegen Extr. (bei Pat. mit Atopie und Augenreiben in der Anamnese), 6,45% Ex. wegen Extr. und KN, 3,23% Ex. wegen Extr. mit infektiöser K |
| Kim & Kim, 2019 | Retrospektive Fallserie | KK, Post-LASIK-Ektasie | Kmax $\leq 60 \text{ dpt}$, CCT $\geq 400 \mu\text{m}$ | Ja | 8 | ICRS: 26,5 \pm 5,6, ICRS+CXL: 42,8 \pm 11,8 | 62,5 | Eine K |
| Kymionis et al., 2007 | Retrospektive konsekutive Studie | KK | | | 17 (15) | 34 \pm 10,5 | 53,3 | Sieben Augen Ex. wegen Pat.unzufriedenheit (-> PKP) |
| Mularoni et al., 2005 | Fallserie | PMD | normale CCT, HHD $> 450 \mu\text{m}$ | | 8 (8) | 54,5 | 50 | 50% Abl. |
| Shetty et al., 2008 | Prospektive, nicht-randomisierte, interventionelle Fallserie | KK (Grad 3) | | | 14 (14) | 25,6 \pm 4,7 | 71,4 | Keine intraoperativen Komplikationen, 7,14% KN, 21,43% Abl. und z.T. Haze, 71,43% Epithelpropfen an der Einschnittstelle |
| Shetty et al., 2009 | Retrospektive, interventionelle Fallserie | KK | HHD $\geq 450 \mu\text{m}$ | | 12 (12) | 25,6 | 75 | 6,25% Diplopie, 6,25% milde Photophobie, 6,25% weiße Linien beim Blick nach lateral -> Remission spätestens nach sechs Mo |
| Siganos et al., 2002 | Prospektive, nicht-randomisierte Studie | KK | | | 33 (26) | 32 \pm 9,7 | 65,4 | Zwei Augen Ex., eine wegen SDE -> Ex. und |

| | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|--|---------|-----------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | | | | | | eine DZ, keine intraoperativen |
| Tunç et al., 2003 | Prospektiv | KK | CCT \geq 450 μ m | | 9 (7) | 27,2 \pm 11,2 | | Eine Extr., eine Ex. aufgrund einer unzureichenden Visusverbesserung und DZ, keine intraoperativen Komplikationen |
| Zare et al., 2007 | Prospektive Fallserie | KK (Grad 1: 20%, Grad 2: 53,3%, Grad 3: 13,3%, Grad 4: 13,3%) | HHD \geq 450 μ m in der ISZ, zentrale HHD \geq 350 μ m | | 30 (22) | 26 \pm 5,3 | 77,2 | Drei Extr., zwei KE, eine K |

Tabelle 4: Eingeschlossene Studien mit Intacs/ Intacs SK-Implantation mithilfe mechanischer Tunnelpräparation

Abkürzungen: Abl.= Ablagerungen, CCT = Central corneal thickness, DZ = Dezentrierung, dpt = Dioptrien, Ex.= Explantationen, Extr. = Extrusion, HHD = Hornhautdicke, ISZ = Implantationszone, K = Keratitis, KE = Korneale Einschmelzung, KK = Keratokonus, Km = mittlerer Keratometriewert, Kmax = maximaler Keratometriewert, KN = Korneale Neovaskularisationen, Mo = Monate, PMD = Pelluzide marginale Degeneration, RSM = Ringsegmentmigration, SDE = Superfizielle Deplatziierung

5.2.3 Femtosekundenlaser-assistierte Keraring-Implantation

| Autor | Studienart | Erkrankung (KK mit präoperativer Einteilung nach Amsler-Krumeich) | Einschluss- und Ausschlusskriterien (Kmax-Wert, Hornhautdicke) | Präoperative Progression (Kriterium der Progression) | Anzahl Augen (Anzahl Patienten) | Durchschnittliches Alter in Jahren | Anteil Männer in % | Komplikationen intra- und postoperativ |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Abd Elaziz et al., 2018 | Prospektive interventionelle Studie | Fortgeschrittener KK (Grad 3) | Kmax < 62 dpt, HHD > 450 µm | | 30 (22) | 27,4±7 | 45,5 | Drei Extr. |
| Abdellah & Ammar, 2019 | Prospektive, interventionelle Fallserie | Moderater bis schwerer KK | HHD > 400 µm | | 38 (26) | 25,9±5,4 | 42,3 | Sieben KN, fünf KE, sechs Extr. |
| Alfonso et al., 2011 | Prospektiv | KK (Grad 1: 52,5%, Grad 2: 38,4%, Grad 3: 9,1%) | Kmax < 60 dpt, HHD > 300 µm | | 219 (163) | 31,8±10,2 | | Keine |
| Alfonso et al., 2011 | Prospektive Kohortenstudie | KK | Kmax < 55 dpt, Kmin > 40 dpt, HHD > 400 µm | | 40 (31) | 38±5,2 | 61,3 | Keine |
| Al-Tuwairqi et al., 2017 | Prospektive, doppelverblindete, randomisierte, interventionelle Studie | KK (Milder KK: 43,2%, Moderater KK: 44,4%, Fortgeschrittener KK: 11,4%) | CCT > 400 µm, Kmax zwischen 42 und 65 dpt | | Gruppe 1 (Keraring): 26, Gruppe 2 (Myoring): 18 | 28,5±6,1 | 63,2 | Gruppe 1: eine DZ, eine RSM -> Ex., eine K, Gruppe 2: eine Progression des KK p.op. -> CXL |
| Carballo et al., 2013 | Prospektive Fallserie | KK (Grad 1: 25,5%, Grad 2: 44,6%, Grad 3: 29,7%) | Kmax < 65 dpt, HHD > 300 µm, HHD ≥ 400 µm in der ISZ | | 47 (47) | 29,4±6,6 | 57 | Zwei Extr., eine K |
| Coimbra et al., 2012 | Retrospektiv | 94,3% KK (Grad 1: 30,3%, Grad 2: 30,3%, Grad 3: 24,2%, Grad 4: 15,2%), 5,7%PMD | zentrale HHD ≥ 400 µm, Kmax < 65 dpt | | 35 (35) | 29,6±8,9 | 62,8 | Eine Ex. mit Replantation wegen Halos |

| | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coskunseven et al., 2013 | Prospektive Fallserie | KK | HHD \geq 400 μ m, K-Werte < 65 dpt | Ja (Kapex-Zunahme um \geq 0,75 dpt oder Veränderung des SE um 0,75 dpt in den letzten sechs Mo) | 16 (10) | 21,3 \pm 5,6 | | |
| El-Husseiny et al., 2016 | | KK, Post-LASIK-Ektasie, PMD | | | Gruppe 1 (Intacs SK): 74, Gruppe 2 (Keraring): 10 | | | Eine KN |
| El-Raggal, 2011 | Prospektive Vergleichsstudie | KK (Grad 1: 11,1%, Grad 2: 77,8% %, Grad 3: 11,1%) | Kmax < 60 dpt, HHD > 450 μ m | Ja (Zunahme K-Werte > 1 dpt in zwölf Mo) | 9 | 27,9 \pm 4,8 | 40 | Ein Auge mit Abl., ein Auge mit Haze, keine Infektion oder Extr. |
| Gatzioufas et al., 2018 | Retrospektive, interventionelle Kohortenstudie | KK (Grad 2: 72,7%, Grad 3: 27,3%) | HHD > 400 μ m in der ISZ | Nein | 11 (11) | 48,5 \pm 8,4 | 90,9 | Keine |
| Gatzioufas et al., 2018 | Retrospektive, interventionelle Kohortenstudie | KK (Grad 2: 36,8, Grad 3: 63,2%) | HHD > 400 μ m in der ISZ | Nein (Stabiler Keratokonus über min. zwölf Mo ohne vorheriges CXL) | 19 (19) | 38,3 \pm 6,4 | 36,8 | |
| Guber et al., 2019 | Retrospektive, interventionelle Kohortenstudie | KK (Grad 2: 40%, Grad 3: 60%) | HHD > 400 μ m | Nein | 10 (10) | 34,1 \pm 7,8 | 80 | Keine |
| Haddad et al., 2012 | Retrospektive, vergleichende Fallserie | Milder bis schwerer KK | | | Gruppe 1 (Intacs SK): 66, Gruppe 2 (Keraring): 107 | Gruppe 1: 29,3 \pm 10,1, Gruppe 2: 29 \pm 11 | Gruppe 1 53, Gruppe 2: 43 | Zwei Augen mit zu tiefer Implantation, Riss in drei Augen -> Ex., Augen mit rezidivierender epithelialer Erosion |

| | | | | | | | | |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Heikal et al., 2016 | Retrospektive, interventionelle, konsekutive Studie | KK (Grad 2: 63,3%, Grad 3: 36,7%) | HHD > 500 µm in der ISZ, Km zwischen 42 und 65 dpt | | 30 (20) | 27,4±3,6 | 45 | Keine |
| Kapitánová & Nikel, 2018 | Retrospektiv | KK (Grad 2: 31,3%, Grad 3: 56,3%), PMD | | | 48 (32) | Alter zwischen 21 und 73 | 71,9 | Neun Extr. |
| Kubaloglu et al., 2010 | | KK (Gruppe 1 (Keraring): Grad 1: 28%, Grad 2: 43%, Grad 3: 16%, Grad 4: 13%, Gruppe 2: (Intacs): Grad 1: 30,8%, Grad 2: 39,7%, Grad 3: 11,7%, Grad 4: 17,6%) | | | Gruppe 1: 100 (77) präoperativ (nach sechs Mo mech.: 76, FS Laser: 24, nach zwölf Mo mech.: 56, FS Laser: 15), Gruppe 2: 68 (42) (nach sechs Mo mech.: 40, FS Laser: 28, nach zwölf Mo mech.: 29, FS Laser: 15) | Keraring: 26,4±9,4, Intacs: 25,5±6,7 | Keraring: 53,3, Intacs: 50 | Gruppe 1: mech. -> eine anteriore Perforation, eine Extr., zwei DZ, eine SDE, FS Laser -> zwei DZ, Gruppe 2: mech. -> drei Extr., zwei DZ, FS Laser -> eine Extr., zwei DZ |
| Kubaloglu et al., 2010 | Prospektive, randomisierte Studie | KK (Gruppe 1 (mech.): Grad 1: 14%, Grad 2: 36%, Grad 3: 32%, Grad 4: 18%, Gruppe 2 (FS Laser): Grad 1: 16%, Grad 2: 32%, Grad 3: 38%, Grad 4: 14%) | Kmax > 65 dpt, HHD ≥ 400 µm in der ISZ | | Gruppe 1 (mech.): 50 (46), Gruppe 2 (FS Laser): 50 (44) | Gruppe 1: 26,6±7,1, Gruppe 2: 27,6±7,4 | Gruppe 1 43,5, Gruppe 2 50 | Gruppe 1: 2% Perforation in die Vorderkammer, 2 % SDE, 2% Extr., 44% Epitheldefekte, 34% Abl., Gruppe 2: 2% RSM, 14% Epitheldefekte, 38% Abl. |

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------|--|--------------------------------------------------|-----------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kubaloglu et al., 2010 | Retrospektive, konsekutive Fallserie | PMD | HHD von > 400 µm in der ISZ | | 16 (10) | 43,8±9,3 | 40 | Zwei Augen mit Abl., zwölf Mo p.op., keine weiteren |
| Muftuoglu et al., 2018 | Retrospektiv | KK | | | 89 (59) | 28,7±8,1 | 58 | Fälle mit Komplikationen wurden ausgeschlossen |
| Ozertürk et al., 2012 | Retrospektive, vergleichende, interventionelle Studie | KK (Grad 3 und 4) | Kmax < 65 dpt, HHD > 400 µm in der ISZ | | 30 (30) | 26,8±4,9 | | keine intraoperativen, 27,9% Epitheliale Defekte, 63,3 % weiße Abl., eine Extr. |
| Peña-García et al., 2012 | Retrospektive und prospektive, konsekutive, nicht-randomisierte, multizentrische Studie | KK (Grad 1 bis 4) | | | 58 (50) | 30,2±10,2 | 58,6 | |
| Peris-Martínez et al., 2020 | Retrospektiv, longitudinal | Post-LASIK-Ektasie | | | 26 (22) | 39,3±7,6 | 36,4 | Lamelläre Keratoplastik nach sieben Monaten bei einem Pat. aufgrund von Progression der Ektasie |
| Peris-Martínez et al., 2019 | Prospektiv. Longitudinal | KK (Grad 2: 27,5%, Grad 3: 55%), 10% PMD), Post-LASIK-Ektasie | | | 40 (29) | 33,2±8,6 | 69 | |
| Piñero et al., 2012 | Retrospektiv | KK (Grad 1: 40%, Grad 2: 28,9%, Grad 3: 11,1%, Grad 4: 9%) | | | 45 (35) | 29,5±9,1 | 58,3 | Drei Ex. aufgrund von Visusverschlechterung, eine DZ |
| Piñero et al., 2010 | Retrospektiv | KK (Grad 1: 62,2%, Grad 2: 37,8%), PMD, Post-LASIK-Ektasie | | | Gruppe 1 (Intacs): 17 Gruppe 2 (Keraring): 20 | 31,6±9,4 | 67,9 | Drei Ex. in Gruppe 2 (eine aufgrund bakteriellen K, zwei wegen eines schlechten postoperativen Visus) |
| Piñero et al., 2010 | Retrospektiv | KK (Grad 1: 42,9%, Grad 2: | | | 35 (30) | 34±12,8 | 50 | Keine intraoperativen |

| | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------|---------------------------------------|------|-----------------------|
| | | 42,9%, Grad 3: 5,7%, Grad 4: 8,6%) | | | | | | |
| Piñero et al., 2010 | Retrospektiv | KK | | | 72 (57) | 32,9±11,2 | 59,6 | Keine intraoperativen |
| Sedaghat et al., 2019 | Prospektiv | KK | HHD von ≥ 450 µm in der ISZ, HHD von ≥ 350 µm an der dünnsten Stelle | | 50 (50) | 29,1±8,5 | | k.A. |
| Sögütlü et al., 2012 | Retrospektive, nicht-randomisierte, interventionelle Fallserie | KK | HHD ≥ 400 µm in der ISZ | | Gruppe 1 (mech.) 168 Gruppe 2 (FS Laser): 55 | Mech.: 24,2±5,4, FS Laser 24,6±5,7 | 44,6 | |
| Utine et al., 2018 | Retrospektiv | KK | | | 42 (32) | 28,5±9,74 | | |

Tabelle 5: Eingeschlossene Studien mit FS Laser-assistierter Keraring-Implantation

Abkürzungen: Abl.= Ablagerungen, CCT = Central corneal thickness, DZ = Dezentrierung, dpt = Dioptrien, Ex.= Explantationen, Extr. = Extrusion, HHD = Hornhautdicke, ISZ = Implantationszone, K = Keratitis, KE = Korneale Einschmelzung, KK = Keratokonus, Km = mittlerer Keratometriewert, Kmax = maximaler Keratometriewert, KN = Korneale Neovaskularisationen, Mo = Monate, PMD = Pelluzide marginale Degeneration, RSM = Ringsegmentmigration, SDE = Superfizielle Deplatziierung

5.2.4 Keraring-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation

| Autor | Studienart | Erkrankung (KK mit präoperativer Einteilung nach Amsler-Krumeich) | Einschluss- und Ausschlusskriterien (Kmax-Wert, Hornhautdicke) | Präoperative Progression (Kriterium der Progression) | Anzahl Augen (Anzahl Patienten) | Durchschnittliches Alter in Jahren | Anteil Männer in % | Komplikationen intra- und postoperativ |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| de Freitas Santos Paranhos et al., 2010 | Prospektiv | KK | Kmax \leq 70 dpt, | | 69 (42) | 24,9 \pm 5 | 45,2 | Zwei DZ, eine K -> Ex., vier Augen Extr., zwei Augen RSM |
| El Awady et al., 2012 | Prospektiv | Milder bis moderater KK | HHD $>$ 400 μ m | | 21 (13) | 21,4 \pm 4,5 | 61,5 | |
| Elsaftawy et al., 2015 | Prospektive, randomisierte, vergleichende Fallserie | KK (Grad 2 und 3) | Kmax $<$ 60 dpt | Ja | 20 | ICRS: 28 \pm 4,8 | | Eine Extr. |
| Gatzioufas et al., 2018 | Retrospektive, interventionelle Kohortenstudie | KK (Grad 2: 36,84, Grad 3: 63,16%) | HHD $>$ 400 μ m in der ISZ | Nein (Stabiler Keratokonus über min. zwölf Mo ohne vorheriges CXL) | 19 (19) | 38,3 \pm 6,4 | 36,8 | |
| Gharaibeh et al., 2012 | Retrospektive Fallserie | KK | | | 55 (43) | 26,7 \pm 6,2 | 38,2 | Eine spontane Extr., zwei SDE, zwei K |
| Jadidi et al., 2015 | Prospektive, konsekutive, interventionelle Studie | KK | HHD \geq 360 μ m, Km $>$ 45 und $<$ 52 dpt | | 15 (15) | 28,9 \pm 6,9 | 80,0 | Keine |
| Kubaloglu et al., 2010 | | KK (Gruppe 1 (Keraring): Grad 1: 28%, Grad 2: 43%, Grad 3: 16%, Grad 4: 13%, Gruppe 2: (Intacs): Grad 1: | | | Gruppe 1: 100 (77) präoperativ (nach sechs Mo mech.: 76, FS Laser: 24, nach zwölf Mo mech.: 56, FS Laser: | Keraring: 26,4 \pm 9,4, Intacs: 25,5 \pm 7 | Keraring: 53,3, Intacs: 50 | Gruppe 1: mech. -> eine anteriore Perforation, eine Extr., zwei DZ, eine SDE, FS Laser -> zwei DZ, Gruppe 2: mech. -> drei Extr., |

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | 30,8%, Grad 2: 39,7%, Grad 3: 11,7%, Grad 4: 17,6%) | | | 15), Gruppe 2: 68 (42) (nach sechs Mo mech.: 40, FS Laser: 28, nach zwölf Mo mech.:29, FS Laser: 15) | | | zwei DZ, FS Laser - > eine Extr., zwei DZ |
| Kubaloglu et al., 2010 | Prospektive, randomisierte Studie | KK (Gruppe 1 (mech.): Grad 1: 14%, Grad 2: 36%, Grad 3: 32%, Grad 4: 18%, Gruppe 2 (FS Laser): Grad 1: 16%, Grad 2: 32%, Grad 3: 38%, Grad 4: 14%) | Kmax > 65 dpt, HHD ≥ 400 µm in der ISZ | | Gruppe 1 (mech.): 50 (46), Gruppe 2 (FS Laser): 50 (44) | Gruppe 1: 26,6±7,1, Gruppe 2: 27,6±7,4 | Gruppe 1 43,5, Gruppe 2 50 | Gruppe 1: 2% Perforation in die Vorderkammer, 2 % SDE, 2% Extr., 44% Epitheldefekte, 34% Abl., Gruppe 2: 2% RSM, 14% Epitheldefekte, 38% Abl. |
| Peña- García et al., 2014 | Multizentrische, retrospektive, konsekutive, nicht- randomisierte Fallserie | KK (Grad 1: 61,4% Grad 2: 32,3%, Grad 3: 4%, Grad 4: 2,3%) | | | Gruppe 1 (bessere klinische Ergebnisse): 26, Gruppe 2 (schlechtere Ergebnisse): 41 | 31,1±5 | 50 | Wurden ausgeschlossen |
| Puell et al., 2016 | Prospektiv | KK (Grad 1: 6 Augen, Grad 2: 11 Augen, Grad 3: 10 Augen) | Kmax < 65 D, CCT > 300 µm, HHD > 400 µm in der ISZ | | 27 (27) | 28,6±6,7 | 66,7 | Wurden ausgeschlossen |
| Sögütlü et al., 2012 | Retrospektive, nicht- randomisierte, interventionelle Fallserie | KK | HHD ≥ 400 µm in der ISZ | | Gruppe 1 (mech.) 168 Gruppe 2 (FS Laser): 55 | Mech.: 24,2±5,4, FS Laser 24,6±5,7 | 44,6 | |
| Tunc et al., 2013 | Prospektive, nicht- vergleichende Studie | KK (Grad 1: 26,6%, Grad 2: 56,8%, Grad 3: 26,6%) | HHD ≥ 400 µm in der ISZ | | 30 (17) | 29,2±8,4 | 58,8 | Keine |

| | | | | | | | | |
|-------------------|-----------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--|---------|----------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tunc et al., 2011 | Prospektive, nicht-vergleichende Studie | Post-LASIK-Ektasie | HHD \geq 400 μ m in der ISZ | | 12 (10) | 25,9 \pm 5,9 | 40 | Hyposphagma bedingt durch die intraoperative Fixierung mit spontaner Remission, keine weiteren |
|-------------------|-----------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|--|---------|----------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tabelle 6: Eingeschlossene Studien mit Keraring-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation

Abkürzungen: Abl.= Ablagerungen, CCT = Central corneal thickness, DZ = Dezentrierung, dpt = Dioptrien, Ex.= Explantationen, Extr. = Extrusion, HHD = Hornhautdicke, ISZ = Implantationszone, K = Keratitis, KE = Korneale Einschmelzung, KK = Keratokonus, Km = mittlerer Keratometriewert, Kmax = maximaler Keratometriewert, KN = Korneale Neovaskularisationen, Mo = Monate, PMD = Pelluzide marginale Degeneration, RSM = Ringsegmentmigration, SDE = Superfizielle Deplatziierung

5.2.5 Femtosekundenlaser-assistierte MyoRing-Implantation

| Autor | Studienart | Erkrankung (KK mit präoperativer Einteilung nach Amsler-Krumeich) | Einschluss- und Ausschlusskriterien (Kmax-Wert, Hornhautdicke) | Präoperative Progression (Kriterium der Progression) | Anzahl Augen (Anzahl Patienten) | Durchschnittliches Alter in Jahren | Anteil Männer in % | Komplikationen intra- und postoperativ |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alio et al., 2011 | Retrospektive, konsekutive, nicht-randomisierte Fallserie | KK (Grad 1: 9,1%, Grad 2: 45,5%, Grad 4: 45,5%), Post-LASIK-Ektasie | CCT > 350 µm | | 12 (11) | 34,8±10,2 | 63,6 | Haze in vielen Fällen, eine Ex. mit nachfolgender PKP wegen schlechtem Visus |
| Al-Tuwairqi et al., 2017 | Prospektive, doppelverblindete, randomisierte, interventionelle Studie | KK (Milder KK: 43,2%, Moderater KK: 44,4%, Fortgeschrittener KK: 11,4%) | CCT > 400 µm, Kmax zwischen 42 und 65 dpt | | Gruppe 1 (Keraring): 26, Gruppe 2 (Myoring): 18 | 28,5±6,1 | 63,2 | Gruppe 1: eine DZ, eine RSM -> Ex., eine K, Gruppe 2: eine Progression des KK p.op. -> CXL |
| Jabbarvand et al., 2014 | Prospektive, interventionelle Fallserie | Post-LASIK-Ektasie | HHD ≥ 360 µm | Ja | 15 (14) | 31,8±4,5 | 42,9 | Milder Haze |
| Jabbarvand et al., 2015 | Prospektive, interventionelle Fallserie | PMD | | | 33 (33) | 29 | 54 | Haze bei 67% der Augen, Glare bei 3% |
| Jabbarvand et al., 2014 | Prospektive, interventionelle, randomisierte, kontrollierte Studie | KK | Km > 48 dpt und < 52 dpt, CCT > 380 µm | | Gruppe 1 (250 µm): 21 (21) Gruppe 2 (350 µm): 21 (21) | Gruppe 1: 27, Gruppe 2: 25 | | Fremdkörpergefühl, Glare |
| Jabbarvand et al., 2013 | Prospektive, nicht-randomisierte, konsekutive Fallserie | KK (Grad 1: 15,3%, Grad 2: 37,7%, Grad 3: 24,5%, Grad 4: 22,4%) | CCT ≥ 360 µm, HHD ≥ 400 µm in der ISZ | | 98 (98) | 30,7±9 | 43,9 | Eine Ex. aufgrund von unzufriedenstellendem Visus |
| Khorrami-Nejad et al., 2019 | Querschnittsstudie | KK (Grad 2 und 3) | | | 32 (28) | 26,8±6,5 | 40,6 | |

| | | | | | | | | |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Mohebbi et al., 2016 | Prospektive, nicht-randomisierte, interventionelle Studie | KK (Grad 1 bis 3) | Kmax < 55 dpt, CCT ≥ 400 µm | | 47 (46) | 26,1±6,2 | 55,3 | 55,3% Halos, 51,1%, 17% Haze |
| Nasrollahi et al., 2015 | Prospektive, nicht-randomisierte Studie | KK | CCT > 350 µm | | 27 (15) | 28,4±8,3 | 60 | Häufig milder Glare |
| Sammour et al., 2017 | Vergleichsstudie | KK | HHD ≥ 390 µm, Kmax 48 bis 60 dpt | | Gruppe 1 (MyoRing): 20 (12) Gruppe 2 (Ferrara Ring): 20 (13) | Gruppe 1: 27,8±5,5, Grupp 2: 24,6±5,6 | Gruppe 1: 41,7, Gruppe 2: 53,9 | Gruppe 1: 20% Abl., Gruppe 2: 35% Abl. |
| Sedaghat et al., 2020 | Retrospektiv | KK | HHD ≥ 350 µm | | 17 (17) | 27±5,2 | | |
| Yousif et al., 2018 | Prospektive Fallserie | Moderater bis schwerer KK | Kmax < 65 dpt, HHD ≥ 400 µm in der ISZ | Ja (in den letzten zwölf Mo in Form einer Veränderung von Kmax ≥ 1 dpt) | Gruppe 1 (160°): 36 (28), Gruppe 2 (320°): 23 (23), Gruppe 3 (Taschenpräparation): 14 (12) | 28,7 | 57 | Ein Auge mit Verlust des zur Fixierung benötigten Unterdrucks in Gruppe 3 |
| Yousif & Said, 2018 | Prospektive, nicht-vergleichende, interventionelle Fallserie | Moderater bis fortgeschrittener KK | Kmax < 65 dpt, HHD > 400 µm | Ja (Zunahme Ks > 1 dpt) | 30 (30) | Median: 25 | 26,7 | Keine |

Tabelle 7: Eingeschlossene Studien mit FS Laser-assistierter MyoRing-Implantation

Abkürzungen: Abl.= Ablagerungen, CCT = Central corneal thickness, DZ = Dezentrierung, dpt = Dioptrien, Ex.= Explantationen, Extr. = Extrusion, HHD = Hornhautdicke, ISZ = Implantationszone, K = Keratitis, KE = Korneale Einschmelzung, KK = Keratokonus, Km = mittlerer Keratometriewert, Kmax = maximaler Keratometriewert, KN = Korneale Neovaskularisationen, Mo = Monate, PMD = Pelluzide marginale Degeneration, RSM = Ringsegmentmigration, SDE = Superfizielle Deplatziierung

5.2.6 MyoRing-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation

| Autor | Studienart | Erkrankung (KK mit präoperativer Einteilung nach Amsler-Krumeich) | Einschluss- und Ausschlusskriterien (Kmax-Wert, Hornhautdicke) | Präoperative Progression (Kriterium der Progression) | Anzahl Augen (Anzahl Patienten) | Durchschnittliches Alter in Jahren | Anteil Männer in % | Komplikationen intra- und postoperativ |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bikbova et al., 2018 | Retrospektive Kohortenstudie | KK (Grad 2 bis 3) | HHD \geq 380 μ m | Ja (Ks-Zunahme \geq 1 dpt, Zunahme des manifesten Astigmatismus \geq 1 dpt oder SE-Zunahme \geq 0,5 dpt innerhalb von zwölf Mo) | 41 | 27,1 \pm 2 | 70 | Keine intraoperativen Komplikationen, ICRS-Gruppe: 12,1% Glare und Probleme beim Nachtsehen |
| Daxer et al., 2010 | | KK | HHD \geq 350 μ m, K-Wert > 42 dpt, | | 15 (11) | 35 \pm 12 | 72,7 | Zwei DZ mit nachfolgender Reposition, 14,2% erhielten zusätzlich ein CXL |
| Jabbarvand 2013 | Prospektive, interventionelle, nicht-randomisierte Fallserie | KK (Grad 2: 56 Augen, Grad 3: 18 Augen, Grad 4: 21 Augen) | CCT \geq 400 μ m in der ISZ | | 95 (95) | 27,1 \pm 4,8 | 70,5 | Vier Ex., keine intraoperativen Komplikationen |
| Jadidi et al., 2016 | | KK | HHD \geq 360 μ m, Km 45 bis 52 dpt | | 32 (32) | 29,6 \pm 6,7 | 43,8 | Keine intraoperativen, keine Angabe zu postoperativen |
| Khosravi et al., 2017 | Retrospektive Beobachtungsstudie | KK | HHD \geq 360 μ m | | 34 (28) | 29,4 \pm 7 | 54 | |
| Nobari et al., 2014 | Retrospektive Kohortenstudie | KK (Grad 2: 74,1%, Grad 3: 25,9%) | | | 54 (50) | 28,5 \pm 6,3 | 54 | Keine |

Tabelle 8: Eingeschlossene Studien mit MyoRing-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation

Abkürzungen: Abl.= Ablagerungen, CCT = Central corneal thickness, DZ = Dezentrierung, dpt = Dioptrien, Ex.= Explantationen, Extr. = Extrusion, HHD = Hornhautdicke, ISZ = Implantationszone, K = Keratitis, KE = Korneale Einschmelzung, KK = Keratokonus, Km = mittlerer Keratometriewert, Kmax = maximaler Keratometriewert, KN = Korneale Neovaskularisationen, Mo = Monate, PMD = Pelluzide marginale Degeneration, RSM = Ringsegmentmigration, SDE = Superfizielle Deplatziierung

5.2.7 Femtosekundenlaser-assistierte Ferrara Ring-Implantation

| Autor | Studienart | Erkrankung (KK mit präoperativer Einteilung nach Amsler-Krumeich) | Einschluss- und Ausschlusskriterien (Kmax-Wert, Hornhautdicke) | Präoperative Progression (Kriterium der Progression) | Anzahl Augen (Anzahl Patienten) | Durchschnittliches Alter in Jahren | Anteil Männer in % | Komplikationen intra- und postoperativ |
|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cakir et al., 2014 | Retrospektive Vergleichsstudie | KK (Grad 1 bis 3) | HHD $\geq 350 \mu\text{m}$ | Ja (Kmax-Zunahme ≥ 1 dpt und Zunahme des Zylinders um ≥ 1 dpt) | 69 | 24,7 \pm 7,6 | 50 | Drei Extr. aufgrund von KE -> drei Ex. |
| Fernández-Vega Cueto et al., 2019 | | KK (Grad 1 und 2) | HHD $\geq 400 \mu\text{m}$ in der ISZ | | 20 (18) | | 44,4 | Keine |
| Fernández-Vega Cueto et al., 2016 | | Parazentraler KK (Grad 1 und 2) | HHD von $\geq 400 \mu\text{m}$ in der ISZ, HHD am Apex $\geq 400 \mu\text{m}$ | | 409 (302) | 37,1 \pm 12,2 | | Keine |
| Gauthier et al., 2016 | Retrospektiv | KK (Grad 1: 53,1%, Grad 2: 46,9%) | HHD $\geq 400 \mu\text{m}$ in der ISZ, Km < 62 dpt | Nein | 32 (29) | 38,3 \pm 11 | 55,2 | 4,8% der Pat. Mit Ex. nach zwölf Mo aufgrund von Photophobie, 2,3% Extr. aufgrund von Reibung, 2,3% Riss des ICRS |
| Kaya et al., 2011 | Retrospektive Vergleichsstudie | KK (Gruppe 1 (Intacs): Grad 2: 56,2%, Grad 3: 43,8%, Gruppe 2 (Ferrara Ring): Grad 2: 64,7%, Grad 3: 35,3%) | | | Gruppe 1: 16 (11): Gruppe 2: 17 Augen (11) | Gruppe 1: 23 \pm 2,7, Gruppe 2: 24,2 \pm 3,9 | Gruppe 1 36,3, Gruppe 2: 63,6 | Eine KN, sonst keine intra- oder postoperativen |
| Lisa et al., 2017 | | KK (Grad 1 und 2) | HHD $\geq 400 \mu\text{m}$ in der ISZ, HHD Apex $\geq 400 \mu\text{m}$ Dicke, Km ≥ 48 dpt | | 43 (38) | 29,6 \pm 10,9 | 74 | Keine |

| | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Monteiro et al., 2019 | Multizentrische, prospektive Studie | Parazentraler KK (Grad 1 und 2) | HHD \geq 400 μ m in der ISZ, Kmax \leq 53 dpt, Kmin \geq 40 dpt | | Gruppe 1 (mech.): 110, Gruppe 2 (FS Laser): 84 | Gruppe 1: 31,8 \pm 11,6, Gruppe 2: 34,2 \pm 12 | | Gruppe 1: 2 Extr., 2 intraoperative Hornhautrupturen, eine Hornhautperforation wegen Augenreibens, eine DZ, fünf Re-Operationen wegen einer SDE, Gruppe 1: keine |
| Renesto et al., 2019 | Interventionelle, prospektive, nicht-vergleichende Studie | KK (Grad 1 bis 3) | HHD \geq 400 μ m, Hornhautkrümmung > 56 D | | 15 (15) | 30,8 \pm 5,4 | | Eine RSM mit nachfolgender Ex. |
| Sammour et al., 2017 | Vergleichsstudie | KK | HHD \geq 390 μ m, Kmax 48 bis 60 dpt | | Gruppe 1 (MyoRing): 20 (12) Gruppe 2 (Ferrara Ring): 20 (13) | Gruppe 1: 27,8 \pm 5,5, Gruppe 2: 24,6 \pm 5,6 | Gruppe 1: 41,7, Gruppe 2: 53,9 | Gruppe 1: 20% Abl., Gruppe 2: 35% Abl. |

Tabelle 9: Eingeschlossene Studien mit FS Laser-assistierter Ferrara Ring-Implantation

Abkürzungen: Abl.= Ablagerungen, CCT = Central corneal thickness, DZ = Dezentrierung, dpt = Dioptrien, Ex.= Explantationen, Extr. = Extrusion, HHD = Hornhautdicke, ISZ = Implantationszone, K = Keratitis, KE = Korneale Einschmelzung, KK = Keratokonus, Km = mittlerer Keratometriewert, Kmax = maximaler Keratometriewert, KN = Korneale Neovaskularisationen, Mo = Monate, PMD = Pelluzide marginale Degeneration, RSM = Ringsegmentmigration, SDE = Superfizielle Deplatziierung

5.2.8 Ferrara Ring-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation

| Autor | Studienart | Erkrankung (KK mit präoperativer Einteilung nach Amsler-Krumeich) | Einschluss- und Ausschlusskriterien (Kmax-Wert, Hornhautdicke) | Präoperative Progression (Kriterium der Progression) | Anzahl Augen (Anzahl Patienten) | Durchschnittliches Alter in Jahren | Anteil Männer in % | Komplikationen intra- und postoperativ |
|-----------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ancèle et al., 2011 | Prospektiv, nicht-vergleichend | KK (Grad 2: 34%, Grad 4: 38%) | HHD \geq 400 μ m in der ISZ, Ks < 75 dpt | | 25 (25) | 33,6 \pm 9,4 | | 18% Photophobie (zuvor waren 42,1% photophob), 35% Halos nach sechs Monaten, 18% Diplopie nach sechs Mo, 4% Ex. aufgrund von fehlender Visusverbesserung, 4% Ex. aufgrund K |
| Hamdi et al., 2011 | Prospektive nicht-vergleichende interventionelle Studie | KK (Grad \geq 2) | Ks \leq 70 dpt, HHD \geq 400 μ m in der ISZ | | 100 (76) | 25,7 \pm 6,5 | 88,2 | 3% Perforation der Vorderkammer intraoperativ, 3% Perforation postoperativ, 3% Ex., 2% K, 1% Riss des ICRS, 1% subjektiv nicht-zufriedenstellender Visus |
| Lisa et al., 2018 | Retrospektiv, longitudinal | KK (Grad 1 bis 3) und Glaukom | HHD > 400 μ m in der ISZ | | 17 (11) | 59 \pm 12,8 | | |
| Liu et al., 2015 | Monozentrisch, retrospektiv | KK | HHD > 450 μ m in der ISZ, HHD > 400 μ m | Gruppe mit Progression wurde mit CXL behandelt | 25 | 38,9 \pm 10,8 | 48 | Acht Ex. wegen fünf Extr., zwei KE und eine K |
| Monteiro et al., 2019 | Multizentrische, prospektive Studie | Parazentraler KK (Grad 1 und 2) | HHD \geq 400 μ m in der ISZ, Kmax \leq 53 dpt, Kmin \geq 40 dpt | | Gruppe 1 (mech.): 110, Gruppe 2 (FS Laser): 84 | Gruppe 1: 31,8 \pm 11,6, Gruppe 2: 34,2 \pm 12 | | Gruppe 1: zwei Extr., zwei intraoperative Hornhautrupturen, eine Hornhautperforation wegen Augenreibens, eine DZ, fünf Re-Operationen wegen einer SDE, Gruppe 1: keine |

| | | | | | | | | |
|------------------------|--------------|-------------------------|------------------------------------------------|--|---------|--|--|-------|
| Torquetti et al., 2009 | Retrospektiv | Fortgeschrittener KK | ≤ 62 dpt, HHD ≥ 200 μm | | 35 (28) | | | Keine |
|------------------------|--------------|-------------------------|------------------------------------------------|--|---------|--|--|-------|

Tabelle 10: Eingeschlossene Studien mit Ferrara Ring-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation

Abkürzungen: Abl.= Ablagerungen, CCT = Central corneal thickness, DZ = Dezentrierung, dpt = Dioptrien, Ex.= Explantationen, Extr. = Extrusion, HHD = Hornhautdicke, ISZ = Implantationszone, K = Keratitis, KE = Korneale Einschmelzung, KK = Keratokonus, Km = mittlerer Keratometriewert, Kmax = maximaler Keratometriewert, KN = Korneale Neovaskularisationen, Mo = Monate, PMD = Pelluzide marginale Degeneration, RSM = Ringsegmentmigration, SDE = Superfizielle Deplatziierung

5.3 Veränderungen des Visus

5.3.1 Veränderungen des Visus cum correctione

5.3.1.1 Intacs/Intacs SK

In Tabelle 11 sind die Veränderungen des Visus c.c. drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation der Intacs/Intacs SK aufgeführt.

Drei Monate post operationem (p.op.) hat sich der Visus c.c. in der Gruppe des FS Lasers um 0,22 LogMAR (95% CI: 0,07 bis 0,37, $p = 0,004$, $n = 9$) und nach mechanischer Dissektion um 0,10 LogMAR (95% CI: 0,04 bis 0,015, $p < 0,001$, $n = 8$) signifikant verbessert. In der FS Laser Gruppe liegt eine hohe Heterogenität vor ($I^2 = 97,6\%$, $p \leq 0,001$), wohingegen die Heterogenität in der mechanischen Gruppe vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 0\%$, $p = 0,077$). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu dem Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups unter zehn liegt.

Bei dem Sechs-Monats-Follow-up hat sich der Visus c.c. in beiden Gruppen signifikant verbessert ($p < 0,001$). Die Verbesserung liegt in der FS Laser-Gruppe bei 0,17 LogMAR (95% CI: 0,13 bis 0,21, $n = 17$) und in der mechanischen Gruppe bei 0,13 LogMAR (95% CI: 0,07 bis 0,18, $n = 13$). Die Heterogenität beträgt in der FS Laser-Gruppe $I^2 = 76,5\%$ ($p \leq 0,001$) und in der mechanischen Gruppe $I^2 = 49,3\%$ ($p = 0,01$). Zum Ausschluss eines Publikationsbias wurden Funnel Plots erstellt und der Egger-Test durchgeführt. Sowohl der Egger-Test ($p = 0,13$, $p = 0,21$) als auch die symmetrischen Funnel Plots weisen auf keinen Publikationsbias hin (siehe Abbildung 10A und B).

Die Auswertung der Ergebnisse nach zwölf Monaten ergibt eine signifikante Verbesserung des Visus c.c. um 0,15 LogMAR (95% CI: 0,11 bis 0,19, $p < 0,001$, $n = 10$) in der FS Laser-Gruppe und um 0,18 LogMAR (95% CI: 0,12 bis 0,23, $p < 0,001$, $n = 8$) in der Gruppe mit mechanischer Tunnelpräparation. In der FS Laser Gruppe liegt eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 36,6\%$, $p = 0,16$), wohingegen die Heterogenität in der mechanischen Gruppe vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 0\%$, $p = 1$). Der Egger-Test ($p = 0,34$) und die Funnel Plots weisen auf keinen Publikationsbias hin (siehe Abbildung 10C).

| Intacs/Intacs SK | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|------------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 0,22 [0,07, 0,37] | < 0,001 | 97,6 | 0,10 [0,04, 0,15] | < 0,001 | 0 |
| Sechs Monate | 0,17 [0,13, 0,21] | < 0,001 | 76,5 | 0,13 [0,07, 0,18] | < 0,001 | 49,3 |
| Zwölf Monate | 0,15 [0,11, 0,19] | < 0,001 | 36,6 | 0,18 [0,12, 0,23] | < 0,001 | 0 |

Tabelle 11: Veränderung des Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

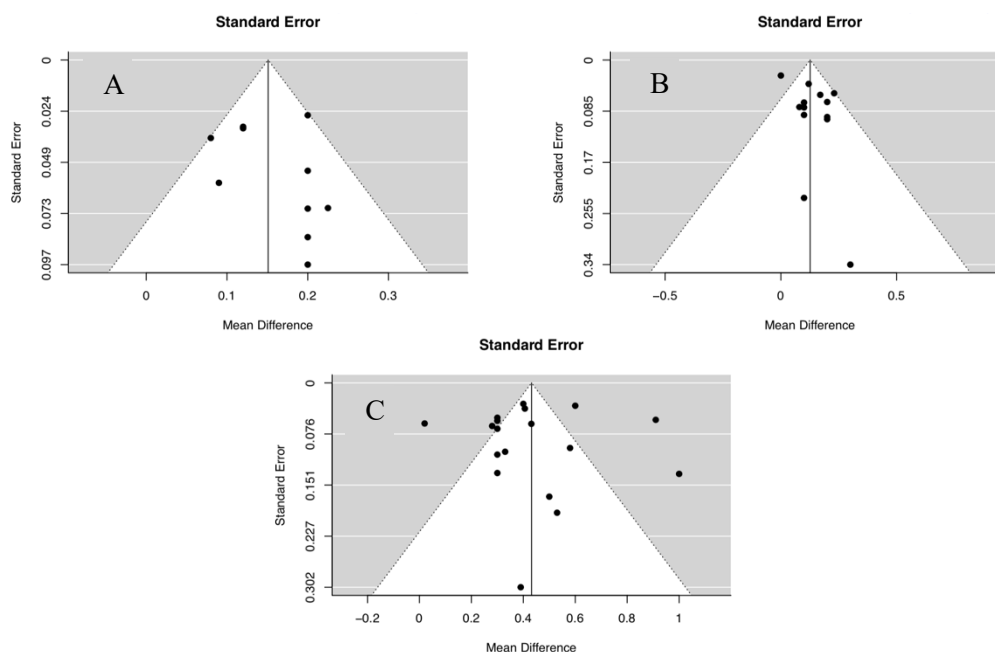


Abbildung 10: Funnel Plots der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler

- A: Visus cum correctione nach Intacs/ Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem
- B: Visus cum correctione nach Intacs/ Intacs SK-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem
- C: Visus cum correctione nach Intacs/ Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zwölf Monate post operationem

5.3.1.2 Keraring

In Tabelle 12 sind die Veränderungen des Visus c.c. drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Kerarings aufgeführt.

Sowohl in der FS Laser-Gruppe als auch in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation hat sich nach Implantation des Kerarings der Visus c.c. zu den drei Zeitpunkten des Follow-ups signifikant verbessert.

Nach drei, sechs und zwölf Monaten beträgt die Zunahme des Visus c.c. in der mechanischen Gruppe 0,24 (95% CI: 0,17 bis 0,31, $p < 0,001$, $n = 7$), 0,22 (95% CI: 0,15 bis 0,29, $p < 0,001$, $n = 11$) und 0,37 LogMAR (95% CI: 0,31 bis 0,42, $p < 0,001$, $n = 5$), wohingegen sie in der FS Laser-Gruppe 0,19 LogMAR (95% CI: 0,1 bis 0,29, $p < 0,001$, $n = 12$), 0,18 LogMAR (95% CI: 0,14 bis 0,22, $p < 0,001$, $n = 26$) und 0,21 LogMAR (95% CI: 0,14 bis 0,28, $p < 0,001$, $n = 9$) beträgt.

Zu den Zeitpunkten des Drei- und Sechs-Monats-Follow-ups ist die Heterogenität in beiden Gruppen mittel bis hoch (Drei-Monats-Follow-up: $I^2 = 93,7\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 70,2\%$, $p = 0,001$; Sechs-Monats-Follow-up: $I^2 = 86,7\%$, $p \leq 0,001$; $I^2 = 87,6\%$, $p < 0,001$). In der FS Laser-Gruppe liegt zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 72,4\%$, $p < 0,001$), wohin gegen die Heterogenität in der mechanischen Gruppe vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 21,1\%$, $p = 0,3$).

Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups weisen der Funnel Plot sowie das Ergebnis des Egger-Tests in der FS Laser-Gruppe auf keinen Publikationsbias hin ($p = 0,74$, siehe Abbildung 11A).

Der Funnel Plot sowie der Egger-Test weisen zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups nach Implantation des Kerarings mithilfe des FS Lasers auf einen Publikationsbias hin ($p = 0,01$, siehe Abbildung 11B), wohingegen in der Gruppe mit mechanischer Tunnelpräparation kein Publikationsbias vermutet werden kann ($p = 0,16$, siehe Abbildung 11C).

| Keraring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 0,19 [0,1, 0,29] | < 0,001 | 93,7 | 0,24 [0,17, 0,31] | < 0,001 | 70,2 |
| Sechs Monate | 0,18 [0,14, 0,22] | < 0,001 | 86,7 | 0,22 [0,15, 0,29] | < 0,001 | 87,6 |
| Zwölf Monate | 0,21 [0,14, 0,28] | < 0,001 | 72,4 | 0,37 [0,31, 0,42] | < 0,001 | 21,1 |

Tabelle 12: Veränderung des Visus cum correctione nach Keraring-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

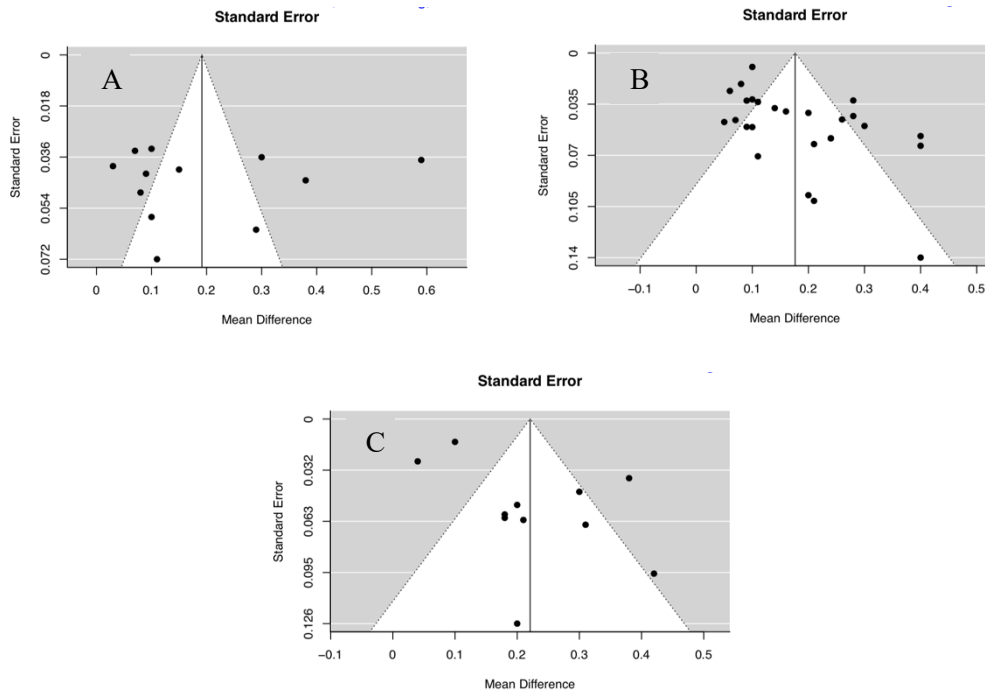


Abbildung 11: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler
 A: Visus cum correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers drei Monate post operationem
 B: Visus cum correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem
 C: Visus cum correctione nach Keraring-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem

5.3.1.3 MyoRing

In Tabelle 13 sind die Veränderungen des Visus c.c. drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des MyoRings aufgeführt.

Nach drei Monaten hat sich der Visus c.c. in der FS Laser-Gruppe um 0,15 dpt (95% CI: 0,06 bis 0,25, $p = 0,002$, $n = 8$) und in der mechanischen Gruppe um 0,25 dpt (95% CI: 0,017 bis 0,32, $p < 0,001$, $n = 3$) verbessert, in beiden Gruppen ist die Veränderung signifikant.

Nach sechs und zwölf Monaten hat sich der Visus c.c. signifikant um 0,21 (95% CI: 0,13 bis 0,3, $p < 0,001$, $n = 10$) und 0,21 dpt (95% CI: 0,13 bis 0,28, $p < 0,001$, $n = 6$) in der FS Laser-Gruppe und um 0,2 (95% CI: 0,15 bis 0,26, $p < 0,001$, $n = 9$) und 0,31 dpt (95% CI: 0,23 bis 0,4, $p < 0,001$, $n = 3$) in der mechanischen Gruppe verbessert.

Sowohl in der FS Laser-Gruppe als auch in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation liegt zu den Zeitpunkten der drei Follow-ups eine mittlere bis hohe Heterogenität (Drei-Monats-Follow-up: $I^2 = 87,4\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 68,4\%$, $p = 0,006$; Sechs-Monats-Follow-up: $I^2 = 82,2\%$, $p \leq 0,001$; $I^2 = 80,4\%$, $p < 0,001$; Zwölf-Monats-Follow-up: $I^2 = 74\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 83,7\%$, $p < 0,001$) vor.

Die Auswertung des Funnel Plots und des Egger-Tests weisen zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups in der FS Laser-Gruppe auf keinen Publikationsbias hin ($p = 0,57$; siehe Abbildung 12). Zu den anderen Zeitpunkten ist für beide Gruppen eine Auswertung der Funnel Plots oder die Durchführung des Egger-Tests nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien unter zehn liegt.

| MyoRing | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 0,15 [0,06, 0,25] | 0,002 | 87,4 | 0,25 [0,17, 0,32] | < 0,001 | 64,8 |
| Sechs Monate | 0,21 [0,13, 0,3] | < 0,001 | 82,2 | 0,2 [0,15, 0,26] | < 0,001 | 80,4 |
| Zwölf Monate | 0,21 [0,13, 0,28] | < 0,001 | 74 | 0,31 [0,23, 0,4] | < 0,001 | 83,7 |

Tabelle 13: Veränderung des Visus cum correctione nach MyoRing-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

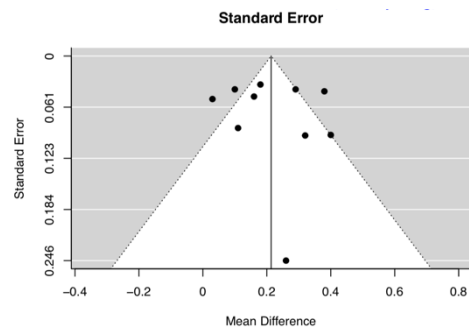


Abbildung 12: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des Visus cum correctione nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.3.1.4 Ferrara Ring

In Tabelle 14 sind die Veränderungen des Visus c.c. drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Ferrara Rings aufgeführt.

Nach drei Monaten hat sich der Visus c.c. in der FS Laser-Gruppen signifikant verbessert (0,19 LogMAR, 95% CI: 0,11 bis 0,27, $p = 0,015$, $n = 3$), wohingegen in der mechanischen Gruppe (95% CI: -0,1 bis -0,2, $p = 0,06$, $n = 4$) keine signifikante Zunahme zu beobachten ist. In beiden Gruppen liegt zu diesem Zeitpunkt eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 49,5\%$, $p = 0,005$; $I^2 = 68\%$, $p = 0,002$).

Sechs Monate nach Implantation des Ferrara Rings mithilfe des FS Lasers hat sich der Visus c.c. um 0,13 LogMAR (95% CI: 0,07 bis 0,2, $p < 0,001$, $n = 6$) verbessert. I^2 beträgt zu diesem Zeitpunkt 79,4% ($p < 0,001$). Es konnte nur eine Studie detektiert werden, die die Ergebnisse der Ferrara Ring-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation 6 Monate p.op. auswertet. Beim Zwölf-Monats-Follow-up zeigt sich eine Veränderung des Visus c.c. um 0,19 LogMAR (95% CI: 0,14 bis 0,23, $p < 0,001$, $n = 5$) in der FS Laser-Gruppe und um 0,17 LogMAR (95% CI: 0,08 bis 0,25, $p < 0,001$, $n = 2$) in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation. Zu diesem Zeitpunkt ist die Heterogenität in beiden Gruppen vernachlässigbar gering ($I^2 = 0\%$, $p = 0,29$; $I^2 = 0\%$, $p = 0,72$).

Eine Auswertung der Funnel Plots oder die Durchführung des Egger-Tests ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu den drei Zeitpunkten in beiden Gruppen unter zehn liegt.

| Ferrara Ring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|---------|-------------------|---------|---------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I^2 % | WMD [CI] | p-Wert | I^2 % |
| Drei Monate | 0,19 [0,11, 0,27] | < 0,001 | 49,5 | 0,1 [-0,01, 0,2] | 0,06 | 68 |
| Sechs Monate | 0,13 [0,07, 0,2] | < 0,001 | 79,4 | Nur eine Studie | | |
| Zwölf Monate | 0,19 [0,14, 0,23] | < 0,001 | 0 | 0,17 [0,08, 0,25] | < 0,001 | 0 |

Tabelle 14: Veränderung des Visus cum correctione nach Ferrara Ring-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

5.3.2 Veränderungen des Visus sine correctione

5.3.2.1 Intacs/Intacs SK

In Tabelle 15 sind die Veränderungen des Visus s.c. drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation der Intacs/Intacs SK aufgeführt.

Der Visus s.c. hat sich in beiden Gruppen nach drei, sechs und zwölf Monaten signifikant verbessert ($p < 0,001$).

Drei Monate nach Implantation der Intacs/Intacs SK hat sich der Visus s.c. in der FS Laser-Gruppe um 0,38 LogMAR (95% CI: 0,17 bis 0,59, $p < 0,001$, $n = 7$) und in der mechanischen Gruppe um 0,44 LogMAR (95% CI: 0,25 bis 0,62, $p < 0,001$, $n = 7$) verbessert. In beiden Gruppen liegt eine hohe Heterogenität (FS Laser: $I^2 = 95,3\%$, $p < 0,001$; mechanisch: $I^2 = 90,4\%$, $p < 0,001$) vor.

Beim Sechs-Monats-Follow-up liegt die Verbesserung des Visus s.c. nach Implantation der Intacs/Intacs SK mithilfe des FS Lasers bei 0,43 LogMAR (95% CI: 0,32 bis 0,54, $p < 0,001$, $n = 18$, $I^2 = 92,6\%$) und bei Verwendung der mechanischen Tunnelpräparation bei 0,36 LogMAR (95% CI: 0,24 bis 0,49, $p < 0,001$, $n = 14$, $I^2 = 87,1\%$). Die visuelle Inspektion der Funnel Plots sowie der Egger-Test lassen in beiden Gruppen ($p = 0,61$; $p = 0,96$; siehe Abbildung 13A und B) keinen Publikationsbias vermuten.

Zwölf Monate p.op. hat sich der Visus s.c. in der FS Laser-Gruppe um 0,36 LogMAR (95% CI: 0,26 bis 0,46, $p < 0,001$, $n = 10$) und in der mechanischen Gruppe um 0,59 LogMAR (95% CI: 0,4 bis 0,78, $p < 0,001$, $n = 8$) verbessert. Als problematisch anzusehen ist die vorliegende mittlere bis hohe Heterogenität in beiden Gruppen (FS Laser: $I^2 = 68,1\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 83,3\%$, $p < 0,001$). Die visuelle Inspektion des Funnel Plots und das Ergebnis des Egger-Tests zu den publizierten Studien der FS Laser-Gruppe lassen zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups auf einen Publikationsbias schließen ($p < 0,001$; siehe Abbildung 13C).

| Intacs/Intacs SK | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|------------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 0,38 [0,17, 0,59] | < 0,001 | 95,3 | 0,44 [0,25, 0,62] | < 0,001 | 90,4 |
| Sechs Monate | 0,43 [0,32, 0,54] | < 0,001 | 92,6 | 0,36 [0,24, 0,49] | < 0,001 | 87,1 |
| Zwölf Monate | 0,36 [0,26, 0,46] | < 0,001 | 68,1 | 0,59 [0,4, 0,78] | < 0,001 | 83,3 |

Tabelle 15: Veränderung des Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

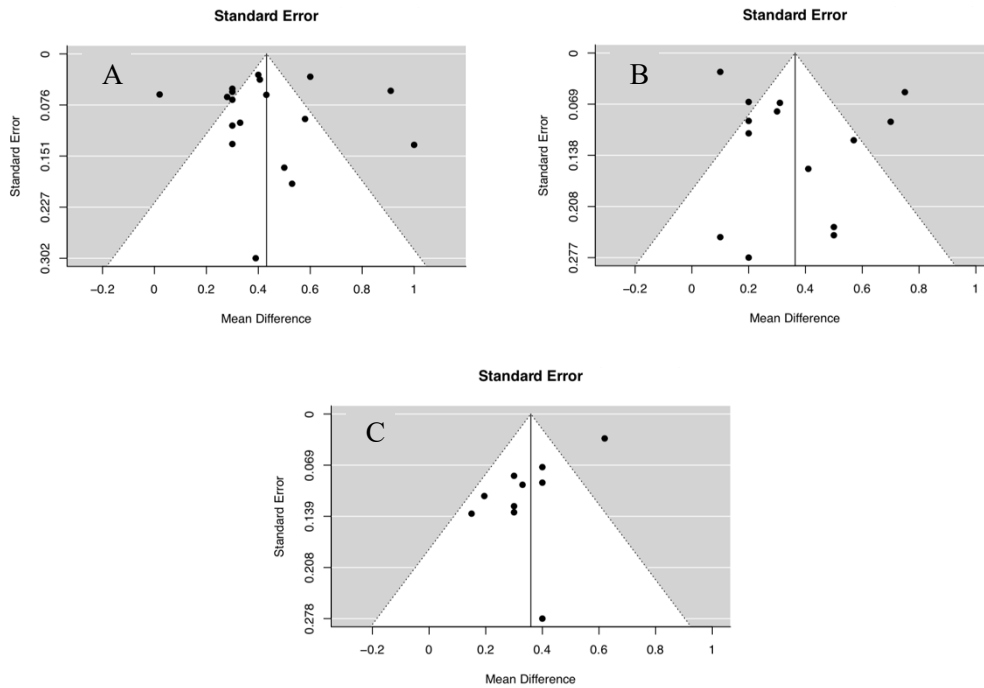


Abbildung 13: Funnel Plots der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler

- A: Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem
- B: Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem
- C: Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zwölf Monate post operationem

5.3.2.2 Keraring

In Tabelle 16 sind die Veränderungen des Visus s.c. drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Kerarings aufgeführt.

Der Visus s.c. hat sich in beiden Gruppen nach drei, sechs und zwölf Monaten signifikant verbessert ($p < 0,001$).

Beim Drei-Monats-Follow-up hat sich der Visus s.c. in der FS Laser-Gruppe um 0,45 LogMAR (95% CI: 0,31 bis 0,58), $p < 0,001$, $n = 11$, $I^2 = 89,9\%$) und in der mechanischen Gruppe um 0,6 LogMAR (95% CI: 0,46 bis 0,73, $p < 0,001$, $n = 6$, $I^2 = 66,7\%$) verbessert.

Durch die visuelle Auswertung des Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests zu den publizierten Daten zum FS Laser lässt sich auf keinen Publikationsbias schließen ($p = 0,72$; siehe Abbildung 14A).

Nach sechs Monaten liegt die Verbesserung des Visus s.c. nach Implantation des Kerarings mithilfe des FS Lasers bei 0,42 LogMAR (95% CI: 0,33 bis 0,5, $p < 0,001$, $n = 23$) und bei Verwendung der mechanischen Tunnelpräparation bei 0,52 LogMAR (95% CI: 0,41 bis 0,62, $p < 0,001$, $n = 10$). Die Heterogenität ist in der Gruppe des FS Lasers hoch ($I^2 = 91,9\%$, $p < 0,001$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation mittel zu bewerten ($I^2 = 69,6\%$, $p < 0,001$).

Die visuelle Inspektion sowie der Egger-Test lassen in beiden Gruppen ($p = 0,04$, $p = 0,05$; siehe Abbildung 14B und C) einen Publikationsbias vermuten.

Zwölf Monate p.op. hat sich der Visus s.c. in der FS Laser-Gruppe um 0,53 LogMAR (95% CI: 0,44 bis 0,62, $p < 0,001$, $n = 9$, $I^2 = 70,5\%$) und in der mechanischen Gruppe um 0,64 LogMAR (95% CI: 0,47 bis 0,81, $p < 0,001$, $n = 5$, $I^2 = 83,7\%$) verbessert.

| Keraring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 0,45 [0,31, 0,58] | < 0,001 | 89,9 | 0,6 [0,46, 0,73] | < 0,001 | 66,7 |
| Sechs Monate | 0,42 [0,33, 0,5] | < 0,001 | 91,9 | 0,52 [0,41, 0,62] | < 0,001 | 69,6 |
| Zwölf Monate | 0,53 [0,44, 0,62] | < 0,001 | 70,5 | 0,64 [0,47, 0,81] | < 0,001 | 83,7 |

Tabelle 16: Veränderung des Visus sine correctione nach Keraring-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

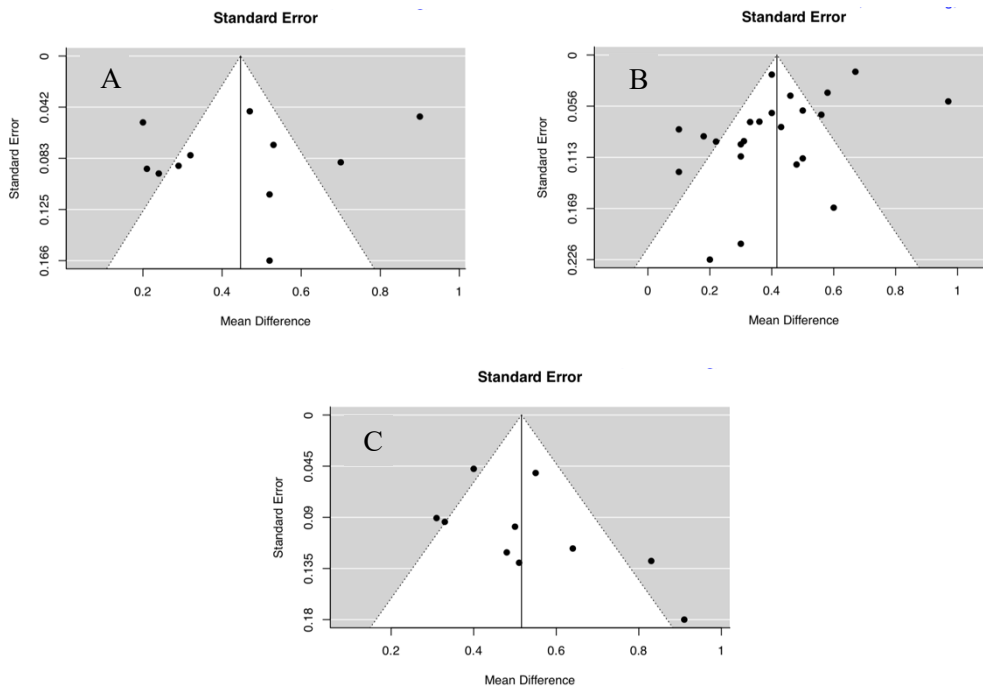


Abbildung 14: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler

- A: Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers drei Monate post operationem
- B: Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem
- C: Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem

5.3.2.3 MyoRing

In Tabelle 17 sind die Veränderungen des Visus s.c. drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des MyoRings aufgeführt.

Zu den drei Zeitpunkten des Follow-ups sind in beiden Gruppen die Veränderungen signifikant ($p < 0,001$).

Der Visus s.c. hat sich nach drei Monaten in der Gruppe der mechanischen Dissektion um 0,87 LogMAR (95% CI: 0,74 bis 0,99, $p < 0,001$, $n = 3$) und in der Gruppe der Laserdissektion um 0,58 LogMAR (95% CI: 0,51 bis 0,66, $p < 0,001$, $n = 8$) verbessert. In beiden Gruppen liegt eine geringe Heterogenität vor ($I^2 = 25,9\%$, $I^2 = 33,2\%$).

Beim Sechs-Monats-Follow-up hat sich der Visus s.c. in der FS Laser-Gruppe um 0,68 LogMAR (95% CI: 0,53 bis 0,82, $p < 0,001$, $n = 9$) und in der mechanischen Gruppe um 0,79 LogMAR (95% CI: 0,48 bis 1,1, $p < 0,001$, $n = 10$) verbessert. Die Heterogenität innerhalb der beiden Gruppen ist zum Zeitpunkt der Sechs-Monats-Untersuchung ($I^2 = 81,6\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 98,5\%$, $p < 0,001$) hoch. Die visuelle Inspektion und der Egger-Test ($p = 0,93$) der Daten der mechanischen Gruppe lassen keinen Publikationsbias vermuten (siehe Abbildung 15).

Nach zwölf Monaten hat sich der Visus s.c. nach Nutzung des FS Lasers um 0,58 LogMAR verbessert (95% CI: 0,52 bis 0,64, $p < 0,001$, $n = 6$), wohingegen in der mechanischen Gruppe eine Veränderung um 0,81 LogMAR (95% CI: 0,62 bis 1,01, $p < 0,001$, $n = 4$) vorliegt. In der mechanischen Gruppe liegt eine hohe Heterogenität vor ($I^2 = 95,4\%$, $p \leq 0,001$), wohin gegen die Heterogenität in der FS Laser-Gruppe vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 0\%$, $p = 0,35$). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu den Zeitpunkten des Drei- und Zwölf-Monats-Follow-ups unter zehn liegt.

| MyoRing | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 0,58 [0,51, 0,66] | < 0,001 | 33,2 | 0,87 [0,74, 0,99] | < 0,001 | 25,9 |
| Sechs Monate | 0,68 [0,53, 0,82] | < 0,001 | 81,6 | 0,79 [0,48, 1,1] | < 0,001 | 98,5 |
| Zwölf Monate | 0,58 [0,52, 0,64] | < 0,001 | 0 | 0,81 [0,62, 1,01] | < 0,001 | 95,4 |

Tabelle 17: Veränderung des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

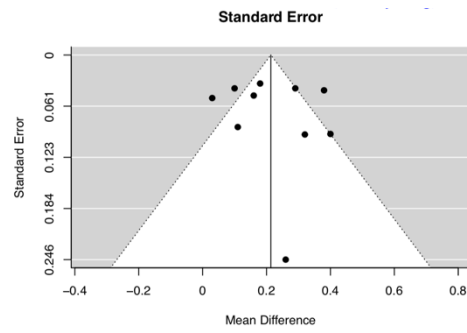


Abbildung 15: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.3.2.4 Ferrara Ring

In Tabelle 18 sind die Veränderungen des Visus s.c. drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Ferrara Rings aufgeführt.

Die statistische Auswertung der Daten zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups nach Implantation des Ferrara Rings ergibt in der FS Laser-Gruppe eine signifikante Verbesserung um 0,24 LogMAR (95% CI: 0,05 bis 0,44, $p = 0,015$, $n = 3$) und in der mechanischen Gruppe um 0,39 LogMAR (95% CI: 0,34 bis 0,45, $p < 0,001$, $n = 4$). In der FS Laser-Gruppe liegt eine hohe Heterogenität vor ($I^2 = 76,8\%$) $p = 0,01$), wohin gegen die Heterogenität in der mechanischen Gruppe vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 0\%$, $p = 0,81$).

Nach sechs Monaten hat sich der Visus s.c. in der FS Laser-Gruppe signifikant um 0,33 LogMAR (95% CI: 0,19 bis 0,47, $p < 0,001$, $n = 7$, $I^2 = 87,2\%$) verbessert. In der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation liegt nur eine Studie, die die Auswahlkriterien erfüllt, vor.

Die Auswertung der Publikationen mit Daten nach zwölf Monaten p.op. ergab bei Nutzung des FS Lasers eine signifikante Verbesserung des Visus s.c. um 0,34 LogMAR (95% CI: 0,15 bis 0,54, $p < 0,001$, $n = 5$) und bei mechanischer Dissektion um 0,37 LogMAR (95% CI: 0,23 bis 0,51, $p < 0,001$, $n = 3$). In der Gruppe des FS Lasers liegt eine hohe Heterogenität ($I^2 = 81,4\%$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation liegt eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 37\%$).

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu keinem Zeitpunkt des Follow-ups sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien unter zehn liegt.

| Ferrara Ring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|--------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 0,24 [0,05, 0,44] | 0,015 | 76,8 | 0,39 [0,34, 0,45], | < 0,001 | 0 |
| Sechs Monate | 0,33 [0,19, 0,47] | < 0,001 | 87,2 | Nur eine Studie | | |
| Zwölf Monate | 0,34 [0,15, 0,54] | < 0,001 | 81,4 | 0,37 [0,23, 0,51] | < 0,001 | 37 |

Tabelle 18: Veränderung des Visus sine correctione nach Ferrara Ring-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

5.4 Veränderungen der Refraktion

5.4.1 Veränderungen der Sphäre

5.4.1.1 Intacs/Intacs SK

In Tabelle 19 sind die Veränderungen der Sphäre drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation der Intacs/Intacs SK aufgeführt.

Die Sphäre hat sich zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups signifikant um 1,75 dpt (95% CI: -2,7 bis -0,81, n = 4, p < 0,001) in der FS Laser-Gruppe und um 2,78 dpt (95% CI: -4,08 bis -1,49, n = 4, p < 0,001) in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation verbessert. In beiden Gruppen kann die Heterogenität ($I^2 = 0\%$, p = 0,65; $I^2 = 0\%$, p = 0,9) als vernachlässigbar gering beurteilt werden.

Nach sechs Monaten liegt bei mittlerer Heterogenität eine signifikante Verbesserung um 2,26 dpt (95% CI: -2,9 bis -1,62, p < 0,001, n = 12, $I^2 = 69,6\%$) in der FS Laser-Gruppe vor. Die visuelle Evaluation des Funnel Plots und der Egger-Test lassen auf keinen Publikationsbias schließen (p = 0,55; siehe Abbildung 16). Die Verbesserung der Sphäre liegt in der mechanischen Gruppe beim Sechs-Monats-Follow-up bei 1,73 dpt (95% CI: -2,62 bis -0,84, p < 0,001, n = 8, $I^2 = 40,8\%$).

Zwölf Monate p.op. hat sich die Sphäre in der FS Laser-Gruppe um 2,36 dpt (95% CI: -2,69 bis -2,02, p = 0,07, n = 9, $I^2 = 0\%$) verbessert, dies jedoch nicht signifikant. In der mechanischen Gruppe ist hingegen eine signifikante Abnahme um 1,76 dpt (95% CI: -2,65 bis -0,87, p < 0,001, n = 4, $I^2 = 0\%$) zu verzeichnen. In beiden Gruppen kann die Heterogenität ($I^2 = 0\%$, p = 0,81; $I^2 = 0\%$, p = 0,5) als vernachlässigbar gering beurteilt werden.

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu den Zeitpunkten des Drei- und Zwölf-Monats-Follow-ups unter zehn liegt.

| Intacs/Intacs SK | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|------------------|----------------------|---------|------------------|----------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | -1,75 [-2,7, -0,81] | < 0,001 | 0 | -2,78 [-4,08, -1,49] | < 0,001 | 0 |
| Sechs Monate | -2,26 [-2,9, -1,62] | < 0,001 | 69,6 | -1,73 [-2,62, -0,84] | < 0,001 | 40,8 |
| Zwölf Monate | -2,36 [-2,69, -2,02] | 0,07 | 0 | -1,76 [-2,65, -0,87] | < 0,001 | 0 |

Tabelle 19: Veränderung der Sphäre nach Intacs/Intacs SK-Implantation

CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference



Abbildung 16: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler der Sphäre nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.4.1.2 Keraring

In Tabelle 20 sind die Veränderungen der Sphäre drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Kerarings aufgeführt.

Drei Monate nach Implantation des Kerarings hat sich die Sphäre in der FS Laser-Gruppe um 1,01 dpt (95% CI: -1,64 bis -0,38, $p < 0,001$, $n = 6$) und in der Gruppe der mechanischen Tunneldissektion um 1,69 dpt (95% CI: -2,69 bis -0,7, $p < 0,001$, $n = 3$) signifikant verbessert. In der FS Laser-Gruppe ist die Heterogenität mit $I^2 = 0\%$ ($p = 0,77$) vernachlässigbar gering, wohingegen in der mechanischen Gruppe eine mittlere Heterogenität vorliegt ($I^2 = 69,7\%$, $p = 0,02$).

Beim Sechs-Monats-Follow-up liegt eine Verbesserung der Sphäre um 1,7 dpt (95% CI: -2,45 bis -0,95, $p < 0,001$, $n = 14$) in der Gruppe des FS Lasers sowie um 2,2 dpt (95% CI: -2,78 bis -1,63, $p = 0,0167$, $n = 6$) in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation vor. Die Heterogenität ist mit $I^2 = 20,7\%$ ($p = 0,33$) in der mechanischen Gruppe als gering anzusehen und somit die Population als homogen zu werten. Im Gegensatz dazu ist die Heterogenität in der FS Laser-Gruppe hoch ($I^2 = 84\%$, $p = 0$). Die visuelle Inspektion und der Egger-Test der Publikationen in der FS Laser-Gruppe lassen keinen Publikationsbias vermuten ($p = 0,5$; siehe Abbildung 17).

Nach zwölf Monaten hat sich die Sphäre in der Gruppe des FS Lasers um 2,17 dpt (95% CI: -2,59 bis -1,74, $p < 0,001$, $n = 9$, $I^2 = 28,5\%$) und in der manuellen Gruppe um 2,24 dpt (95% CI: -2,84 bis -1,64, $p < 0,001$, $n = 3$, $I^2 = 22,9\%$) verbessert. Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten des Drei- und Zwölf-Monats-Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien unter zehn liegt.

| Keraring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|----------------------|---------|------------------|----------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | -1,01 [-1,64, -0,38] | < 0,001 | 0 | -1,69 [-2,69, -0,7] | < 0,001 | 69,7 |
| Sechs Monate | -1,7 [-2,45, -0,95] | < 0,001 | 84 | -2,2 [-2,78, -1,63] | 0,017 | 20,7 |
| Zwölf Monate | -2,17 [-2,59, -1,74] | < 0,001 | 28,5 | -2,24 [-2,84, -1,64] | < 0,001 | 22,9 |

Tabelle 20: Veränderung der Sphäre nach Keraring-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference



Abbildung 17: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler der Sphäre nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.4.1.3 MyoRing

In Tabelle 21 sind die Veränderungen der Sphäre drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des MyoRings aufgeführt.

Der sphärische Wert verbessert sich sowohl in der FS Laser-Gruppe als auch in der Gruppe der mechanischen Tunnelkreation nach Implantation des MyoRings zu den drei Zeitpunkten des Follow-ups signifikant.

Die statistische Auswertung der Studien mit Drei- und Sechs-Monats-Follow-ups zeigt eine Verbesserung der Sphäre nach MyoRing-Implantation in der FS Laser-Gruppe um 4,23 dpt (95% CI: -5,41 bis -3,05, $p < 0,001$, $n = 8$) und 5,21 dpt (95% CI: -6,31 bis -4,11, $p = 0,037$, $n = 9$) sowie in der mechanischen Gruppe um 6,08 dpt (95% CI: -7,99 bis -4,17, $p < 0,001$, $n = 3$) und 4,22 dpt (95% CI: -5,19 bis -3,25, $p = 0,028$, $n = 8$). In beiden Gruppen liegt zu den Zeitpunkten des Drei- und Sechs-Monats-Follow-ups eine mittlere bis hohe Heterogenität vor (Drei-Monats-Follow-up: $I^2 = 82,4\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 83\%$, $p < 0,001$; Sechs-Monats-Follow-up: $I^2 = 70,2\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 73,4\%$, $p < 0,001$).

Beim Zwölf-Monats-Follow-up liegt die Verbesserung in der FS Laser-Gruppe bei 4,65 dpt (95% CI: -5,41 bis -3,05, $p < 0,001$, $n = 6$), wohingegen sie in der mechanischen Gruppe 5,46 dpt (95% CI: -6,13 bis -4,8, $p < 0,001$, $n = 3$) beträgt. I^2 beträgt in der FS Laser-Gruppe 87,1%, infolgedessen ist die Heterogenität als hoch zu bewerten. In der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation ist die Heterogenität vernachlässigbar gering ($I^2 = 0\%$, $p = 0,73$). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu den drei Zeitpunkten in beiden Gruppen unter zehn liegt.

| MyoRing | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|----------------------|---------|------------------|----------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | -4,23 [-5,41, -3,05] | < 0,001 | 82,4 | -6,08 [-7,99, -4,17] | < 0,001 | 83 |
| Sechs Monate | -5,21 [-6,31, -4,11] | 0,037 | 70,2 | -4,22 [-5,19, -3,25] | 0,028 | 73,4 |
| Zwölf Monate | -4,65 [-6,05, -3,24] | < 0,001 | 87,1 | -5,46 [-6,13, -4,8] | < 0,001 | 0 |

Tabelle 21: Veränderung der Sphäre nach MyoRing-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

5.4.1.4 Ferrara Ring

In Tabelle 22 sind die Veränderungen der Sphäre drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Ferrara Rings aufgeführt.

Die statistische Auswertung der Daten in der FS Laser-Gruppe zeigt eine signifikante Verbesserung der Sphäre nach drei Monaten um 3,45 dpt (95% CI: -4,43 bis -2,65, $p < 0,001$, $n = 2$). Im Vergleich dazu liegt die Verbesserung in der Gruppe der mechanischen Tunneldissektion bei 2,52 dpt (95% CI: -3,32 bis -1,69, $n = 2$), diese ist jedoch ebenfalls signifikant ($p < 0,001$). In beiden Gruppen ist die Heterogenität vernachlässigbar gering ($I^2 = 0\%$, $p = 0,61$; $I^2 = 0\%$, $p < 0,001$).

Sechs Monate nach Implantation des Ferrara Rings mithilfe des FS Lasers liegt eine Verbesserung der Sphäre um 1,53 dpt (95% CI: -3,19 bis 0,13, $n = 5$) vor. Die Verbesserung ist nicht statistisch signifikant ($p = 0,103$). Es liegt mit $I^2 = 91,8\%$ ($p < 0,001$) eine hohe Heterogenität vor. Es liegt nur eine Studie, die die Veränderung der Sphäre sechs Monate nach Implantation des Ferrara Rings mithilfe der mechanischen Dissektion evaluiert, vor.

Beim Zwölf-Monats-Follow-up hat sich die Sphäre nach Implantation des Ferrara Rings in der FS Laser-Gruppe um 2,49 dpt signifikant verbessert (95% CI: -3,52 bis -1,46, $p < 0,001$, $n = 4$, $I^2 = 62,6\%$). Es liegt eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 62,6\%$, $p = 0,05$). Es liegen keine Studien zur mechanischen Tunnelpräparation mit Evaluation der Veränderung der Sphäre zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups vor. Eine Auswertung der Funnel Plots oder die Durchführung des Egger-Tests ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu den drei Zeitpunkten in beiden Gruppen unter zehn liegt.

| Ferrara Ring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|----------------------|---------|------------------|----------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | -3,54 [-4,43, -2,65] | < 0,001 | 0 | -2,52 [-3,32, -1,69] | < 0,001 | 0 |
| Sechs Monate | -1,53 [-3,19, 0,13] | 0,103 | 91,8 | Nur eine Studie | | |
| Zwölf Monate | -2,49 [-3,52, -1,46] | < 0,001 | 62,6 | Keine Studie | | |

Tabelle 22: Veränderung der Sphäre nach Ferrara Ring-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

5.4.2 Veränderungen des Zylinders

5.4.2.1 Intacs/Intacs SK

In Tabelle 23 sind die Veränderungen des Zylinders drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation der Intacs/Intacs SK aufgeführt.

Der Zylinder hat sich nach drei Monaten in der Gruppe des FS Lasers um 0,75 dpt (95% CI: -1,4 bis -0,09, $p = 0,0245$, $n = 5$) signifikant verbessert. In der Gruppe der mechanischen Dissektion hat sich der Zylinder um 1,59 dpt (95% CI: -2,23 bis -0,95, $p < 0,001$, $n = 8$) signifikant verbessert. In beiden Gruppen liegt eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 50,8\%$, $p = 0,07$; $I^2 = 37,6\%$, $p = 0,21$).

Beim Sechs- und Zwölf-Monats-Follow-up hat sich der Zylinder in der FS Laser-Gruppe um 1,23 dpt (95% CI: -1,59 bis -0,86, $p < 0,001$, $n = 17$) und 1,59 dpt (95% CI: -2,03 bis -1,16, $p < 0,001$, $n = 10$) und in der mechanischen Gruppe um 1,12 dpt (95% CI: -1,57 bis -0,67, $p < 0,001$, $n = 14$) und 1,89 dpt (95% CI: -2,57 bis -1,2, $p < 0,001$, $n = 9$) signifikant verbessert.

Zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups lässt sich anhand der visuellen Inspektion der Funnel Plots und des Egger-Tests kein Publikationsbias in der FS Laser-Gruppe ($p = 0,79$; siehe Abbildung 18A) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation ($p = 0,47$; siehe Abbildung 18B) nachweisen.

Zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups lässt sich bei den miteinbezogenen Studien mit Nutzung des FS Lasers anhand des Egger-Tests ein Publikationsbias vermuten ($p = 0,07$; siehe Abbildung 18C).

| Intacs/Intacs SK | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|------------------|----------------------|---------|------------------|----------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | -0,75 [-1,4, -0,09] | 0,025 | 50,8 | -1,59 [-2,23, -0,95] | < 0,001 | 37,6 |
| Sechs Monate | -1,23 [-1,59, -0,86] | < 0,001 | 71 | -1,59 [-2,03, -1,16] | < 0,001 | 49,1 |
| Zwölf Monate | -1,12 [-1,57, -0,67] | < 0,001 | 72,5 | -1,89 [-2,57, -1,2] | < 0,001 | 56,1 |

Tabelle 23: Veränderung des Zylinders nach Intacs/Intacs SK-Implantation

CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

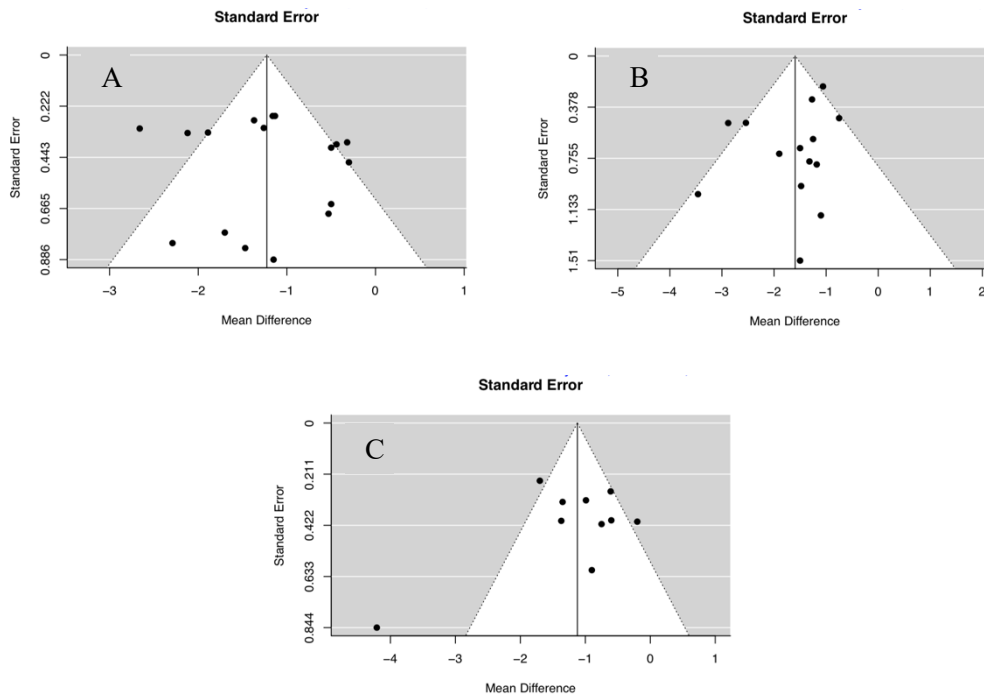


Abbildung 18: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler
 A: Zylinder nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem
 B: Zylinder nach Intacs/Intacs SK-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem
 C: Zylinder nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zwölf Monate post operationem

5.4.2.2 Keraring

In Tabelle 24 sind die Veränderungen des Zylinders drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Kerarings aufgeführt.

Drei Monate nach Implantation des Kerarings hat sich der Zylinder in der FS Laser-Gruppe um 2,13 dpt (95% CI: -2,74 bis -1,52, $p < 0,001$, $n = 8$) und in der mechanischen Gruppe um 2,07 dpt (95% CI: -2,14 bis -2, $p < 0,001$, $n = 4$) signifikant verbessert. Die statistische Heterogenität ist in der FS Laser-Gruppe mit $I^2 = 75,2\%$ ($p < 0,001$) hoch, wohingegen sie in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 0\%$, $p = 0,55$).

Beim Sechs-Monats-Follow-up liegt nach Nutzung des FS Lasers zur Tunnelpräparation eine Verbesserung des Zylinders um 2,23 dpt (95% CI: -2,74 bis -1,72, $p < 0,001$, $n = 18$) und nach mechanischer Tunnelpräparation um 1,69 dpt (95% CI: -2,38 bis -1, $p < 0,001$, $n = 6$) vor. In beiden Gruppen ist die Heterogenität hoch ($I^2 = 83,8\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 79,9\%$, $p < 0,001$). Anhand des Funnel Plots und des Egger-Tests lässt sich in der Gruppe mit Nutzung des FS Lasers kein Publikationsbias nachweisen ($p = 0,15$; siehe Abbildung 19).

Nach zwölf Monaten ist in der FS Laser-Gruppe eine Verbesserung um 1,74 dpt (95% CI: -2,17 bis -1,3, $p < 0,001$, $n = 9$) und in der mechanischen Gruppe um 1,46 dpt (95% CI: -1,83 bis -1,09, $p < 0,001$, $n = 2$) zu verzeichnen. In beiden Gruppen sind die Veränderungen signifikant. In der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation liegt eine hohe Heterogenität vor ($I^2 = 72,2\%$, $p < 0,001$), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 0\%$, $p = 0,69$). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu den Zeitpunkten des Drei- und Zwölf-Monats-Follow-ups unter zehn liegt.

| Keraring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|----------------------|---------|------------------|----------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | -2,13 [-2,74, -1,52] | < 0,001 | 72,5 | -2,07 [-2,14, -2] | < 0,001 | 0 |
| Sechs Monate | -2,23 [-2,74, -1,72] | < 0,001 | 83,8 | -1,69 [-2,38, -1] | < 0,001 | 79,9 |
| Zwölf Monate | -1,74 [-2,17, -1,3] | < 0,001 | 72,2 | -1,46 [-1,83, -1,09] | < 0,001 | 0 |

Tabelle 24: Veränderung des Zylinders nach Keraring-Implantation

CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference



Abbildung 19: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des Zylinders nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.4.2.3 MyoRing:

In Tabelle 25 sind die Veränderungen des Zylinders drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des MyoRings aufgeführt.

Beim Drei-Monats-Follow-up hat sich der Zylinder in der FS Laser-Gruppe um 2,55 dpt (95% CI: -3,07 bis -2,02, $p < 0,001$, $n = 8$, $I^2 = 54,2\%$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation um 2,72 dpt (95% CI: -2,3 bis -1,84, $p < 0,001$, $n = 3$, $I^2 = 79,8\%$) signifikant verbessert. In der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation liegt eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 54,2\%$, $p = 0,03$) vor, wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation als hoch zu bewerten ist ($I^2 = 79,8\%$, $p < 0,001$).

Sechs Monate nach Implantation des MyoRings zeigt sich in der FS Laser-Gruppe eine signifikante Verbesserung um 2,65 dpt (95% CI: -3,05 bis -2,25, $p < 0,001$, $n = 10$) und in der mechanischen Gruppe um 2,21 dpt (95% CI: -2,76 bis -1,66, $p < 0,001$, $n = 10$). In der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation liegt eine geringe Heterogenität vor ($I^2 = 29,4\%$, $p = 0,13$) vor, wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation als hoch zu bewerten ist ($I^2 = 82\%$, $p < 0,001$). In keiner der beiden Gruppen lässt die visuelle Inspektion des Funnel Plots noch der Egger-Test Schlüsse auf einen Publikationsbias zu ($p = 0,54$, $p = 0,12$; siehe Abbildung 20A und B).

Nach zwölf Monaten zeigt der Zylinder in der Gruppe der mechanischen Dissektion eine signifikante Verbesserung um 2,99 dpt (95% CI: -3,86 bis -2,11, $p < 0,001$, $n = 3$) und in der FS Laser-Gruppe eine signifikante Verbesserung um 2,78 dpt (95% CI: -3,12 bis -2,44, $p < 0,001$, $n = 6$). In der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation liegt eine geringe Heterogenität vor ($I^2 = 5,4\%$, $p = 0,63$), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation als hoch zu bewerten ist ($I^2 = 90,6\%$, $p < 0,001$).

| MyoRing | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|----------------------|---------|------------------|----------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | -2,55 [-3,07, -2,02] | < 0,001 | 54,2 | -2,72 [-3,6, -1,84] | < 0,001 | 79,8 |
| Sechs Monate | -2,65 [-3,05, -2,25] | < 0,001 | 29,4 | -2,21 [-2,76, -1,66] | < 0,001 | 82 |
| Zwölf Monate | -2,78 [-3,12, -2,44] | < 0,001 | 5,4 | -2,99 [-3,86, -2,11] | < 0,001 | 90,6 |

Tabelle 25: Veränderung des Zylinders nach MyoRing-Implantation
CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

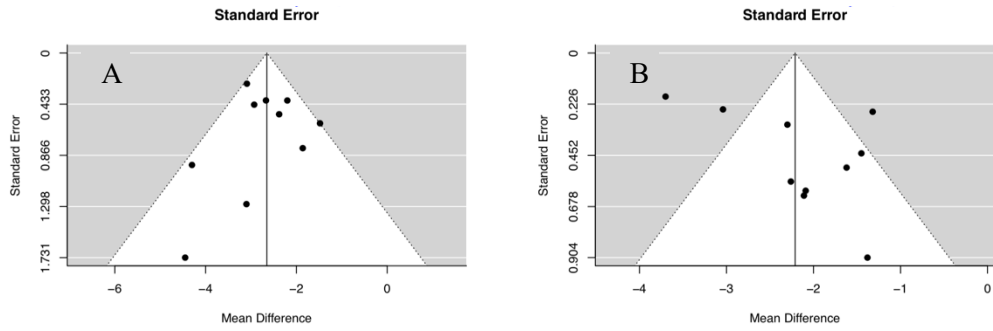


Abbildung 20: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler
 A: Zylinder nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem
 B: Zylinder nach MyoRing-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem

5.4.2.4 Ferrara Ring

In Tabelle 26 sind die Veränderungen des Zylinders drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Ferrara Rings aufgeführt.

Die Auswertung der Ergebnisse der Studien mit Drei- und Sechs-Monats-Follow-up zeigt in beiden Gruppen eine signifikante Abnahme des Zylinders. In der FS Laser-Gruppe hat sich der Zylinder beim Drei- und Sechs-Monats-Follow-up um 3,33 (95% CI: -5,6 bis -1,07, $p = 0,004$, $n = 2$) und 2,55 dpt (95% CI: -3,36 bis -1,74, $p < 0,001$, $n = 6$) verbessert, wohingegen die Verbesserungen in der mechanischen Gruppe bei 1,98 dpt (95% CI: -3,01 bis -0,94, $p < 0,001$, $n = 3$) und 2,23 dpt (95% CI: -3,06 bis -1,39, $p < 0,001$, $n = 2$) liegen. Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups ist die Heterogenität in beiden Gruppen hoch ($I^2 = 87,3\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 84,7\%$, $p < 0,001$). Zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups liegt in der Gruppe des FS Lasers eine hohe Heterogenität vor ($I^2 = 86,9\%$, $p < 0,001$), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 0\%$, $p = 0,97$).

Die statistische Auswertung der Studien mit Kontrolluntersuchungen nach zwölf Monaten ergibt in der Gruppe der FS Laser-Dissektion bei hoher Heterogenität eine signifikante Abnahme um 2,49 dpt (95% CI: -3,93 bis -1,05, $p < 0,001$, $n = 4$, $I^2 = 89,8\%$). Es konnten keine Studien, die die Veränderung des Zylinders nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe mechanischer Tunnelpräparation auswerten, miteinbezogen werden,

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu den drei Zeitpunkten des Follow-ups unter zehn liegt.

| Ferrara Ring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|----------------------|---------|------------------|----------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | -3,33 [-5,6, -1,07] | 0,004 | 87,3 | -1,98 [-3,01, -0,94] | < 0,001 | 84,7 |
| Sechs Monate | -2,55 [-3,36, -1,74] | < 0,001 | 86,9 | -2,23 [-3,06, -1,39] | < 0,001 | 0 |
| Zwölf Monate | -2,49 [-3,93, -1,05] | < 0,001 | 89,8 | Keine Studie | | |

Tabelle 26: Veränderung des Zylinders nach Ferrara Ring-Implantation

CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

5.4.3 Veränderungen des SE

5.4.3.1 *Intacs/Intacs SK*

In Tabelle 27 sind die Veränderungen des SE drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation der Intacs/Intacs SK aufgeführt.

Bei der Auswertung der Studien mit Kontrolluntersuchungen zum Zeitpunkt des dritten Monats p.op. zeigt sich beim SE nach mechanischer Tunneldissektion eine signifikante Abnahme um 4,39, (95% CI: -6,57 bis -2,21, $p = 0,0015$, $n = 7$) und in der zur FS Laser-Gruppe um 1,47 dpt (95% CI: -2,66 bis -0,29, $p = 0,015$, $n = 5$). Es liegt in beiden Gruppen eine hohe Heterogenität vor ($I^2 = 82\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 71,8\%$, $p < 0,001$).

Beim Sechs- und Zwölf-Monats-Follow-up zeigt sich in der Gruppe mit FS Laser-Präparation eine signifikante Verbesserung des SE von -2,4 (95% CI: -3,01 bis -1,79, $p < 0,001$, $n = 14$) und -2,56 dpt (95% CI: -3,3 bis -1,82, $p < 0,001$, $n = 11$), wohingegen diese in der mechanischen Gruppe -2,25 (95% CI: -2,95 bis -1,54, $p < 0,001$, $n = 11$) und -2,32 dpt (95% CI: -3,03 bis -1,61, $n = 9$, $p < 0,001$, $n = 9$) beträgt. Zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups liegt in der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 69\%$, $p < 0,001$). Im Gegensatz dazu liegt in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 43,7\%$, $p = 0,008$). Zwölf Monate p.op. ist die Heterogenität in der Gruppe des FS Lasers als hoch zu bewerten ($I^2 = 77\%$, $p < 0,001$), wohingegen sie in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 0\%$, $p = 0,58$).

Die Funnel Plots und der Egger-Test lassen in beiden Gruppen zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups keine Schlüsse auf einen möglichen Publikationsbias zu ($p = 0,90$; $p = 0,40$; siehe Abbildung 21A und B). Aufgrund des symmetrischen Funnel Plots und einem Egger-Test-Ergebnis von 0,95 lässt sich in der FS Laser-Gruppe zum Zeitpunkt der Zwölf-Monats-Untersuchung auf keinen Publikationsbias schließen (siehe Abbildung 21C). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation ist zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien unter zehn liegt.

| Intacs/Intacs SK | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|------------------|----------------------|---------|------------------|----------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | -1,47 [-2,66, -0,29] | 0,0015 | 71,8 | -4,39 [-6,57, -2,21] | 0,002 | 82 |
| Sechs Monate | -2,4 [-3,01, -1,79] | < 0,001 | 69 | -2,25 [-2,95, -1,54] | < 0,001 | 43,7 |
| Zwölf Monate | -2,56 [-3,3, -1,82] | < 0,001 | 77 | -2,32 [-3,03, -1,61] | < 0,001 | 0 |

Tabelle 27: Veränderung des SE nach Intacs/Intacs SK-Implantation
 CI = Confidence intervall, WMD = Weighted mean difference

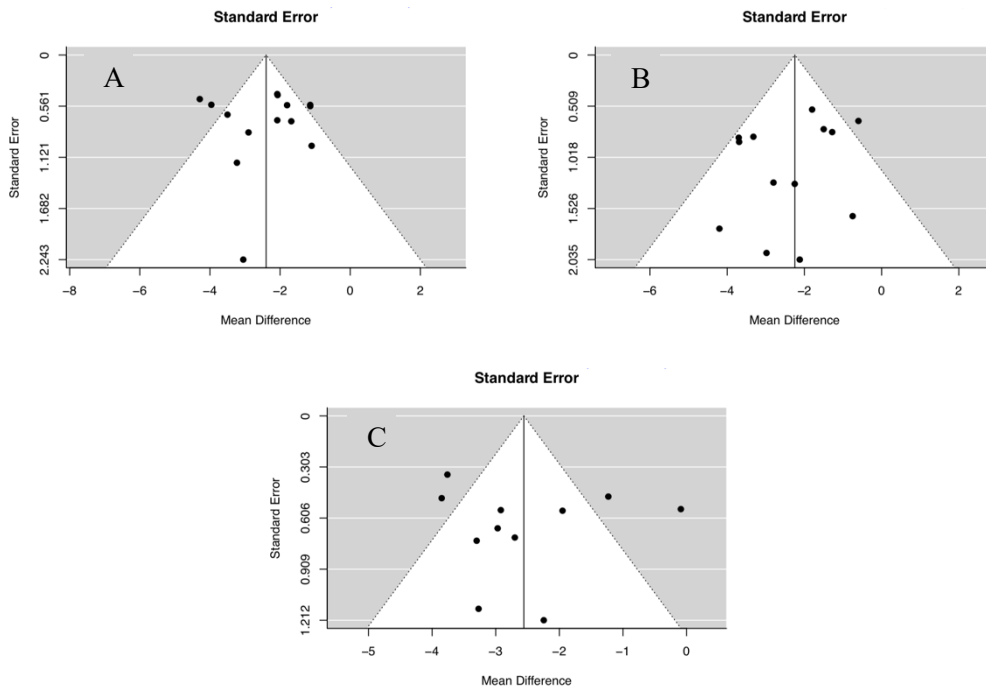


Abbildung 21: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler
 A: Sphärisches Äquivalents nach Intacs/Intacs SK -Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem
 B: Sphärisches Äquivalent nach Intacs/Intacs SK -Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem
 C: Sphärisches Äquivalent nach Intacs/Intacs SK -Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zwölf Monate post operationem

5.4.3.2 Keraring

In Tabelle 28 sind die Veränderungen des SE drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Kerarings aufgeführt.

Nach drei Monaten liegt die Verbesserung des SE bei Nutzung des FS Lasers zur Tunnelpräparation bei 2,47 dpt (95% CI: -3,2 bis -1,74, n = 9, p < 0,001), wohingegen sie in der Gruppe der mechanischen Dissektion 3,13 dpt (95% CI: -3,87 bis -2,38, n = 7, p < 0,001) beträgt. In beiden Gruppen ist die Verbesserung signifikant. In der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation liegt eine mittlere Heterogenität ($I^2 = 59,3\%$, p = 0,01) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine hohe Heterogenität vor ($I^2 = 77,9\%$, p < 0,001).

Der Wert des SE hat sich in der FS Laser-Gruppe nach sechs Monaten um 3,17 dpt (95% CI: -3,85 bis -2,5, n = 18, p < 0,001) und in der mechanischen Gruppe um 3,2 dpt (95% CI: -3,83 bis -2,58, n = 8, p < 0,001) verbessert. In der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation liegt eine hohe Heterogenität ($I^2 = 78,6\%$, p < 0,001) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine geringe Heterogenität vor ($I^2 = 47,7\%$, p = 0,06). Der asymmetrische Funnel Plot und das Ergebnis des Egger-Tests von p = 0,07 lassen auf einen Publikationsbias in der Gruppe der Studien mit Implantation des Kerarings mithilfe des FS Lasers schließen (siehe Abbildung 22).

Bei den Studien, welche den FS Laser nutzten, ist nach zwölf Monaten eine signifikante Verbesserung des SE von 3,4 dpt (95% CI: -4,07 bis -2,72, p < 0,001, n = 6) zu verzeichnen, wohingegen die Verbesserung in der Gruppe mit mechanischer Tunnelpräparation -3,27 dpt (95% CI: -4,05 bis -2,48, p < 0,001, n = 5) beträgt, diese ist jedoch ebenfalls signifikant. Die Heterogenität in der Gruppe des FS Lasers ist zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups als gering zu bewerten ($I^2 = 46,6\%$, p = 0,11), wohingegen in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine mittlere Heterogenität vorliegt ($I^2 = 64,6\%$, p = 0,05). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten des Drei- und Zwölf-Monats-Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu diesen Zeitpunkten unter zehn liegt.

| Keraring | FS Laser | | | Mechanisch | | | |
|--------------|---------------------|--------|------------------|------------|----------------------|------------------|------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | |
| Drei Monate | -2,47 [-3,2, -1,74] | | < 0,001 | 59,3 | -3,13 [-3,87, -2,38] | < 0,001 | 77,9 |
| Sechs Monate | -3,17 [-3,85, -2,5] | | < 0,001 | 78,6 | -3,2 [-3,83, -2,58] | < 0,001 | 47,7 |
| Zwölf Monate | -3,4 [-4,07, -2,72] | | < 0,001 | 46,6 | -3,27 [-4,05, -2,48] | < 0,001 | 64,6 |

Tabelle 28: Veränderung des Sphärisches Äquivalents nach Keraring-Implantation

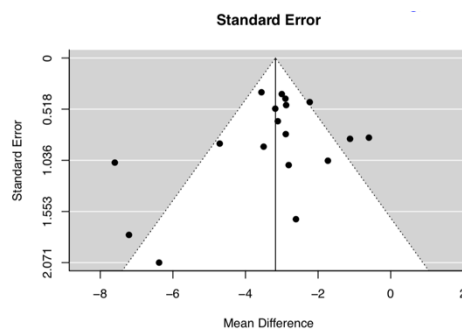


Abbildung 22: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des Sphärisches Äquivalents nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.4.3.3 MyoRing

In Tabelle 29 sind die Veränderungen des SE drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des MyoRings aufgeführt.

Drei Monate nach Implantation des MyoRings hat sich das SE in der Gruppe mit mechanischer Tunnelpräparation um 6,87 dpt (95% CI: -9,35 bis -4,38 dpt, $p < 0,001$, $n = 3$) signifikant verbessert, wohingegen die Verbesserung in der Gruppe mit Nutzung des FS Laser bei 5,02 dpt (95% CI: -7,8 bis -2,24 dpt, $p < 0,001$, $n = 2$) liegt. Während die Heterogenität gemessen an I^2 in der mechanischen Gruppe als hoch zu bewerten ist ($I^2 = 88,5\%$, $p < 0,001$), liegt in der FS Laser-Gruppe eine niedrige bis mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 48,4\%$, $p = 0,16$).

Beim Sechs-Monats-Follow-up ist in der FS Laser-Gruppe (WMD = -6,64 dpt, 95% CI: -8,66 bis -4,61, $p < 0,001$, $n = 5$) eine größere Verbesserung zu verzeichnen als in der mechanischen Gruppe (WMD = -5,05 dpt, 95% CI: -6,78 bis -3,31, $p < 0,001$, $n = 9$). In der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation liegt eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 69,1\%$, $p = 0,01$), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation als hoch zu bewerten ist ($I^2 = 92,6\%$, $p < 0,001$).

Es konnten keine Studien mit Kontrolluntersuchungen nach Nutzung des FS Lasers zwölf Monate p.op. mit Bestimmung des SE miteingeschlossen werden. Bei den Studien mit mechanischer Tunnelpräparation betrug die Verbesserung des SE bei geringer Heterogenität nach zwölf Monaten 6,49 dpt (95% CI: -7,52 bis -5,46 dpt, $n = 3$, $I^2 = 45,8\%$, $p = 0,18$). Die Verbesserung ist signifikant ($p < 0,001$).

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu den drei Zeitpunkten des Follow-ups unter zehn liegt.

| MyoRing | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|----------------------|---------|---------|----------------------|---------|---------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I^2 % | WMD [CI] | p-Wert | I^2 % |
| Drei Monate | -5,02 [-7,8, -2,24] | < 0,001 | 48,4 | -6,87 [-9,35, -4,38] | < 0,001 | 88,5 |
| Sechs Monate | -6,64 [-8,66, -4,61] | < 0,001 | 69,1 | -5,05 [-6,78, -3,31] | < 0,001 | 92,6 |
| Zwölf Monate | Nur eine Studie | | | -6,49 [-7,52, -5,46] | < 0,001 | 45,8 |

Tabelle 29: Veränderung des Sphärisches Äquivalents nach MyoRing-Implantation

5.4.3.4 Ferrara Ring

In Tabelle 30 sind die Veränderungen des SE drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Ferrara Rings aufgeführt.

Drei Monate nach Insertion des Ferrara Rings hat sich das SE in der Gruppe der mechanischen Dissektion signifikant um 2,42 dpt (95% CI: -2,07 bis -0,76, $p < 0,001$, $n = 5$) verbessert. Die Heterogenität in dieser Gruppe ist vernachlässigbar gering ($I^2 = 0\%$, $p = 0,97$). Es liegt nur eine Studie, die den FS Laser nutzt und eine Kontrolluntersuchung zum Zeitpunkt von drei Monaten p.op. mit Bestimmung des SE aufweist, vor.

Nach sechs Monaten hat sich das SE in der FS Laser-Gruppe um 1,21 dpt (95% CI: -1,68 bis -0,74, $n = 5$, $p < 0,001$, $n = 5$) verbessert. Die Heterogenität in dieser Gruppe ist vernachlässigbar gering ($I^2 = 0\%$, $p = 0,82$). Es liegt nur eine Studie zur mechanischen Tunnelpräparation, die die Veränderung des SE sechs Monate nach Implantation des Ferrara Rings mithilfe mechanischer Tunnelpräparation auswertet, vor.

Beim Zwölf-Monats-Follow-up kann bei Nutzung des FS Lasers eine Verbesserung um 2,25 dpt (95% CI: -3,67 bis -0,83, $p = 0,0018$, $n = 3$) und bei mechanischer Tunnelpräparation eine Verbesserung um 1,99 dpt verzeichnet werden (95% CI: -3,36 bis -0,62, $p = 0,004$, $n = 2$). In der Gruppe des FS Lasers liegt zu diesem Zeitpunkt eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 65,9\%$, $p = 0,04$), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation vernachlässigbar gering ist. ($I^2 = 0\%$, $p = 0,86$).

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu den drei Zeitpunkten des Follow-ups unter zehn liegt.

| Ferrara Ring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|----------------------|---------|------------------|----------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | Nur eine Studie | | | -1,42 [-2,07, -0,76] | < 0,001 | 0 |
| Sechs Monate | -1,21 [-1,68, -0,74] | < 0,001 | 0 | -1,21 [-1,68, -0,74] | < 0,001 | 0 |
| Zwölf Monate | -2,25 [-3,67, -0,83] | 0,002 | 65,9 | -1,99 [-3,36, -0,62] | 0,002 | 0 |

Tabelle 30: Veränderung des Sphärisches Äquivalents nach Ferrara Ring-Implantation

5.5 Veränderungen der Keratometrie

5.5.1 Veränderungen des steilen Keratometriewertes

5.5.1.1 Intacs/Intacs SK

In Tabelle 31 sind die Veränderungen des Ks-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation der Intacs/Intacs SK aufgeführt.

Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups hat sich der Ks-Wert nach FS Laser-Präparation um 2,81 dpt (95% CI: 1,38 bis 4,23, $p = 0,0018$, $n = 5$) verbessert. Die Studien mit mechanischer Tunneldissektion zeigen eine Verbesserung des Ks-Wertes um 2 dpt (95% CI: 0,37 bis 3,64, $p = 0,016$, $n = 3$). In beiden Gruppen sind die Veränderungen signifikant. Während in der mechanischen Gruppe die Heterogenität als gering zu bewerten ist ($I^2 = 16,8\%$), liegt in der FS Laser-Gruppe eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 63,6\%$).

Sechs Monate p.op. ist in der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation eine signifikante Verbesserung des Ks-Wertes um 2,84 dpt (95% CI: 2,16 bis 3,52, $p < 0,001$, $n = 10$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine signifikante Verbesserung des Ks-Wertes um 3,51 dpt (95% CI: 2,06 bis 4,96, $p < 0,001$, $n = 8$) zu verzeichnen. In der Gruppe des FS Lasers ist die Heterogenität vernachlässigbar gering ($I^2 = 13,7\%$, $p = 0,35$), wohingegen in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine mittlere Heterogenität vorliegt ($I^2 = 60,1\%$, $p = 0,01$). Die Auswertung des Funnel Plots sowie das Ergebnis des Egger-Tests von $p = 0,27$ lassen in der FS Laser-Gruppe zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups keinen Publikationsbias vermuten (siehe Abbildung 23).

Zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups hat sich der Ks-Wert in der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation um 3,4 dpt (95% CI: 2,4 bis 4,41, $p < 0,001$, $n = 6$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation um 4,4 dpt (95% CI: 2,62 bis 6,18, $p < 0,001$, $n = 5$) signifikant verbessert. In der Gruppe des FS Lasers liegt zwölf Monate p.op. eine geringe Heterogenität vor ($I^2 = 26,6\%$, $p = 0,3$), wohingegen in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine mittlere Heterogenität vorliegt ($I^2 = 67,8\%$, $p = 0,01$). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten des Drei- und Zwölf-Monats-Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu diesen Zeitpunkten unter zehn liegt.

| Intacs/Intacs SK | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|------------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 2,81 [1,38, 4,23] | 0,002 | 63,6 | 2 [0,37, 3,64] | 0,016 | 16,8 |
| Sechs Monate | 2,84 [2,16, 3,52] | < 0,001 | 13,7 | 3,51 [2,06, 4,96] | < 0,001 | 60,1 |
| Zwölf Monate | 3,41 [2,4, 4,41] | < 0,001 | 26,6 | 4,4 [2,62, 6,18] | < 0,001 | 67,8 |

Tabelle 31: Veränderung des steilen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation

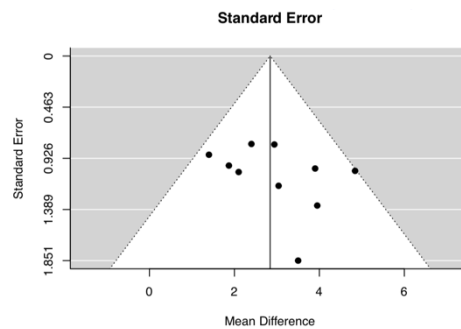


Abbildung 23: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des steilen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.5.1.2 Keraring

In Tabelle 32 sind die Veränderungen des Ks-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Kerarings aufgeführt.

Drei Monate p.op. hat sich der Ks-Wert in der Gruppe des FS Lasers um 3,6 dpt (95% CI: 2,56 bis 4,64, $p < 0,001$, $n = 9$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation um 5,14 dpt (95% CI: 3,67 bis 6,6, $p < 0,001$, $n = 2$) signifikant verbessert. In der FS Laser-Gruppe liegt eine mittlere Heterogenität ($I^2 = 62,2\%$, $p < 0,001$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine vernachlässigbar geringe Heterogenität vor ($I^2 = 6,7\%$, $p = 0,3$).

Zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups hat sich der Ks-Wert in der Gruppe des FS Lasers um 3,89 dpt (95% CI: 2,7 bis 5,07, $p < 0,001$, $n = 15$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation um 3,9 dpt (95% CI: 2,64 bis 5,16, $p < 0,001$, $n = 6$) signifikant verbessert. In der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation liegt eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 70,3\%$, $p < 0,001$), wohingegen die Heterogenität in der FS Laser-Gruppe als hoch zu bewerten ist ($I^2 = 85,3\%$, $p < 0,001$). Die visuelle Inspektion des Funnel Plots sowie das Ergebnis des Egger-Tests in der FS Laser-Gruppe zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups lassen keinen Publikationsbias vermuten ($p = 0,85$; siehe Abbildung 24).

Zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups hat sich der Ks-Wert in der Gruppe der FS Laser-Präparation bei mittlerer Heterogenität signifikant um 3,35 dpt (95% CI: 2,05 bis 4,66, $p < 0,001$, $n = 6$, $I^2 = 74,4\%$, $p < 0,001$) verbessert. Es konnte nur eine Studie, die die Veränderung des Ks-Wertes zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups nach mechanischer Tunnelpräparation evaluiert, gefunden werden.

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten drei und zwölf Monate p.op. nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien unter zehn liegt.

| Keraring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 3,6 [2,56, 4,64] | < 0,001 | 62,2 | 5,14 [3,67, 6,6] | < 0,001 | 6,7 |
| Sechs Monate | 3,89 [2,7, 5,07] | < 0,001 | 85,3 | 3,9 [2,64, 5,16] | < 0,001 | 70,3 |
| Zwölf Monate | 3,35 [2,05, 4,66] | < 0,001 | 74,4 | Nur eine Studie | | |

Tabelle 32: Veränderung des steilen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation

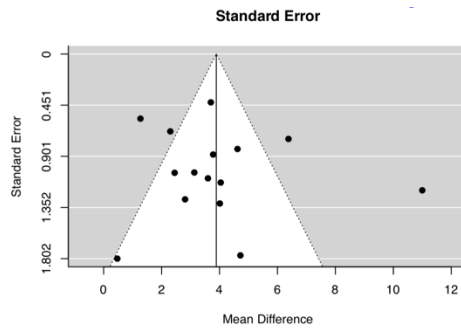


Abbildung 24: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des steilen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.5.1.3 MyoRing

In Tabelle 33 sind die Veränderungen des Ks-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des MyoRings aufgeführt.

Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups hat sich der Ks-Wert in der Gruppe der FS Laser-Präparation signifikant um 6,24 dpt (95% CI: 4,30 bis 8,29, $p < 0,001$, $n = 2$) verbessert. Die Heterogenität ist vernachlässigbar gering ($I^2 = 0\%$, $p = 0,89$). Es liegt nur eine Studie vor, welche den Ks-Wert nach mechanischer Taschenpräparation und anschließender MyoRing-Implantation drei Monate p.op. auswertet, vor.

Sechs Monate p.op. beträgt die Verbesserung des Ks-Wertes in der FS Laser-Gruppe 6,87 dpt (95% CI: 5,82 bis 7,91 dpt, $n = 5$) und in der Gruppe mit mechanischer Tunnelpräparation 4,2 dpt (95% CI: 2,73 bis 5,69 dpt, $n = 2$). Beide Verbesserungen sind signifikant ($p < 0,001$). In beiden Gruppen ist die Heterogenität vernachlässigbar gering ($I^2 = 0\%$, $p = 0,83$; $I^2 = 0\%$, $p = 0,82$).

Es konnten keine Studien, die Veränderungen des Ks-Wertes zum Zeitpunkt von zwölf Monaten p.op. nach Implantation des MyoRings mithilfe des FS Lasers auswerten, detektiert werden. Zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups liegt nur eine Studie, welche den Ks-Wert nach mechanischer Taschenpräparation und anschließender MyoRing-Implantation auswertet, vor.

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten der drei Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu diesen Zeitpunkten unter zehn liegt.

| MyoRing | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 6,24 [4,30, 8,19] | < 0,001 | 0 | Keine Studie | | |
| Sechs Monate | 6,87 [5,83, 7,91] | < 0,001 | 0 | 4,2 [2,72, 5,69] | < 0,001 | 0 |
| Zwölf Monate | Keine Studie | | | Nur eine Studie | | |

Tabelle 33: Veränderung des steilen Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation

5.5.1.4 Ferrara Ring

In Tabelle 34 sind die Veränderungen des Ks-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Ferrara Rings aufgeführt.

Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups ist eine signifikante Verbesserung des Ks-Wertes in der Gruppe des FS Lasers um 5,44 dpt (95% CI: 2,63 bis 8,25, $p < 0,001$, $n = 2$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation um 3,51 dpt (95% CI: 2,04 bis 4,98, $p < 0,001$, $n = 4$) zu verzeichnen. In der Gruppe des FS Lasers ist die Heterogenität als mittelgroß ($I^2 = 58,5\%$, $p = 0,12$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation als gering zu bewerten ($I^2 = 19,1\%$, $p = 0,35$).

Sechs Monate p.op. liegt nach FS Laser-assistierter Tunnelpräparation bei geringer Heterogenität eine Abnahme des Ks-Wertes um 2,29 dpt (95% CI: 1,79 bis 2,8, $n = 7$, $p < 0,001$, $I^2 = 16,3\%$, $p = 0,09$) vor. Es liegt nur eine Studie vor, welche die Veränderung des Ks-Wertes zum Zeitpunkt des Sechs-Monats Follow-ups nach mechanischer Tunnelpräparation auswertet. Die Studien mit Zwölf-Monats-Follow-up zeigen nach mechanischer Tunnelpräparation eine Abnahme des Ks-Wertes um 4,39 dpt (95% CI: 1,7 bis 4,5, $n = 2$), diese ist nicht statistisch signifikant ($p = 0,16$). In der FS Laser-Gruppe konnte eine signifikante Verbesserung um 2,92 dpt beobachtet werden (95% CI: 1,7 bis 4,15, $p < 0,001$, $n = 2$). In der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation ist die Heterogenität als mittelgroß zu bewerten ($I^2 = 48,7\%$, $p = 0,16$), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe des FS Lasers vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 0\%$, $p = 0,4$).

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten der drei Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu diesen Zeitpunkten unter zehn liegt.

| Ferrara Ring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 5,44 [2,63, 8,25] | < 0,001 | 58,5 | 3,51 [2,04, 4,98] | < 0,001 | 19,1 |
| Sechs Monate | 2,29 [1,79, 2,8] | < 0,001 | 16,3 | Nur eine Studie | | |
| Zwölf Monate | 2,92 [1,7, 4,15] | < 0,001 | 0 | 4,39 [1,59, 7,19] | 0,16 | 48,7 |

Tabelle 34: Veränderung des steilen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation

5.5.2 Veränderungen des mittleren Keratometriewertes

5.5.2.1 Intacs/Intacs SK

In Tabelle 35 sind die Veränderungen des Km-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation der Intacs/Intacs SK aufgeführt.

Zu den Zeitpunkten des Drei-, Sechs- und Zwölf-Monats-Follow-ups hat sich der Km-Wert signifikant verbessert.

Zu dem Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups zeigt der Km-Wert in der FS Laser-Gruppe eine Verbesserung um 3,62 dpt (95% CI: 2,22 bis 5,01, $p < 0,001$, $n = 8$), wohingegen in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine Verbesserung um 2,87 dpt (95% CI: 1,71 bis 4,03, $p = 0,48$, $n = 5$) zu verzeichnen ist. Die Heterogenität in der FS Laser-Gruppe ist ein hoch zu bewerten ($I^2 = 88,1\%$, $p < 0,001$), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 10,7\%$, $p = 0,48$).

Sechs Monate p.op. liegt in der Gruppe der FS Laser Präparation eine Abnahme des Ks-Wertes von 3,97 dpt (95% CI: 2,68 bis 5,25, $p < 0,001$, $n = 11$) und in der Gruppe der mechanischen Dissektion eine Abnahme des Ks-Wertes von 3,5 dpt (95% CI: 2,61 bis 4,39, $p < 0,001$, $n = 10$) vor. In der Gruppe des FS Lasers ist die Heterogenität als hoch zu bewerten ($I^2 = 90,5\%$, $p < 0,001$), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation gering ist ($I^2 = 46,9\%$, $p = 0,09$). Die Funnel Plots sowie der Egger-Test zu den Studien mit Sechs-Monats-Kontrolluntersuchung weisen auf keinen Publikationsbias hin ($p = 0,97$, $p = 0,49$; siehe Abbildung 25A und B).

Zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups hat sich der Ks-Wert in der Gruppe des FS Lasers um 3,3 dpt (95% CI: 2,44 bis 4,15, $p < 0,001$, $n = 7$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation um 3,15 dpt (95% CI: 1,87 bis 4,44, $p < 0,001$, $n = 7$) verbessert. In beiden Gruppen liegt eine mittelgroße Heterogenität vor ($I^2 = 70,8\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 63,6\%$, $p = 0,02$). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten des Drei- und Zwölf-Monats-Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu diesen Zeitpunkten unter zehn liegt.

| Intacs/Intacs SK | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|------------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 3,62 [2,22, 5,01] | < 0,001 | 88,1 | 2,87 [1,71, 4,03] | < 0,001 | 10,7 |
| Sechs Monate | 3,97 [2,68, 5,25] | < 0,001 | 90,5 | 3,5 [2,61, 4,39] | < 0,001 | 46,9 |
| Zwölf Monate | 3,3 [2,44, 4,15] | < 0,001 | 70,8 | 3,15 [1,87, 4,44] | < 0,001 | 63,6 |

Tabelle 35: Veränderung des mittleren Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation

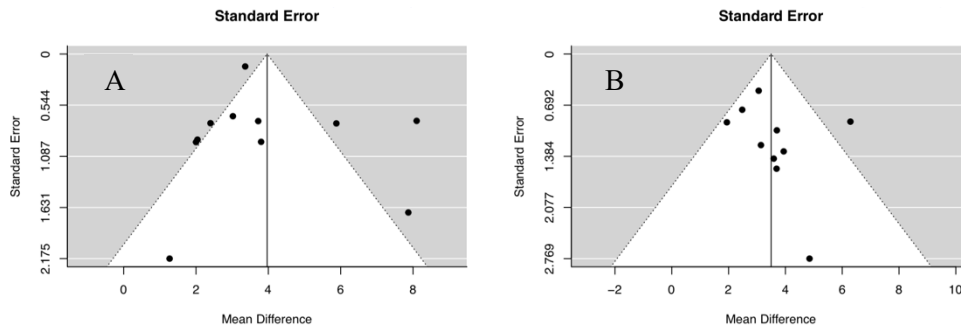


Abbildung 25: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler
 A: Mittlerer Keratometriewert nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem
 B: Mittlerer Keratometriewert nach Intacs/Intacs SK-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem

5.5.2.2 Keraring

In Tabelle 36 sind die Veränderungen des Km-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Kerarings aufgeführt.

Zu den Zeitpunkten des Drei-, Sechs- und Zwölf-Monats-Follow-ups hat der Km-Wert signifikant abgenommen ($p < 0,001$).

Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups hat sich der Km-Wert in der FS Laser-Gruppe um 3 dpt (95% CI: 2,08 bis 3,91, $p < 0,001$, $n = 8$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation um 3,78 dpt (95% CI: 2,36 bis 4,82, $p < 0,001$, $n = 7$) signifikant verbessert. In der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation liegt eine mittelgroße Heterogenität ($I^2 = 64,3\%$, $p < 0,001$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine geringe Heterogenität vor ($I^2 = 31,5\%$, $p < 0,001$)

Zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups hat sich der Km-Wert in der FS Laser-Gruppe um 3,18 dpt (95% CI: 2,26 bis 4,09, $p < 0,001$, $n = 10$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation um 3,59 dpt (95% CI: 2,36 bis 4,82, $p < 0,001$, $n = 8$) signifikant verbessert. In beiden Gruppen liegt eine mittelgroße Heterogenität vor ($I^2 = 69,4\%$, $p < 0,001$; $I^2 = 67,6\%$, $p < 0,001$). Der symmetrische Funnel Plot und das Egger-Test-Ergebnis der Studien mit Nutzung des FS Lasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups weisen auf keinen Publikationsbias hin ($p = 0,94$; siehe Abbildung 26).

Zwölf Monate p.op. liegt nach FS Laser-Tunnelpräparation eine signifikante Verbesserung des Km-Wertes um 2,82 dpt (95% CI: 1,42 bis 4,23, $p < 0,001$, $n = 5$) vor. Nach mechanischer Tunnelpräparation konnte eine signifikante Verbesserung des Km-Wertes um 4,13 dpt (95% CI: 2,61 bis 5,65, $p < 0,001$, $n = 4$) verzeichnet werden. In beiden Gruppen liegt eine mittelgroße Heterogenität vor ($I^2 = 56,1\%$, $p = 0,04$; $I^2 = 71,4\%$, $p = 0,03$).

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten des Drei- und Zwölf-Monats-Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu diesen Zeitpunkten unter zehn liegt.

| Keraring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 3 [2,08, 3,91] | < 0,001 | 64,3 | 3,78 [3,25, 4,31] | < 0,001 | 31,5 |
| Sechs Monate | 3,18 [2,26, 4,09] | < 0,001 | 69,4 | 3,59 [2,36, 4,82] | < 0,001 | 67,6 |
| Zwölf Monate | 2,82 [1,42, 4,23] | < 0,001 | 56,1 | 4,13 [2,61, 5,65] | < 0,001 | 71,4 |

Tabelle 36: Veränderung des mittleren Keratometriewertes nach Keraring-Implantation

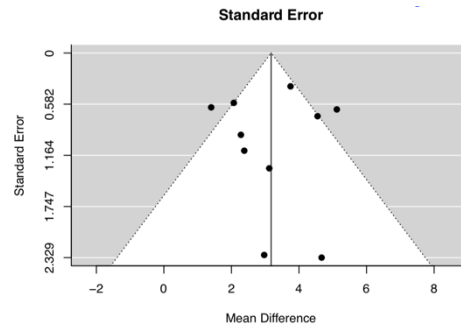


Abbildung 26: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des mittleren Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.5.2.3 MyoRing

In Tabelle 37 sind die Veränderungen des Km-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des MyoRings aufgeführt.

Zu den drei Zeitpunkten des Follow-ups drei, sechs und zwölf Monate p.op. liegt in beiden Gruppen eine signifikante Verbesserung des Km-Wertes vor.

Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups liegt die Verbesserung nach Nutzung des FS Lasers bei 6,63 dpt (95% CI: 5,85 bis 7,41, $p < 0,001$, $n = 6$, $I^2 = 39,0\%$), wohingegen sie in der mechanischen Gruppe bei 5,09 dpt (95% CI: 1,77 bis 8,42, $p = 0,002$, $n = 2$, $I^2 = 77,8\%$) liegt. Während in der FS Laser-Gruppe eine niedrige bis mittlere Heterogenität vorliegt ($I^2 = 39,0\%$, $p = 0,15$), ist die anhand von I^2 bewertete Heterogenität in der mechanischen Gruppe hoch ($I^2 = 77,8\%$, $p = 0,03$).

Zum Zeitpunkt der Sechs-Monats-Kontrolluntersuchung liegt die Verbesserung des Km-Wertes in der FS Laser-Gruppe bei 6,83 dpt (95% CI: 6,3 bis 7,35, $n = 8$) und in der mechanischen Gruppe bei 6,07 dpt (95% CI: 4,15 bis 7,99, $n = 7$). Beide Verbesserungen sind signifikant ($p < 0,001$). In der FS Laser-Gruppe ist die Heterogenität mit $I^2 = 0\%$ ($p = 0,6$) vernachlässigbar gering, wohingegen in der mechanischen Gruppe eine hohe Heterogenität vorliegt ($I^2 = 89,5\%$, $p < 0,001$).

Nach zwölf Monaten kann in den Studien, welche die mechanische Tunnelpräparation anwenden, eine signifikante Abnahme des Km-Wertes um 7,29 dpt (95% CI: 4,89 bis 9,69, $p < 0,001$, $n = 4$) beobachtet werden, wohingegen in der Gruppe mit Verwendung des FS Lasers die Abnahme bei 6,07 (95% CI: 4,95 bis 7,19, $n = 4$) liegt. Auch in dieser Gruppe ist die Abnahme signifikant ($p < 0,001$). Im Gegensatz zur Gruppe des FS Lasers mit einer niedrigen Heterogenität ($I^2 = 31,5\%$, $p = 0,24$), weist $I^2 = 91,9\%$ ($p < 0,001$) in der mechanischen Gruppe auf eine hohe Heterogenität der Studien hin.

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten der drei Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu diesen Zeitpunkten unter zehn liegt.

| MyoRing | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 6,63 [5,85, 7,41] | < 0,001 | 39 | 5,09 [1,77, 8,42] | 0,002 | 77,8 |
| Sechs Monate | 6,83 [6,3, 7,35] | < 0,001 | 0 | 6,07 [4,15, 7,99] | < 0,001 | 89,5 |
| Zwölf Monate | 6,07 [4,95, 7,19] | < 0,001 | 31,5 | 7,29 [4,89, 9,69] | 0,016 | 91,9 |

Tabelle 37: Veränderung des mittleren Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation

5.5.2.4 Ferrara Ring

In Tabelle 38 sind die Veränderungen des Km-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Ferrara Rings aufgeführt.

Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups zeigt sich in der mechanischen Gruppe eine signifikante Abnahme des Km-Wertes um 2,8 dpt (95% CI: 1,17 bis 4,42, $p < 0,001$, $n = 4$). Die Heterogenität ist gering ($I^2 = 28,9\%$, $p = 0,3$).

Nach drei und sechs Monaten zeigt sich bei den Studien, welche den FS Laser nutzen, eine signifikante Abnahme des Km-Wertes um 3,47 dpt (95% CI: 2,19 bis 4,75, $p < 0,001$, $n = 2$) und 2,54 dpt (95% CI: 1,32 bis 3,75, $p < 0,001$, $n = 5$). In beiden Gruppen liegt eine geringe Heterogenität vor ($I^2 = 0\%$, $p = 0,54$, $I^2 = 29,8\%$, $p = 0,3$).

Zwölf Monate p.op. zeigt sich bei den Studien mit mechanischer Präparation eine signifikante Abnahme des Km-Wertes um 3,59 dpt (95% CI = 1,54 bis 5,63, $p < 0,001$, $n = 3$, $I^2 = 50,5\%$) und in der Gruppe mit FS Laser-Präparation eine signifikante Abnahme um 2,94 dpt, 95% CI = 1,89 bis 3,99, $p < 0,001$, $n = 3$, $I^2 = 25,3\%$).

Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu den Zeitpunkten der Follow-ups unter zehn liegt.

| Ferrara Ring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 3,47 [2,19, 4,75] | < 0,001 | 0 | 2,8 [1,17, 4,42] | < 0,001 | 29,8 |
| Sechs Monate | 2,54 [1,32, 3,75] | < 0,001 | 72,5 | Nur eine Studie | | |
| Zwölf Monate | 2,94 [1,89, 3,99] | < 0,001 | 25,3 | 3,59 [1,54, 5,63] | < 0,001 | 50,5 |

Tabelle 38: Veränderung des mittleren Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation

5.5.3 Veränderungen des flachen Keratometriewertes

5.5.3.1 Intacs/Intacs SK

In Tabelle 39 sind die Veränderungen des Kf-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation der Intacs/Intacs SK aufgeführt.

Die Studien mit Nutzung des FS Lasers zeigen zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups eine signifikante Abnahme des Kf-Wertes um 3,09 dpt (95% CI: 0,89 bis 5,29, $p = 0,0015$, $n = 3$), wohingegen die Studien mit mechanischer Tunnelpräparation eine, ebenfalls signifikante Abnahme um 1,92 dpt (95% CI: 0,71 bis 3,14, $p = 0,002$, $n = 3$) verzeichnen können. In der Gruppe des FS Lasers liegt eine hohe Heterogenität vor ($I^2 = 79,2\%$, $p = 0,02$), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 0\%$, $p = 0,91$).

Bei den Studien mit Sechs- und Zwölf-Monats-Follow-up zeigt sich bei den Studien mit mechanischer Tunneldissektion eine Abnahme des Kf-Wertes um 2,73 dpt (95% CI: 1,62 bis 3,84, $p < 0,001$, $n = 9$) und 3,6 dpt (95% CI: 2,16 bis 5,05, $p < 0,001$, $n = 5$). Die Studien mit FS Laser-Dissektion zeigen hingegen eine Abnahme um 2,38 dpt (95% CI: 1,81 bis 2,95, $p < 0,001$, $n = 10$) beim Sechs-Monats-Follow-up und eine Abnahme um 2,2 dpt (95% CI: 1,46 bis 2,94, $p < 0,001$, $n = 6$) beim Zwölf-Monats-Follow-up. Zum Sechs- und Zwölf-Monats-Follow-up liegt in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine mittelgroße Heterogenität vor ($I^2 = 60,2\%$, $p = 0,01$; $I^2 = 52,5\%$, $p = 0,07$), wohingegen die Heterogenität in der FS Laser-Gruppe vernachlässigbar gering ist ($I^2 = 5,8\%$, $p = 0,35$; $I^2 = 0\%$, $p = 0,93$). Der Funnel-Plot und der Egger-Test weisen bei den Studien mit Sechs-Monats-Kontrolluntersuchung nach FS Laser-assistierter Intacs/Intacs SK-Implantation auf keinen Publikationsbias hin ($p = 0,20$, siehe Abbildung 27). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten der Drei- und Zwölf-Monats-Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien unter zehn liegt.

| Intacs/Intacs SK | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|------------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 3,09 [0,89, 5,29] | 0,015 | 79,2 | 1,92 [0,71, 3,14] | 0,002 | 0 |
| Sechs Monate | 2,38 [1,81, 2,95] | < 0,001 | 5,8 | 2,73 [1,62, 3,84] | < 0,001 | 60,2 |
| Zwölf Monate | 2,2 [1,46, 2,94] | < 0,001 | 0 | 3,6 [2,16, 5,05] | < 0,001 | 52,5 |

Tabelle 39: Veränderung des flachen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation



Abbildung 27: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des flachen Keratomtriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.5.3.2 Keraring

In Tabelle 40 sind die Veränderungen des Kf-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Kerarings aufgeführt.

Zu allen drei Zeitpunkten konnte nach Insertion des Kerarings eine signifikante Abnahme in der FS Laser-Gruppe und der mechanischen Gruppe beobachtet werden.

Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups ist in der mechanischen Gruppe eine Abnahme um 3,24 dpt (95% CI: 1,99 bis 4,49, $p < 0,001$, $n = 2$) zu verzeichnen, wohingegen in der FS Laser-Gruppe die Abnahme 2,21 dpt (95% CI: 1,37 bis 3,06, $p < 0,001$, $n = 9$) beträgt. In der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation liegt eine geringe Heterogenität vor ($I^2 = 0\%$, $p = 0,51$), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe des FS Lasers als mittelgroß zu bewerten ist ($I^2 = 53,9\%$, $p = 0,02$).

Bei der Sechs-Monats-Kontrolluntersuchung ist in der mechanischen Gruppe eine Verbesserung um 2,66 dpt zu beobachten (95% CI: 1,37 bis 3,96, $p < 0,001$, $n = 5$), wohingegen in der Gruppe des FS Lasers eine Verbesserung von 2,35 dpt (95% CI: 1,44 bis 3,26, $p < 0,001$, $n = 15$) zu verzeichnen ist. In beiden Gruppen liegt eine mittelgroße bis hohe Heterogenität vor ($I^2 = 68,6\%$, $p = 0,01$; $I^2 = 80,7\%$, $p < 0,001$). Anhand des Funnel-Plots und des Egger-Tests lässt sich in der FS Laser-Gruppe zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups auf keinen Publikationsbias schließen ($p = 0,95$; siehe Abbildung 28).

Beim Zwölf-Monats-Follow-up ist in der mechanischen Gruppe eine Abnahme des Kf-Wertes von 2,23 dpt (95% CI: 1,03 bis 3,43, $p < 0,001$, $n = 2$) und in der FS Laser-Gruppe eine Abnahme von 1,95 dpt, 95% CI: 1,26 bis 2,64, $p < 0,001$, $n = 8$) zu verzeichnen. In beiden Gruppen ist die Heterogenität als gering zu bewerten ($I^2 = 27,1\%$, $p = 0,38$; $I^2 = 0\%$, $p = 0,94$). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten der Drei- und Zwölf-Monats-Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu diesen Zeitpunkten unter zehn liegt.

| Keraring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | 2,21 [1,37, 3,06] | < 0,001 | 53,9 | 3,24 [1,99, 4,49] | < 0,001 | 0 |
| Sechs Monate | 2,35 [1,44, 3,26] | < 0,001 | 80,7 | 2,66 [1,37, 3,96] | < 0,001 | 68,6 |
| Zwölf Monate | 1,95 [1,26, 2,64] | < 0,001 | 27,1 | 2,23 [1,04, 3,43] | < 0,001 | 0 |

Tabelle 40: Veränderung des flachen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation

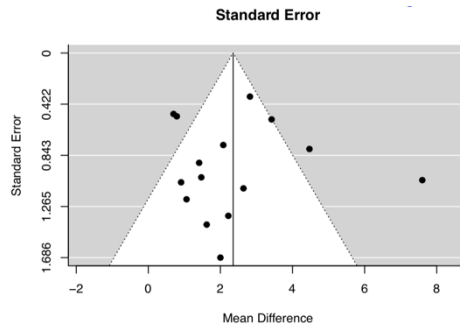


Abbildung 28: Funnel Plot der Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des flachen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

5.5.3.3 MyoRing

In Tabelle 41 sind die Veränderungen des Kf-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des MyoRings aufgeführt.

Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups liegt in beiden Gruppen nur eine evaluierbare Studie vor.

Zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups hat sich der Kf-Wert in der FS Laser-Gruppe um 5,57 dpt (95% CI: 4,56 bis 6,59, $p < 0,001$, $n = 3$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation um 2,45 dpt (95% CI: 1,14 bis 3,77, $p < 0,001$, $n = 2$) signifikant verbessert. In beiden Gruppen ist die Verbesserung signifikant und es liegt eine vernachlässigbar geringe Heterogenität vor ($I^2 = 0\%$, $p = 0,42$; $I^2 = 0\%$, $p = 0,8$).

Es liegt nur eine Studie vor, welche die Veränderung des Kf-Wertes zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups nach mechanischer Dissektion auswertet. Zu den Veränderungen des Kf-Wertes nach FS Laser-Präparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups konnten keine Studien detektiert werden. Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen Studien zu allen drei Zeitpunkten unter zehn liegt.

| MyoRing | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|-------------------|---------|------------------|-------------------|---------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | Nur eine Studie | | | Nur eine Studie | | |
| Sechs Monate | 5,57 [4,56, 6,59] | < 0,001 | 0 | 2,45 [1,14, 3,77] | < 0,001 | 89,5 |
| Zwölf Monate | Keine Studie | | | Nur eine Studie | | |

Tabelle 41: Veränderung des flachen Keratomtriewertes nach MyoRing-Implantation

5.5.3.4 Ferrara Ring

In Tabelle 42 sind die Veränderungen des Kf-Wertes drei, sechs und zwölf Monate nach Implantation des Ferrara Rings aufgeführt.

Zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups liegt nur eine Studie zur Veränderung des Kf-Wertes nach Implantation des Ferrara Rings mithilfe des FS Lasers vor. In der Gruppe mit mechanischer Tunnelpräparation liegt bei einer geringen Heterogenität zum Zeitpunkt der Drei-Monats-Kontrolluntersuchung die Verbesserung des Kf-Wertes bei 1,93 dpt (95% CI: 0,55 bis 3,32, n = 4, I² = 19,6%). Diese ist signifikant (p = 0,006).

Studien, die Kf zum Zeitpunkt von sechs Monaten p.op. auswerteten, weisen nach FS Laser-Präparation bei mittelgroßer Heterogenität eine Verbesserung um 0,41 dpt (95% CI: -0,34 bis 1,16, p < 0,001, n = 6, I² = 71,6%) auf. Die Verbesserung ist nicht signifikant (p = 0,28). Es liegt nur eine Studie mit mechanischer Dissektion und Sechs-Monats-Follow-up mit Untersuchung des Kf-Wertes vor.

Beim Zwölf-Monats-Follow-up hat sich der Kf-Wert in der mechanischen Gruppe um 2,69 dpt, (95% CI: -1,08 bis 6,47, n = 2) und in der FS Laser-Gruppe um 1,61 dpt (95% CI: 0,6 bis 2,61, n = 2) verbessert. Die Verbesserung in der mechanischen Gruppe ist nicht statistisch signifikant (p = 0,19), wohingegen sie in der Gruppe der FS Laser-Tunnelpräparation signifikant ist (p = 0,002). In der Gruppe des FS Lasers liegt eine vernachlässigbar geringe Heterogenität vor (I² = 0%, p = 0,86), wohingegen die Heterogenität in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation hoch ist (I² = 81%, p = 0,02). Eine Auswertung der Funnel Plots und die Durchführung des Egger-Tests ist zu den Zeitpunkten der Follow-ups nicht sinnvoll, da die Anzahl der eingeschlossenen unter zehn liegt.

| Ferrara Ring | FS Laser | | | Mechanisch | | |
|--------------|--------------------|--------|------------------|--------------------|--------|------------------|
| | WMD [CI] | p-Wert | I ² % | WMD [CI] | p-Wert | I ² % |
| Drei Monate | Nur eine Studie | | | 1,93 [0,55, 3,32] | 0,006 | 19,6 |
| Sechs Monate | 0,41 [-0,34, 1,16] | 0,28 | 71,6 | Nur eine Studie | | |
| Zwölf Monate | 1,61 [0,6, 2,61] | 0,002 | 0 | 2,69 [-1,08, 6,47] | 0,19 | 81 |

Tabelle 42: Veränderung des flachen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation

5.6 Prävalenz der Komplikationen

5.6.1 Ringsegmentmigration

Die gepoolte Prävalenz der Ringsegmentmigration liegt in der FS Laser-Gruppe bei 0,3% (95% CI: 0,00 bis 0,008; siehe Abbildung 27A), wohingegen sie in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation bei 2,9% (95% CI: 0,003 bis 0,07; siehe Abbildung 27B) liegt. In der Gruppe des FS Lasers liegt eine geringe Heterogenität ($I^2 = 24,2\%$) und in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 44,95\%$).

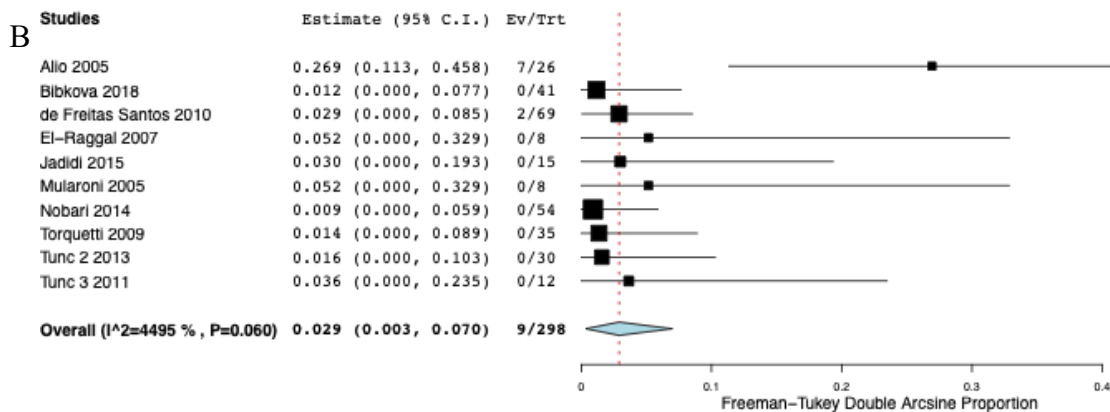
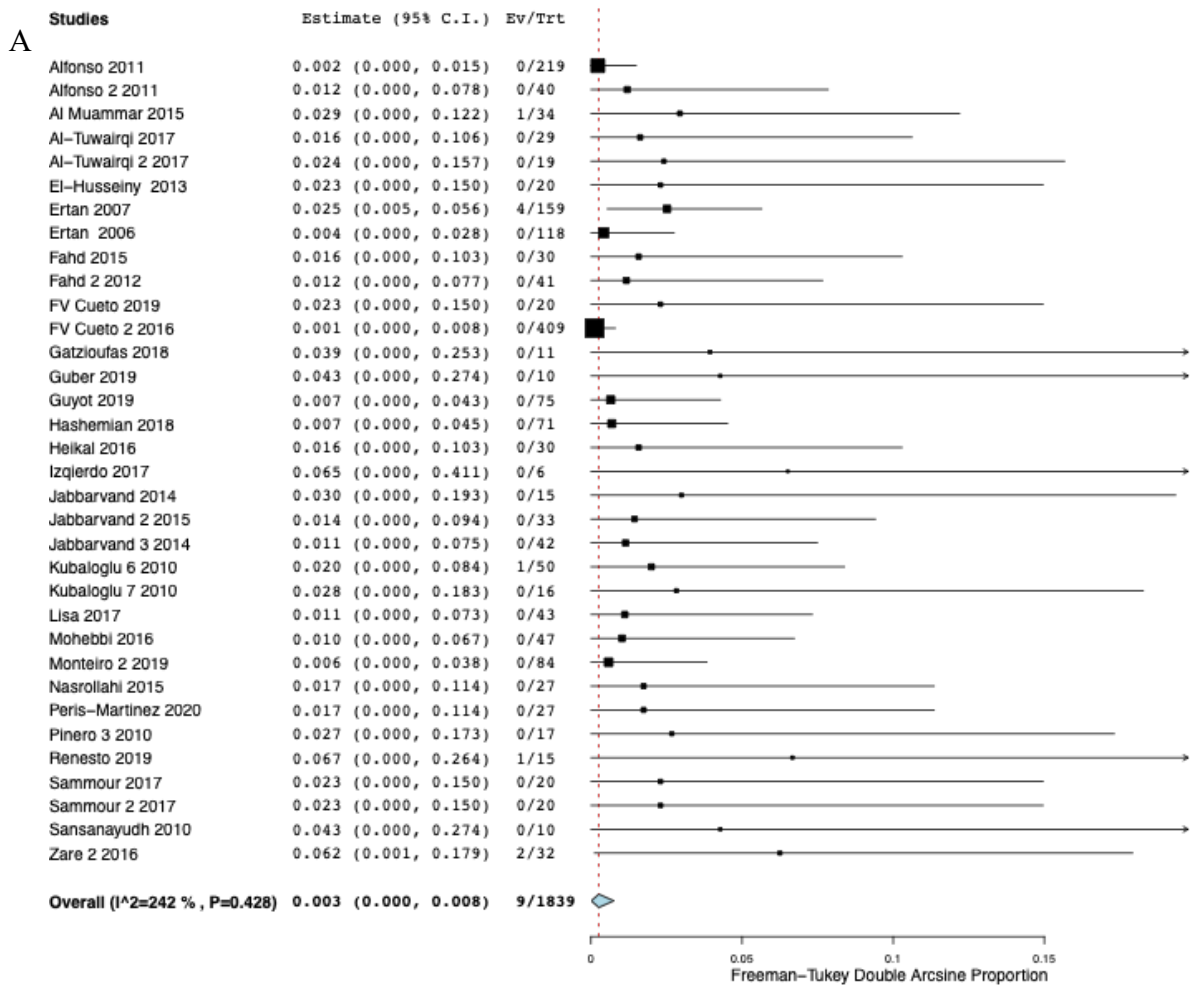


Abbildung 29: Gepoolte Prävalenz der Ringsegment-Migration

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

5.6.2 Korneale Neovaskularisation

Die gepoolte Prävalenz kornealer Neovaskularisationen nach FS Laser-Präparation liegt bei 0,7% (95% CI: 0,001 bis 0,015; siehe Abbildung 28A). Die Heterogenität ist aufgrund von $I^2 = 25,5\%$ als gering zu bewerten. Nach mechanischer Dissektion liegt die gepoolte Prävalenz kornealer Neovaskularisationen bei geringer Heterogenität bei 2,3% (95% CI: 0,004 bis 0,05; $I^2 = 0$; siehe Abbildung 28B).

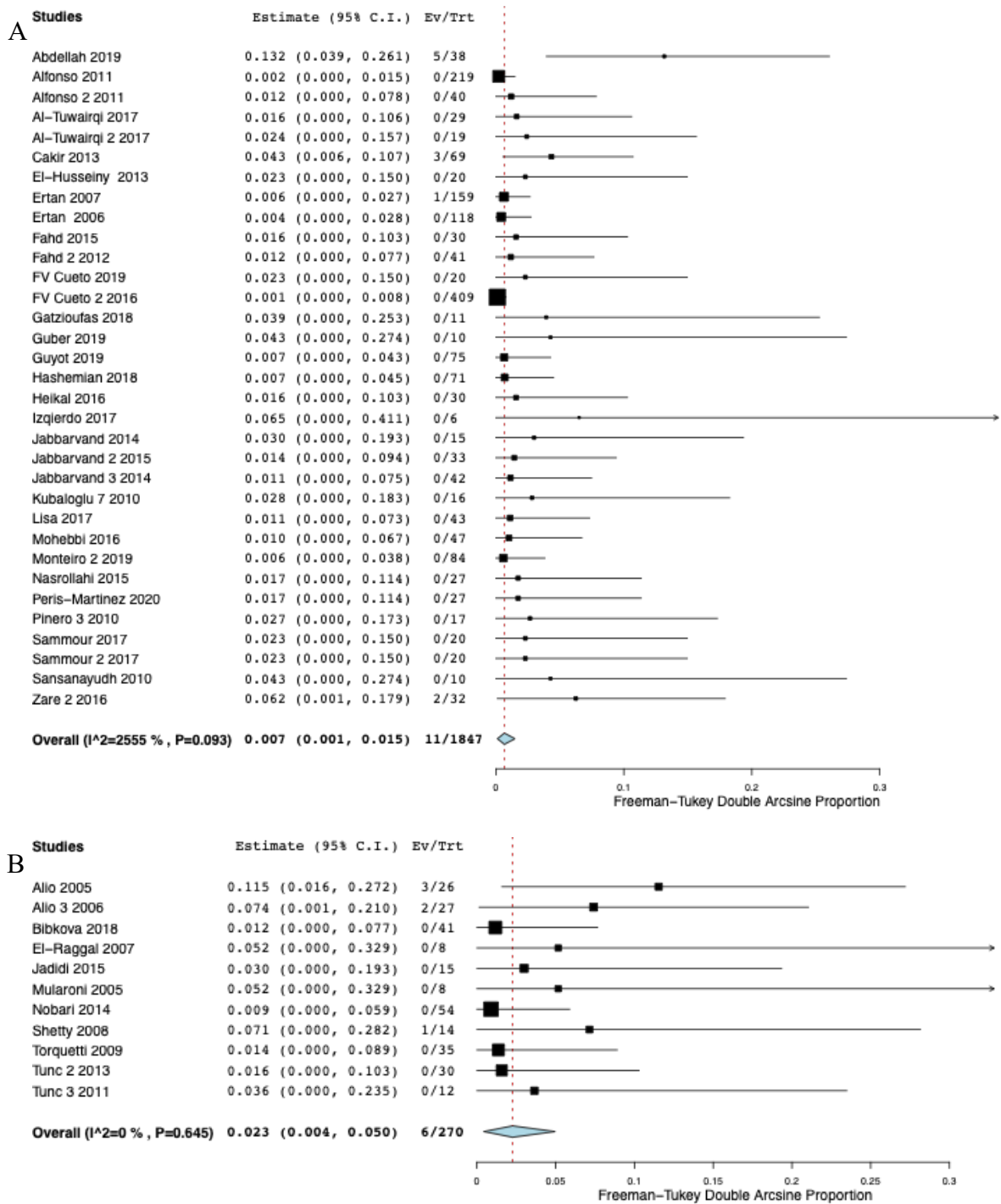


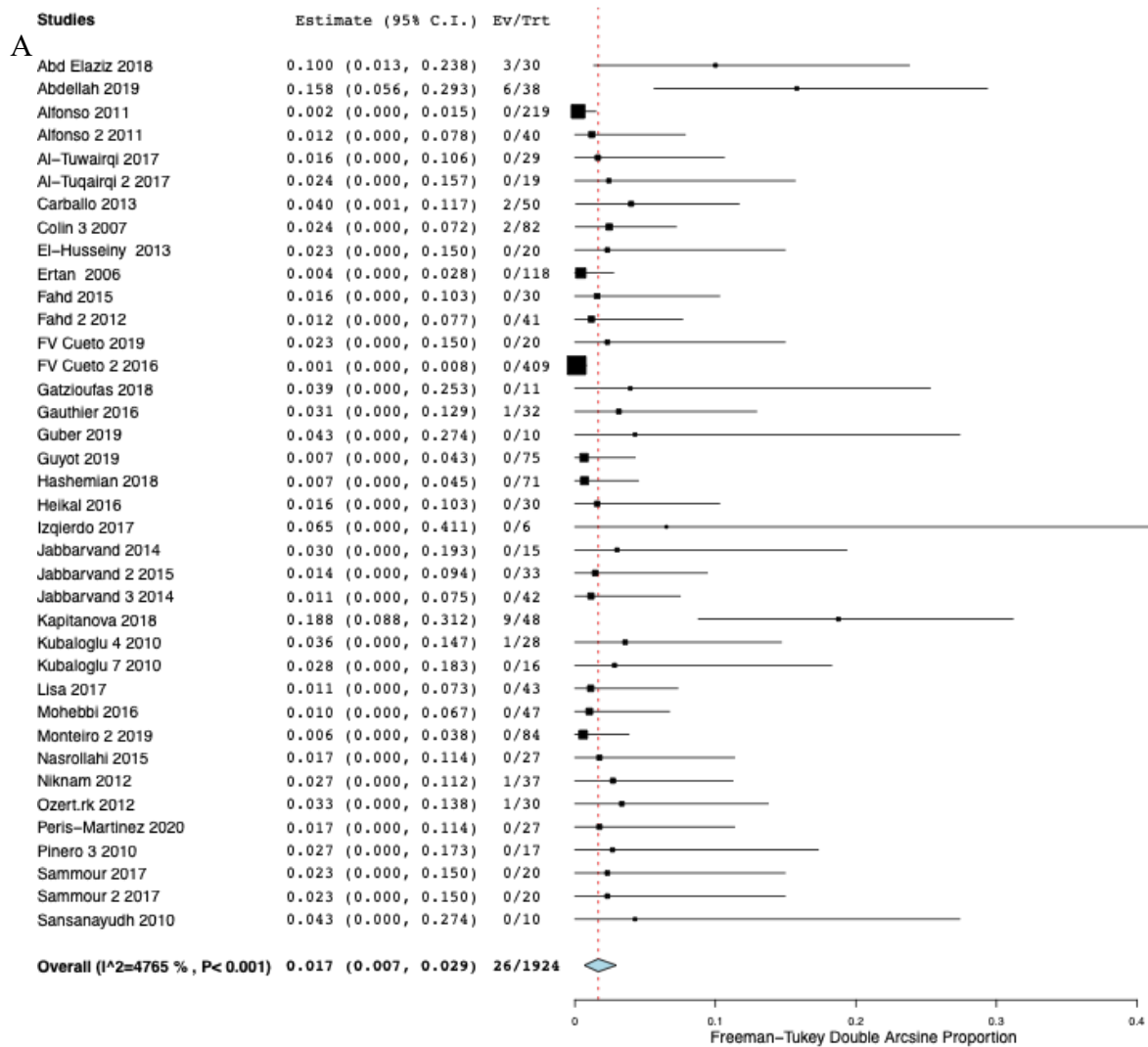
Abbildung 30: Gepoolte Prävalenz der kornealen Neovaskularisationen

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

5.6.3 Ringsegmentextrusion

Die gepoolte Prävalenz der Ringextrusionen in der FS Laser-Gruppe liegt bei 1,7% (95% CI: 0,007 bis 0,029; siehe Abbildung 29A). In der Gruppe des FS Lasers liegt eine mittlere Heterogenität vor ($I^2 = 47,65\%$). Nach mechanischer Tunnelpräparation liegt die gepoolte Prävalenz der Ringextrusionen bei 4,7% (95% CI: 0,026 bis 0,72; siehe Abbildung 29B). In dieser Gruppe liegt eine mittelgroße Heterogenität vor ($I^2 = 52,27\%$).



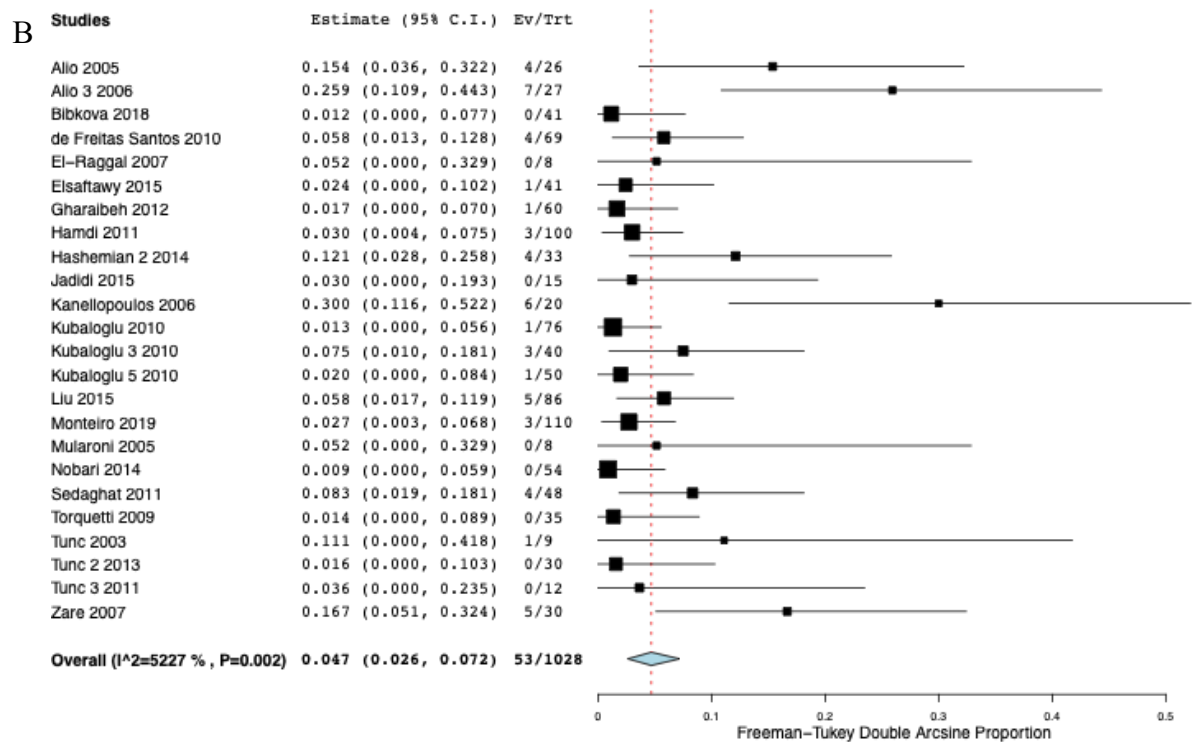


Abbildung 31: Gepoolte Prävalenz der Extrusion

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

5.6.4 Hornhautperforation

Die gepoolte Prävalenz kornealer Perforationen liegt bei Nutzung des FS Lasers bei 0,1% (95% CI: 0,00 bis 0,004; siehe Abbildung 30A) und bei mechanischer Dissektion bei 1,1% (95% CI: 0,002 bis 0,026; siehe Abbildung 30B). Die Heterogenität ist in beiden Gruppen als gering zu bewerten ($I^2 = 0\%$; $I^2 = 0\%$).

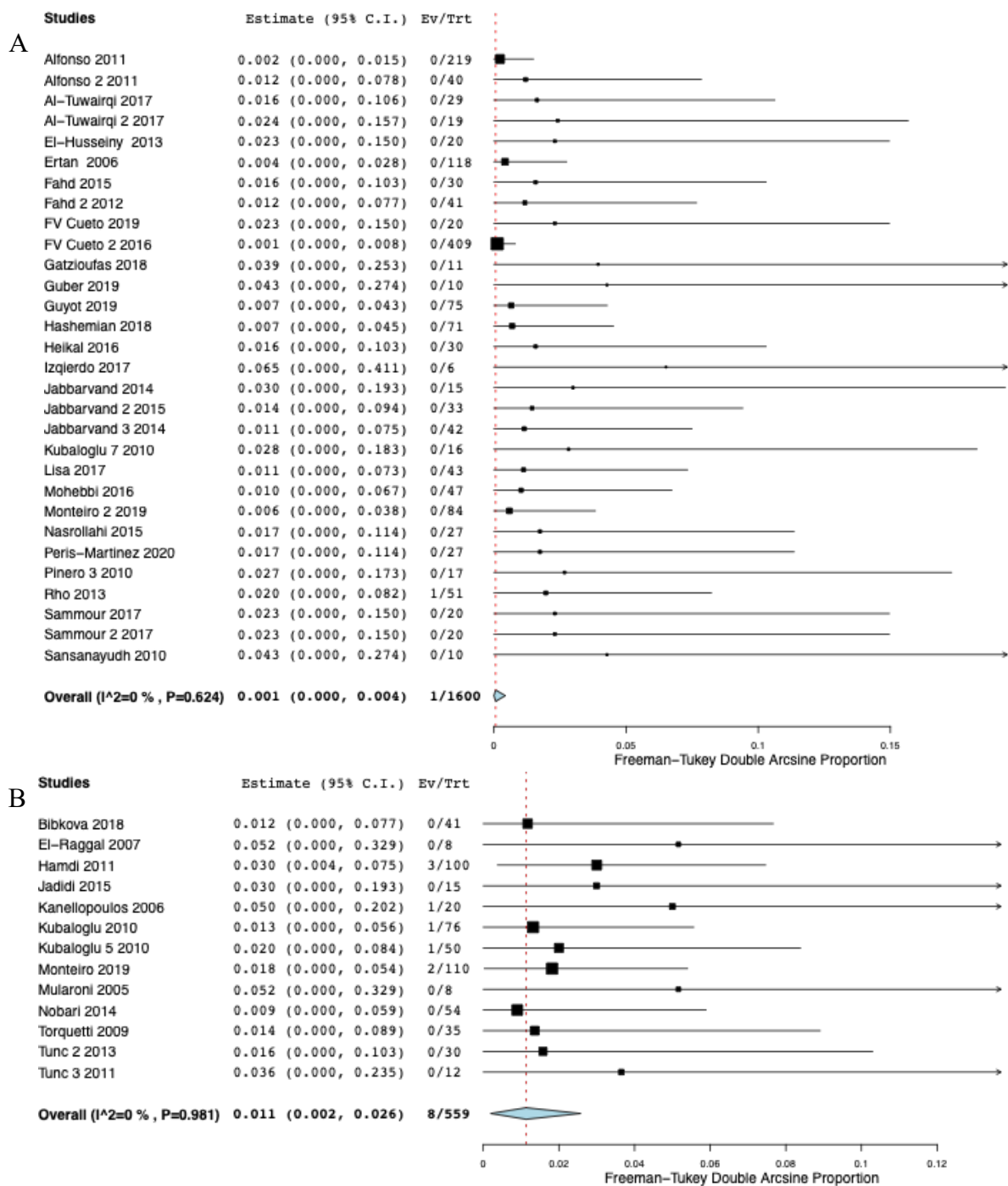


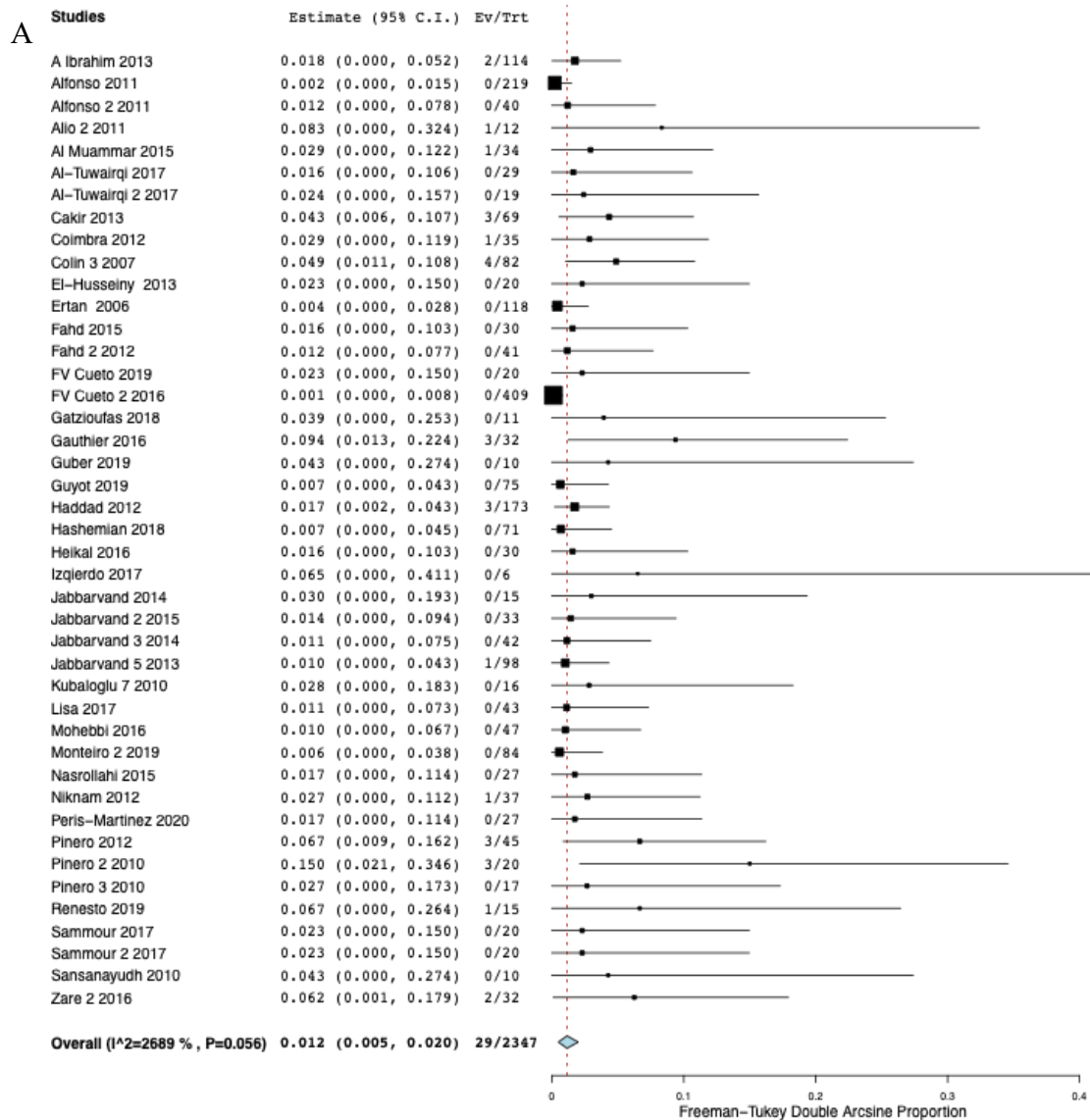
Abbildung 32: Gepoolte Prävalenz der kornealen Perforationen

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

5.6.5 Explantation

Die Explantationsrate beträgt in der FS Laser-Gruppe 1,2% (95% CI: 0.005 bis 0.02; siehe Abbildung 31A) und nach mechanischer Dissektion 6,3% (95% CI: 0,039 bis 0,91; siehe Abbildung 31B). Die Heterogenität ist in beiden Gruppen gering ($I^2 = 26,89\%$, $I^2 = 25,5\%$).



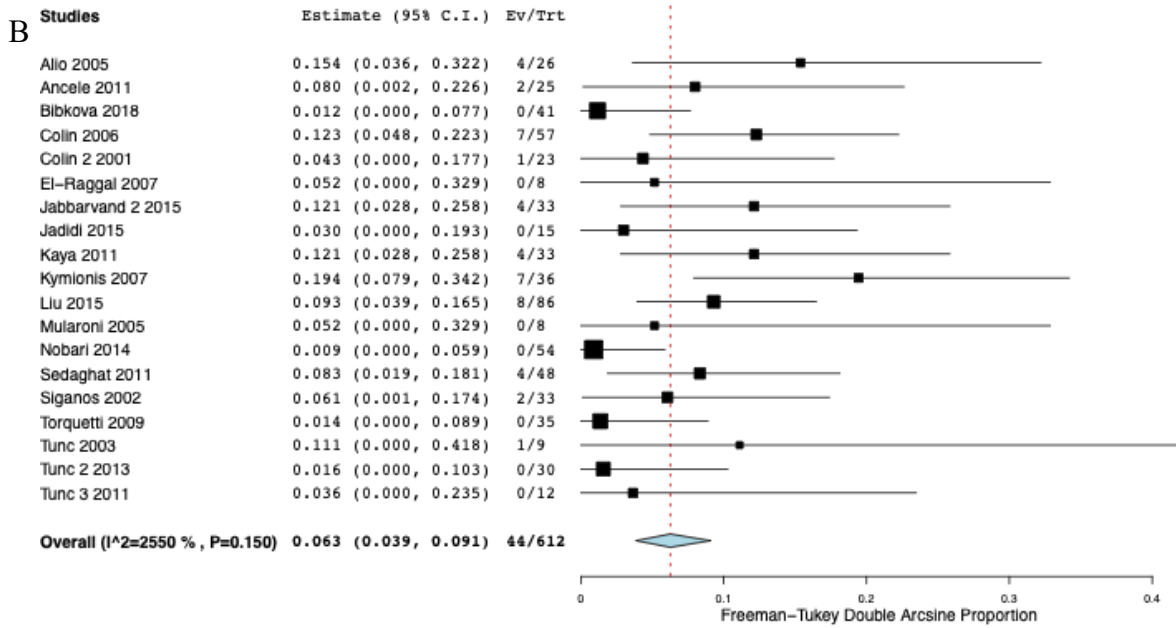


Abbildung 33: Gepoolte Prävalenz der Explantation

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

5.6.6 Dezentrierung

Die gepoolte Prävalenz von Dezentrierungen der ICRS und des MyoRings beträgt in der Gruppe des FS Lasers 0,7% (95% CI: 0,002 bis 0,016; siehe Abbildung 32A). Die Heterogenität ist gering ($I^2 = 22,09\%$). Bei der mechanischen Dissektion beträgt die gepoolte Prävalenz bei geringer Heterogenität 1,6% (95% CI: 0,005 bis 0,033; $I^2 = 0$; siehe Abbildung 32B).

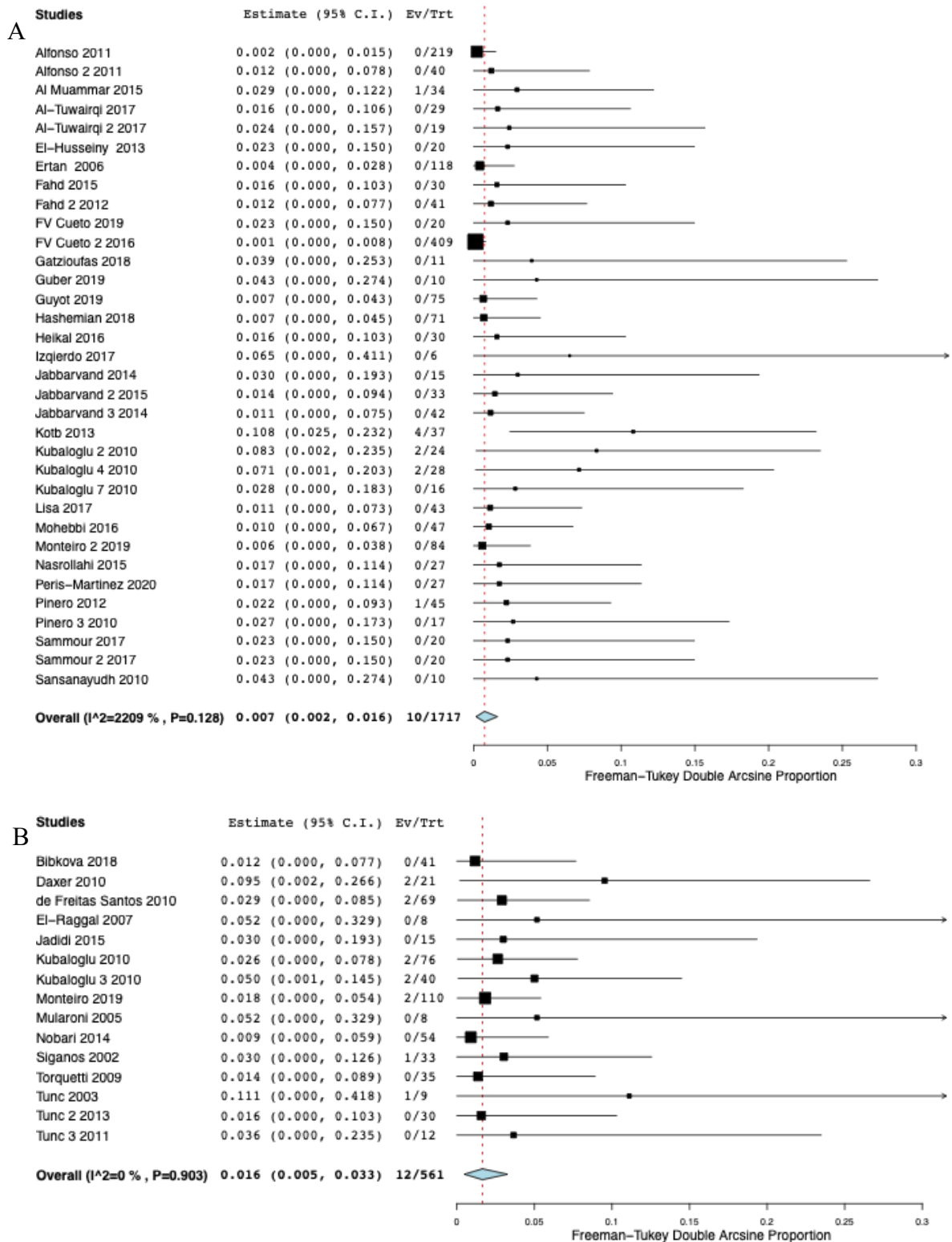


Abbildung 34: Gepoolte Prävalenz der Dezentrierung

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

5.6.7 Infektiöse Keratitis

Die gepoolte Prävalenz von Keratitiden beträgt in der FS Lasers-Gruppe 0,1% (95% CI: 0,00 bis 0,005; siehe Abbildung 33A), während sie in der mechanischen Gruppe 1,2% (95% CI: 0,003 bis 0,026; siehe Abbildung 33B) beträgt. Die Heterogenität ist in beiden Gruppen gering ($I^2 = 0\%$, $I^2 = 0\%$).

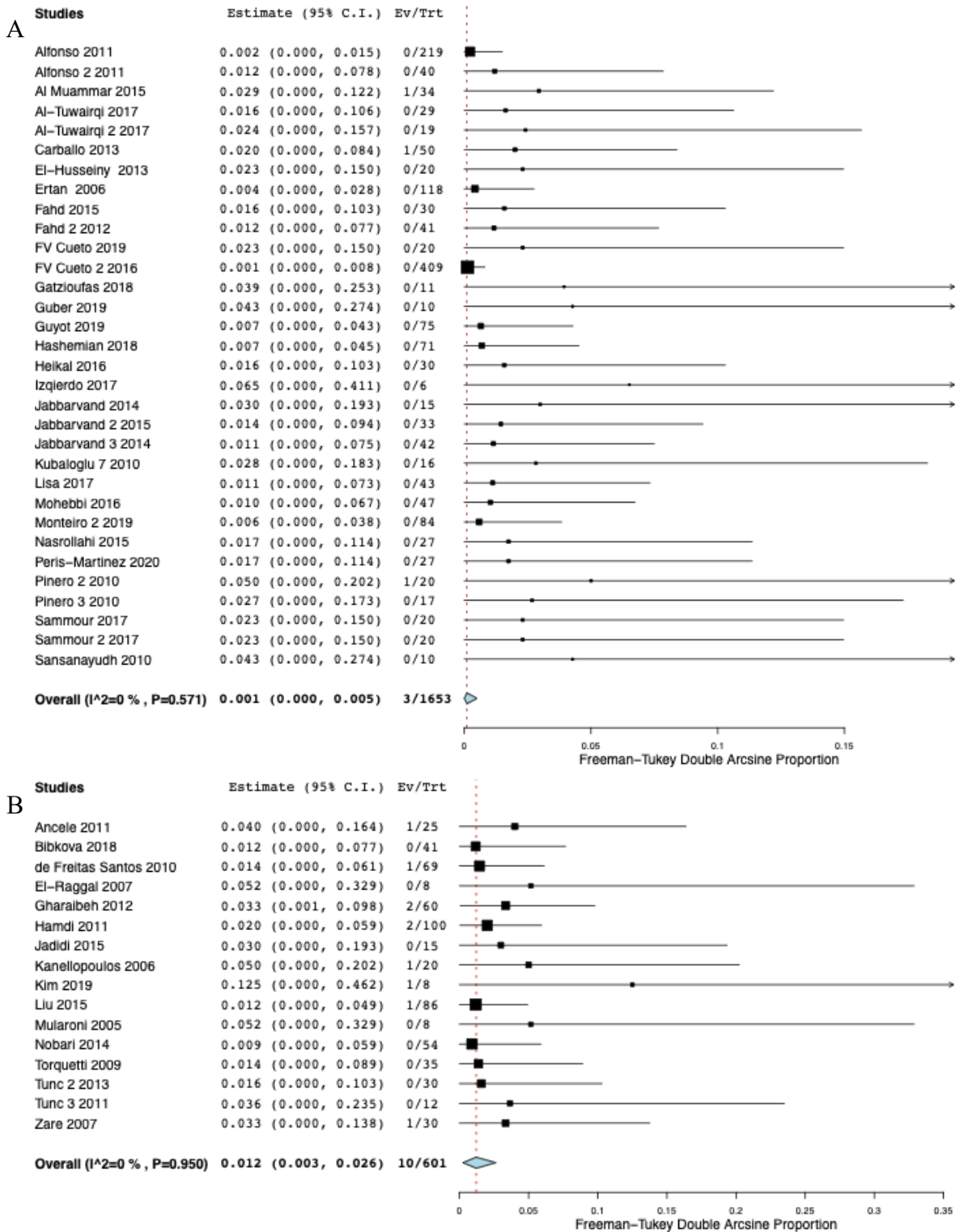


Abbildung 35: Gepoolte Prävalenz der Keratitiden

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

5.6.8 Superfizielle Deplatzierung

Die gepoolte Prävalenz einer zu superfiziellen Platzierung der ICRS bzw. des MyoRings beträgt 0% (95% CI: 0,0 bis 0,003; siehe Abbildung 34A) bei Nutzung des FS Lasers und 1,7% (95% CI: 0,05 bis 0,034; siehe Abbildung 34B) bei mechanischer Tunnelpräparation. Die Heterogenität ist in beiden Gruppen gering ($I^2 = 0\%$, $I^2 = 0\%$).

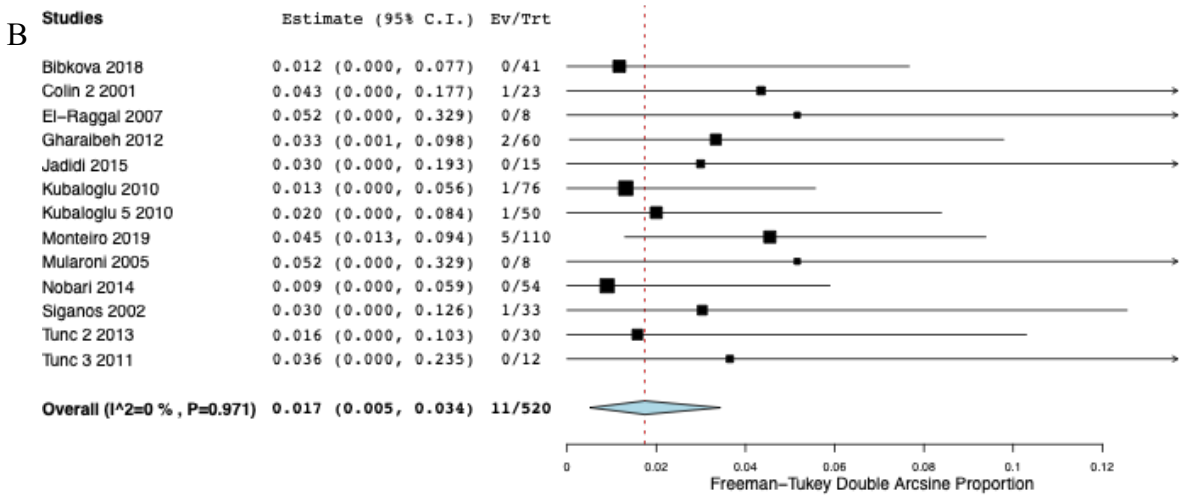
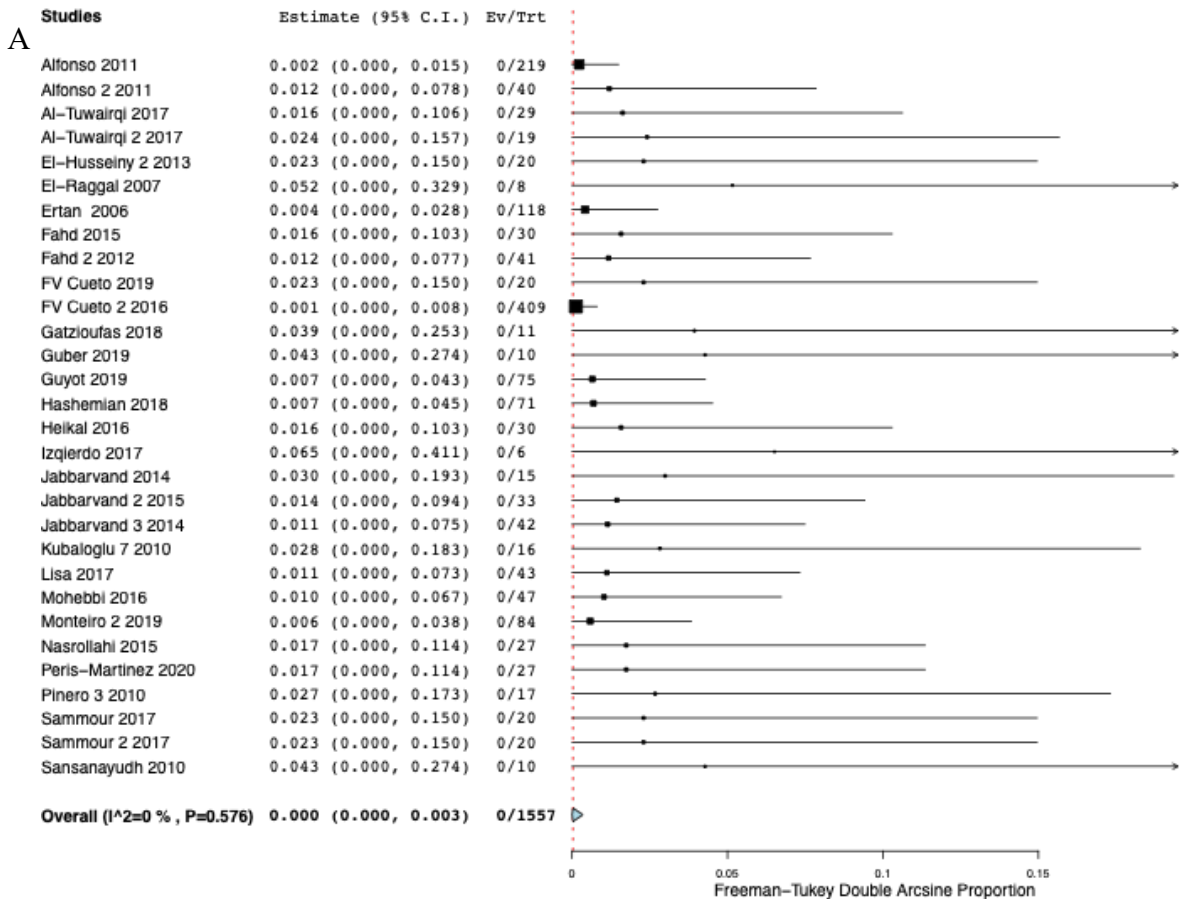


Abbildung 36: Gepoolte Prävalenz der zu superfiziellen Platzierung in der

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

5.6.9 Hornhauteinschmelzung

Die gepoolte Prävalenz der Hornhauteinschmelzung beträgt in der Gruppe des FS Lasers 0,7% (95% CI: 0.001 bis 0.016; siehe Abbildung 35A), wohingegen sie in der Gruppe der mechanischen Dissektion 1,3% beträgt (95% CI: 0,001 bis 0,035; siehe Abbildung 35B). Die Heterogenität ist in beiden Gruppen gering ($I^2 = 27,75\%$, $I^2 = 0\%$).

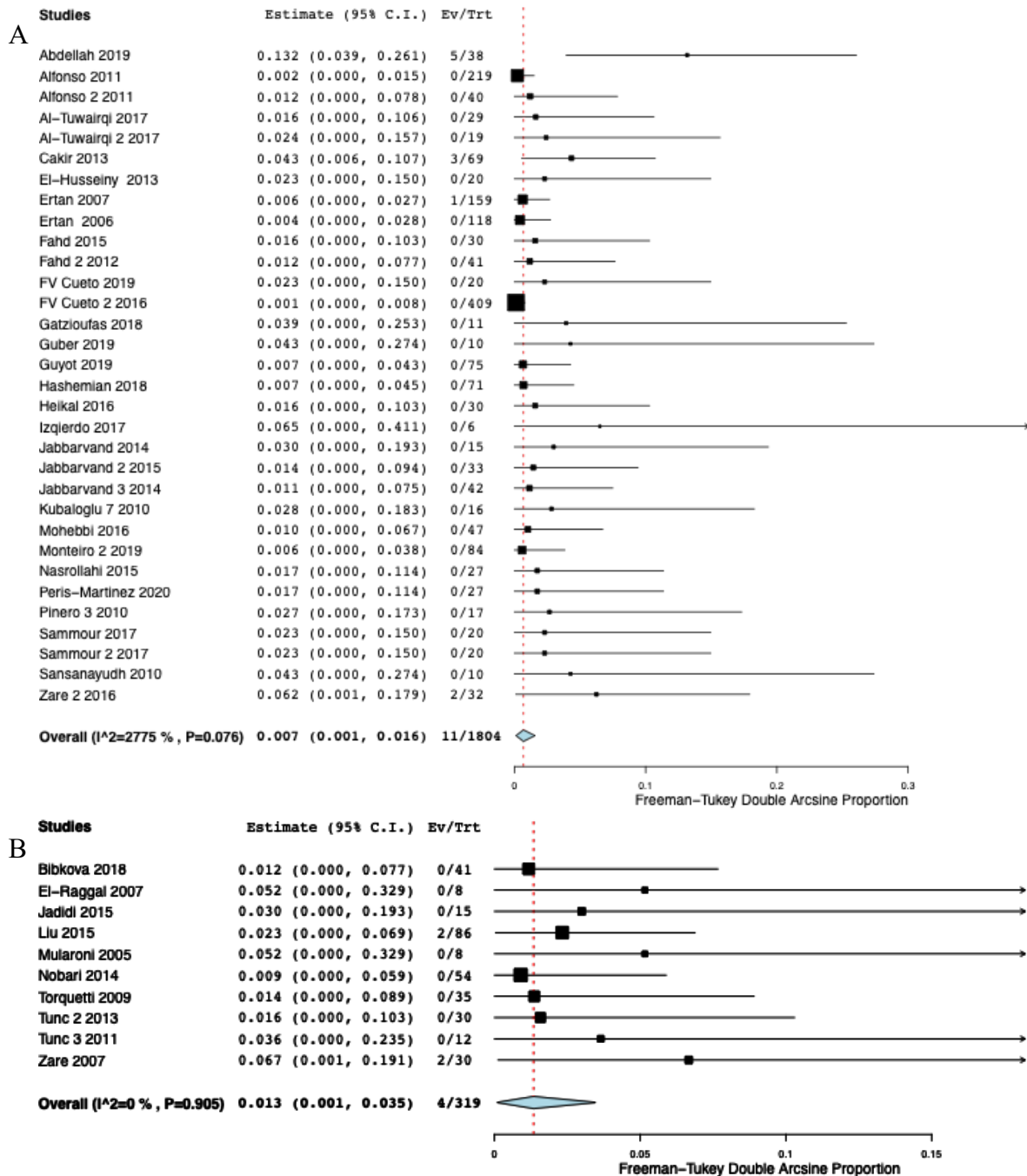


Abbildung 37: Gepoolte Prävalenz der Hornhauteinschmelzung in der
A: Femtosekundenlaser-Gruppe
B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

6. Diskussion

6.1 Diskussion der Methodik

In dieser Metaanalyse wurden die Veränderungen der klinischen Parameter nach Implantation der intrakornealen Ringsegmente und des MyoRings bei der Behandlung von Keratektasien evaluiert und die klinischen Ergebnisse und Komplikationsraten zwischen mechanischer und FS Laser-assistierter Tunnelkreation verglichen.

Eine Metaanalyse, welche alle verfügbaren Studien zur Behandlung der Keratektasien mithilfe der Implantation der ICRS oder des MyoRings zusammenfasst, wurde bisher noch nicht durchgeführt. Es gibt eine Metaanalyse von Janani et al., welche im Jahr 2019 veröffentlicht wurde und die Ergebnisse der Implantation des MyoRings auswertet, diese jedoch nicht im Hinblick auf die zwei Arten der Tunnelpräparation getrennt analysiert und zudem nur Studien bis zum Jahr 2017 berücksichtigt (Janani et al., 2019). In dieser Arbeit konnten zahlreiche weitere Studien berücksichtigt werden, welche bis April 2020 veröffentlicht wurden (Al-Tuwairqi et al., 2017; Khorrami-Nejad et al., 2019; Yousif & Said, 2018; Khosravi et al., 2017; Lisa et al., 2018).

Bei der Literaturrecherche konnten keine kontrollierten prospektiv-randomisierten Studien bzw. prospektiv randomisierte Doppelblindstudien detektiert werden. Infolge dessen wurden sämtliche Studien, auch niedrigerer Evidenzklassen, mit Prä-Post- bzw. Prä-Follow-up-Design miteingeschlossen.

Damit das Ergebnis einer Metaanalyse auch der tatsächlichen Datenlage entspricht, sollten möglichst alle relevanten Publikationen der untersuchten Thematik in die statistische Analyse miteingeschlossen werden. Dies wurde durch eine umfassende Suche in den Datenbanken Pubmed und Cochrane Library sowie im Internet und durch das händische Durchsuchen von Querverweisen versucht zu realisieren. Insgesamt konnten 115 Studien eingeschlossen werden, weswegen von einem repräsentativen Ergebnis auszugehen ist.

In dieser Arbeit wurden acht klinische Messparameter sowie neun wesentliche Komplikationen ausgewertet. Die Anzahl der in den jeweiligen Studien aufgeführten Parameter divergierte, sodass für einige Parameter, trotz der hohen Anzahl an eingeschlossenen Studien, die Ergebnisse aus nur kleinen Datensätzen stammen.

Für die Auswertung des klinischen Erfolgs sind neben den in dieser Arbeit ausgewerteten Parametern auch andere Messwerte, bspw. die Wellenfrontfehler höherer Ordnung (High Order Aberrations, HOA) oder die Pachymetrie, von Bedeutung. Zu diesen konnten jedoch im Rahmen der Suche nur ungenügend Studien detektiert werden, sodass diese Parameter nicht im Rahmen der Metaanalyse ausgewertet werden konnten.

Bezüglich der Patientenkollektive stellen die Patienten mit Keratokonus den größten Anteil dar. Jedoch wurden auch Studien mit Patienten, die an einer PMD oder einer Post-LASIK-Ektasie erkrankt sind, eingeschlossen, da viele Studien die Ergebnisse der Behandlung der verschiedenen Keratektasien nicht getrennt auswerten. Zudem unterschieden sich auch die Schweregrade der Erkrankungen, da die Mehrzahl der Studien den Krankheitsgrad bei der Auswertung ihrer Ergebnisse nicht berücksichtigen.

Nicht alle Studien lieferten explizite Ein- und Ausschlusskriterien mit Informationen über Vorerkrankungen oder -behandlungen der Patienten. Zudem wurden auch die Mindestanforderungen für eine Implantation der ICRS bzw. des MyoRings unterschiedlich gewählt oder nicht beschrieben, sodass die Mindestanforderungen an die Hornhautdicke, den Kmax-Wert, eine mögliche präoperative Progression der Erkrankung sowie die Implantationstiefe keine Berücksichtigung bei der Selektion der Studien finden konnten. Die Mindestanforderungen, die vom jeweiligen Operateur für die Implantation eines ICRS bzw. des MyoRings gestellt werden, können erheblichen Einfluss auf das klinische Ergebnis haben.

Nach Einführung der ICRS erwiesen sich diese zunächst als ungeeignet für Patienten mit einem bereits fortgeschrittenen Keratokonus (Torquetti et al., 2014; Sadoughi et al., 2017; Alió et al., 2006). Diese Ergebnisse konnten durch neuere Publikationen, bei denen auch bei fortgeschrittenem Keratokonus, unter der Voraussetzung, dass in diesem Stadium keine zentrale Hornhautnarbe vorliegt, gute Ergebnisse erzielt werden, widerlegt werden (Zare et al., 2016; Torquetti et al., 2018; Abd Elaziz et al., 2018). Vega-Estrada et al. konnten die größte Verbesserung des Km-Wertes und des SE bei den Patienten mit bereits fortgeschrittenem Keratokonus beobachten (Vega-Estrada et al., 2013). Dies steht im Einklang mit dem Ergebnis der Publikation von Ertan et al., die ebenfalls die größte Reduktion der Hornhautkrümmung bei Patienten mit bereits fortgeschrittenem Keratokonus beobachteten (Ertan et al., 2008). Alió et al. berichteten in ihrer Publikation, dass die größte Verbesserung des Km-Wertes, des Visus c.c. sowie des Visus s.c. bei den Patienten mit bereits fortgeschrittener Erkrankung beobachtet werden kann (Alió et al., 2014). Peña-García et al. zeigten, dass bei Patienten, die präoperativ

eine reduzierte Sehschärfe aufweisen, mit einer höheren Sicherheit davon ausgegangen werden kann, dass diese von der Implantation der ICRS profitieren, als bei Patienten, die bereits präoperativ einen Visus von 0,1 LogMAR oder besser aufweisen (Peña-García et al., 2014). Sakellaris et al. beschrieben den Grad der Erkrankung, die Lokalisation des Konus sowie den gewählten ICRS als die entscheidenden Parameter für die Höhe der Verbesserung des Visus c.c. (Sakellaris et al., 2019), wohingegen Gatzioufas et al. die Lage des Konus als irrelevant einschätzten (Gatzioufas et al., 2018).

Zudem konnten auch die Gradzahlen der Ringsegmente, die Anzahl der implantierten Ringsegmente sowie ihre Positionierung keine Berücksichtigung bei der Selektion der Studien finden, da die Selektion der Ringe zwar anhand der Nomogramme der Hersteller erfolgen kann, diese jedoch, u.a. weil an diesen bemängelt wird, dass sie auf anekdotischer Evidenz oder sehr subjektiven Parametern beruhen würden (Vega-Estrada & Alió, 2016), nicht von allen Operateuren befolgt werden. Hierdurch kann der Erfolg der Implantation beeinflusst werden (Rocha et al., 2019). Ferrara et al. geben an, dass die Gradzahl der ICRS in Abhängigkeit von der Konuslage gewählt werden sollte: ICRS mit einer größeren Gradzahl seien für Nipple- oder zentralen Konus geeignet, wohingegen die kürzeren ICRS bevorzugt bei astigmatischem Konus implantiert werden sollten (Ferrara & Torquetti, 2009). Sharma et al. berichten über bessere postoperative Ergebnisse nach Implantation von nur einem Segment (Sharma & Boxer Wachler, 2006), wohingegen Alió et al. darüber berichten, dass im Falle einer inferioren Ansteilung ein Segment implantiert werden sollte und im Falle eines zentralen Konus zwei Segmente die Methode der Wahl sein sollten (Alió et al., 2005). Vega-Estrada et Alió berichten hingegen, dass grundsätzlich zwei Segmente implantiert werden sollten (Vega-Estrada & Alió, 2016).

Beim zentralen Konus wird allgemein die Verwendung von zwei symmetrischen Segmenten empfohlen. Im Gegensatz dazu sollen beim parazentralen Keratokonus sowie der Post-LASIK-Ektasie asymmetrische Segmente oder einzelne Ringsegmente in Abhängigkeit von der Hornhauttopographie zur Anwendung kommen. Sharma et al. und Hashemi et al. konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen der Implantation eines oder zwei Segmente bei der Post-LASIK-Ektasie hinsichtlich des postoperativen SE feststellen (Sharma & Boxer Wachler, 2006; Hashemi et al., 2014). Jedoch berichteten Hashemi et al. über signifikant bessere Ergebnisse des Zylinders nach Implantation eines Segmentes. Abad et al. verglichen die Implantation von 90°/120°-Segmenten mit der von einem 150°-Segment. Sie implantierten das 120°-Segment im Bereich des Konus und das 90°-Segment gegenüber davon. Sie beobachteten,

dass die Implantation eines Segmentes zur Abflachung im Bereich der Implantationszone führt sowie zur kompensatorischen Ansteilung der Kornea auf der Gegenseite. Jedoch kommt es dabei zu keiner Abflachung entlang des Inzisionsmeridians. Dies konnten Abad et al. jedoch in der Gruppe mit asymmetrischer ICRS-Implantation beachten. Sie führen darauf die signifikant besseren Ergebnisse des Visus c.c. in der Gruppe mit asymmetrischer Implantation zurück (Abad et al., 2011).

Bei der PMD ist die Lokalisation der ICRS umstritten. Es wird zum einen eine Positionierung postuliert, bei der der Ort der höchsten Hornhautkrümmung halbiert wird, als auch eine Positionierung beidseits des horizontalen Meridians (Sakellaris et al., 2019).

In einer anderen Publikation beschrieben Peña-García et al., dass ein Winkel zwischen refraktiver und keratometrischer Achse von weniger als 15° einen positiven prognostischen Einfluss auf das postoperative Ergebnis hat (Peña-García et al., 2014).

Die Wahl der Dicke der Ringsegmente und des MyoRings ist entsprechend dem Modells des Arc-Shortening-Effekts abhängig von dem Ausmaß der erforderlichen Korrektur der Refraktion (Vega-Estrada & Alio, 2016).

Zudem sind, wie bereits beschrieben, verschiedene ICRS sowie der MyoRing erhältlich. Auch hier obliegt die Auswahl letztendlich dem Operateur (Sakellaris et al., 2019). Bei Patienten mit einer stark ausgeprägten Myopie sind der MyoRing, der aufgrund seines 360° -Designs einen stärkeren Arc-Shortening-Effekt bewirkt (Khorrani-Nejad et al., 2019) und die Intacs SK geeignet, da diese einen kleineren Durchmesser und ein entsprechendes Design aufweisen, wodurch eine stärkere Abflachung der Hornhaut erzielt werden kann (Vega-Estrada & Alio, 2016). In einer Studie von Hashemi et al. bewiesen sich der Keraring und der Ferrara Ring als effektiver bei der Behandlung des Keratokonus (Hashemi et al., 2018). Piñero et al. beschrieben eine mögliche Korrektur der exzentrischen Hornhautversteilung beim Keratokonus bei den Intacs als eingeschränkt, da die Aberrationen höherer Ordnung ansteigen sollen, was letztendlich eine Verschlechterung der Sehqualität sowie vermehrt Halos und Glares bewirkt. Dies führten diese auf den größeren Durchmesser der Intacs zurück, welcher eine geringere Abflachung des Hornhautzentrums bewirkt (Piñero et al., 2010; Kaya et al., 2011).

Auch die Anzahl der Patienten bzw. Augen in den Studien variierte erheblich. Die Fallzahlen variierten zwischen fünf und 409 Augen.

Es erfolgte die Auswertung der Daten bis zum Zwölf-Monats-Follow-up, da in diesem Zeitraum oft die Entscheidungen für eine weitere Therapie getroffen werden und nur wenig Studien mit Daten zu späteren Zeitpunkten bisher veröffentlicht wurden.

Damit die Ergebnisse einer Metaanalyse auch der tatsächlichen Datenlage entsprechen, sollten möglichst alle relevanten Publikationen der untersuchten Thematik miteingeschlossen werden. Um zu überprüfen, ob eine Verzerrung durch einen Publikationsbias vorliegt, weil bspw. nicht signifikante oder widersprüchliche Ergebnisse nicht veröffentlicht wurden, wurden Funnel Plots ab einer Studienanzahl von mindestens 10 erstellt und diese anschließend visuell ausgewertet. Ergänzt wurde dies durch die Durchführung des Egger-Regressionstests. Asymmetrische Funnel Plots können für ein Fehlen relevanter Studien sprechen. Im Falle einer geringen Anzahl eingeschlossener Studien muss dies jedoch nicht zwingend auf einen Publikationsbias hindeuten.

Eine Bewertung der Heterogenität der eingeschlossenen Studien ist ebenfalls notwendig. Eine erste Einschätzung der Heterogenität ist bereits bei visueller Betrachtung der Forest Plots und einer eventuell vorhandenen Streuung der Werte um die WMD möglich. Zur genaueren Quantifizierung wurde der Parameter I^2 berechnet. Obwohl die eingeschlossenen Studien ähnliche Ein- und Ausschlusskriterien aufweisen, wurden z.T. sehr unterschiedliche Effektstärken berechnet, wodurch sich eine hohe statistische Heterogenität der eingeschlossenen Studien zeigte. Mögliche Gründe dafür sind der unterschiedliche Grad der Erkrankung sowie die zwischen den Studien divergierenden Voraussetzungen (u.a. Hornhautdicke, maximaler Kmax-Wert) für eine Implantation. Bei der Auswertung von Ergebnissen mit einer hohen statistischen Heterogenität ist diese zu berücksichtigen.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

6.2.1 Effizienz der intrakornealen Ringsegmente

Die primäre Indikation für die Implantation der ICRS bzw. des MyoRings ist der Keratokonus in einem moderaten bis fortgeschrittenen Stadium, unter der Voraussetzung einer zentral klaren Hornhaut (Alió et al., 2006; Torquetti et al., 2014; Ertan & Kamburoglu, 2008; Ertan & Colin 2007). Andere Indikationen sind Patienten mit Hornhautirregularitäten nach radialer Keratotomie oder PKP, bei PMD, bei Post-LASIK-Ektasie oder nach okulärem Trauma. Die Effektivität und Sicherheit der ICRS-Implantation als minimalinvasive Therapie wurde bereits durch zahlreiche klinische Studien beschrieben (Giacomin et al., 2016; Sakellaris et al., 2019).

Das Ziel der Implantation ist die Verbesserung der Refraktion, die Verringerung des Astigmatismus sowie die Verbesserung des Visus (Ferrara et al., 2012) und somit auch das Hinauszögern einer PKP mit möglichen Komplikationen (Giacomin et al., 2016).

In dieser Metaanalyse konnte bestätigt werden, dass durch die Implantation der heutzutage am häufigsten verwendeten Ring- und Ringsegmentarten (Intacs, Intacs SK, Keraring, Ferrara Ring, MyoRing) eine Verbesserung des Visus, der Refraktion sowie der topographischen Werte erreicht werden kann.

Der Visus c.c., Visus s.c., Zylinder und Km-Wert haben sich nach Implantation der Intacs/Intacs SK, Keraring, MyoRing und Ferrara Ring unabhängig von der Art der Tunnelpräparation zu den Zeitpunkten des Drei-, Sechs- und Zwölf-Monats-Follow-ups signifikant verbessert.

Nach Implantation der Intacs/Intacs SK mithilfe des FS Lasers ergeben die Ergebnisse dieser Metaanalyse keine signifikante Verbesserung der Sphäre zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups, wohingegen sich die Sphäre zu den Zeitpunkten des Drei- und Sechs-Monats-Follow-up signifikant verbessert hat ($p < 0,05$).

Nach Implantation des Ferrara Rings mithilfe des FS Lasers konnte keine signifikante Verbesserung der Sphäre zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups gezeigt werden, wohingegen sich die Sphäre zu den Zeitpunkten des Drei- und Zwölf-Monats-Follow-up signifikant verbessert hat ($p < 0,05$). Zudem konnte durch die Implantation des Ferrara Rings nach mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des 12-Monats-Follow-ups keine signifikante Verbesserung des SE, des Ks-Wertes und des Kf-Wertes beobachtet werden. Diese Ergebnisse können jedoch auch in der geringen Einzahl eingeschlossener Studien begründet liegen.

Die Ergebnisse der Metaanalyse bestätigen die Ergebnisse von Al-Tuwairqi et al., die zeigten, dass sowohl der Keraring als auch der MyoRing den Visus s.c., SE, Sphäre, Zylinder und Km verbessern (Al-Tuwairqi et al., 2017). Im Gegensatz zu diesen wurde in dieser Metaanalyse jedoch gezeigt, dass auch der MyoRing eine signifikante Verbesserung des Visus c.c. bewirkt. Ebenfalls bestätigt wurden die Ergebnisse von Sammour et al., die in einer Studie zeigten, dass sowohl nach Implantation des MyoRings als auch des Ferrara Rings eine durchschnittliche Verbesserung des Visus, der Refraktion sowie des Astigmatismus zu erwarten ist (Sammour et al., 2017). Eine Verbesserung dieser Werte beobachteten ebenfalls Haddad et al., die in ihrer Studie den Keraring sowie die Intacs verglichen (Haddad et al., 2012).

Es sollte jedoch beachtet werden, dass die Ergebnisse bei jedem Patienten mit ektatischen Hornhautveränderungen variabel und unvorhersehbar sind, da die postoperative Entwicklung einer Keratektasie nur bedingt vorhersehbar ist (Sakellaris et al., 2019; Daxer et al., 2012) und die expliziten Gründe für ein besseres oder schlechteres postoperatives Ergebnis, wie zuvor anhand der Kriterien für die Patientenselektion dargestellt, noch unklar sind.

Vorteilhaft ist, dass die kornealen Krümmungsveränderungen nach Explantation der Intacs jederzeit komplett reversibel sind (Daxer, 2009) und sich auch additive operative Eingriffe wie die Implantation einer phaken oder aphaken Intraokularlinse sowie ein ergänzendes CXL nach Implantation der Intacs nicht verbieten (Maier & Rainhard, 2013). Zudem erhöhen die ICRS die Kontaktlinsentoleranz, sodass die Korrektur eines residuellen Refraktionsfehlers mittels RGP-CL möglich ist (Piñero & Alio, 2010).

6.2.2 Vergleich der Femtosekundenlaser-assistierten und mechanischen Implantation

Aufgrund der höheren Präzision und Sicherheit wird der FS Laser in den letzten Jahren zunehmend zur Tunnelpräparation verwendet (Park et al., 2019). Monteiro et al. beschreibt die Tunnelpräparation mithilfe des FS Lasers als schneller, leichter, mit einem höheren Grad an Sicherheit reproduzierbar und hinsichtlich Weite, Durchmesser und Tiefe genauer (Monteiro et al., 2018). In klinischen Studien konnte bereits gezeigt werden, dass die mechanische Dissektion intraoperative Gefahren wie epitheliale Defekte im Bereich der Keratotomie, Asymmetrien der Tiefe, akzidentielle Extensionen der Inzision in Richtung der Sehachse oder des Limbus oder gar eine Perforation der Vorderkammer durch eine zu tiefe Dissektion oder eine Perforation der Bowman-Membran in Folge einer zu oberflächlichen Präparation birgt (Heikal et al., 2017; Ertan et al., 2008; Silvestrini et al., 2004).

Die bisherigen Daten implizieren letztendlich ein geringeres Risiko für intra- oder postoperative Komplikationen sowie ein besseres klinisches Outcome bei Patienten im Falle der Verwendung des FS Lasers (Monteiro et al., 2019).

Das Ziel dieser Arbeit war es entsprechend, alle zuvor veröffentlichten Daten zu dieser Thematik quantitativ zusammenzufassen, um dadurch Rückschlüsse auf die bestmögliche Therapiestrategie ziehen zu können.

In der Metaanalyse konnte gezeigt werden, dass die Tunnelpräparation mit dem FS Laser ein geringeres Risiko für eine Dezentrierung (1,6% vs. 0,7%), eine superfizielle Deplatziierung (1,7% vs. 0%), eine Hornhautperforation (1,1% vs. 0,1%), eine Hornhauteinschmelzung (1,3% vs. 0,7%), eine Migration des Ringsegments (2,9% vs. 0,3%), eine korneale Neovaskularisation (2,3% vs. 0,7%), eine Ringextrusion (4,7% vs. 1,7%) und eine infektiöse Keratitis (1,2% vs. 0,1%) birgt. Zudem war auch die Explantationsrate in der FS Laser-Gruppe mit 1,2% im Vergleich zu 1,2% in der mechanischen Gruppe deutlich niedriger.

Die Ergebnisse dieser Metaanalyse bestätigen die Beobachtung von Monteiro et al., welche eine Komplikationsrate von 18,11% in der Patientengruppe nach mechanischer Tunnelpräparation angaben, wohingegen die Komplikationsrate in der FS Laser-Gruppe mit 3,6% nur ein Fünftel so hoch war (Monteiro et al., 2019).

Mögliche Begründungen für diese Ergebnisse sind, dass es mithilfe des FS Lasers möglich ist, die zuvor ermittelte optimale Tiefe (im Allgemeinen 70 bis 80% der peripheren Hornhautdicke) präzise treffen zu können (Mohammadpour et al., 2018; Barbara et al., 2016). Monteiro et al.

beschrieben signifikante Unterschiede zwischen der angestrebten und der erzielten Tunneltiefe bei der mechanischen Präparation (Monteiro et al., 2019). Eine zu superfizielle Präparation und Insertion kann zu Ring- bzw. Ringsegmentmigrationen führen, welche das Risiko für postoperative Ringsegmentextrusionen und Hornhauteinschmelzungen erhöht und somit zur Notwendigkeit der Explantation führen kann (Sakellaris et al., 2019; Bautista-Llamas et al., 2019; Khan et al., 2012).

Vorteilhaft ist bei der FS Laser-gestützten Implantation zudem, dass mithilfe eines Saugringes eine unkontrollierbare rotatorische Augenbewegung vermieden werden kann, wodurch eine gleichmäßige, präzise Tunnelpräparation gesichert ist und nachfolgende potenzielle Dezentrierungen bzw. asymmetrische Segmentplatzierungen vermieden werden können (Sakellaris et al., 2019).

Der Erfolg der mechanischen Tunnelpräparation ist stark von der Erfahrung des Operateurs abhängig (Piñero et al., 2009).

Mögliche Gründe für die höhere Explantationsrate in der mechanischen Gruppe sind ebenfalls die höhere Rate an ungenauer oder asymmetrischer Tunnelpräparation, die gegebenenfalls auch zu einer Überkorrektur des Astigmatismus führen können (Monteiro et al., 2018; Monteiro et al., 2019).

Entgegen der Erwartung, dass sich aufgrund der präziseren Dissektion mittels des FS Lasers auch die klinischen Endergebnisse von der Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation unterscheiden, konnten keine Unterschiede zwischen beiden Präparationsarten hinsichtlich der Verbesserung des Visus, der Refraktion und der Hornhautkrümmung gefunden werden. Auch die Ergebnisse von klinischen Studien von Monteiro et al. und Daxer et al. kamen zu diesem Schluss (Monteiro et al., 2019; Daxer et al., 2012).

Piñero et al. konnten eine geringere Verbesserung des Visus c.c. nach Verwendung der mechanischen Präparationsmethode beobachten und führten dies auf neue Aberrationen, vor allem sphärische Aberrationen und Primary Coma, die bei der mechanischen Präparation erzeugt werden, zurück. Im Weiteren konnten sie jedoch hinsichtlich der Refraktion und des Visus keine Unterschiede zwischen der Präparation mit dem FS Laser und der mechanischen Präparation feststellen (Piñero et al., 2009).

Im Gegensatz dazu beschrieben Rabinowitz et al. bessere Ergebnisse des Visus nach Implantation der Intacs mithilfe des FS Lasers, der Unterschied zur mechanischen Präparation war jedoch nicht statistisch signifikant (Rabinowitz et al., 2006).

Eine mögliche Erklärung dafür stellen Berichte dar, die die Erfahrung des Operateurs als wesentlichen Einflussfaktor auf die Differenz zwischen angestrebter und erzielter Tiefe und Präzision beschreiben (Monteiro et al., 2019). Dass die Genauigkeit der Tunnelpräparation bei der mechanischen Dissektion von der Erfahrung des Operateurs abhängt, ist bereits bekannt (Mounir et al., 2018). Während die Mehrzahl der Studien bei der Verwendung des FS Lasers über eine sehr präzise Tunnelpräparation ohne Diskrepanz der angestrebten und erzielten Tunneltiefe berichtet (Kouassi et al., 2012; Moneiro et al., 2018), berichteten Abd Elaziz et al. über eine erzielte Tunneltiefe von 61,7% bei einer angestrebten Tunneltiefe von 80% der Hornhautdicke (Abd Elaziz et al., 2018). Ähnliches berichteten Barbara et al., die eine durchschnittliche Tunneltiefe von 58% im Vergleich zu den angestrebten 80% erzielten (Barbara et al., 2016). Infolgedessen wäre eine Auswertung des klinischen Outcomes eines Patienten in Abhängigkeit von der Erfahrung bzw. des Lernstandes des Operateurs von Relevanz.

Dennoch ist dieses Ergebnis durchaus verwunderlich, da bereits eine Deplatzierung der Ringsegmente um 0,5 mm die postoperativen Ergebnisse signifikant verschlechtert (Shetty et al., 2014), was sich bpsw. durch eine Überkorrektur des Astigmatismus zeigt (Monteiro et al., 2018; Monteiro et al., 2019), und Dezentrierungen vermehrt in der Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation beobachtet werden konnten (1,6% vs. 0,7%).

Eine mögliche Erklärung ist, wie bereits beschrieben, auch, dass die Auswahl, die Anzahl und die Positionierung der Ringsegmente und des MyoRings letztendlich dem Operateur obliegt. In den eingeschlossenen Studien werden größtenteils unterschiedliche Ringsegmente verwendet, wobei deren Charakteristika (Dicke, Positionierung, Anzahl) nur selten explizit aufgeführt werden. Rabinowitz et al. konnten in ihrer Studie, bei der Intacs-Segmente mit einer Dicke von 0,35-mm mithilfe des FS Lasers implantiert wurden (Rabinowitz et al., 2006), ähnliche Ergebnisse erreichen wie Colin et al. und Siganos et al., obwohl diese nach mechanischer Tunnelpräparation 0,45-mm-Segmente implantierten (Colin et al., 2001; Siganos et al., 2003).

Es sind weitere Studien notwendig, um die Veränderungen der klinischen Parameter auch im Langzeitverlauf beurteilen zu können und um mögliche Folgen der bei der mechanischen Tunnelpräparation vermehrt auftretenden Komplikationen auszuschließen.

6.3 Fazit

Die ICRS sind eine verlässliche und effektive Methode, um eine Verbesserung der Refraktion, des Visus und des Astigmatismus bei Vorliegen einer Keratektasie zu erzielen und erweitern somit das Behandlungsspektrum der Keratektasien.

Die Veränderungen der klinischen Messparameter nach Tunnelpräparation mithilfe des FS Lasers ähneln denen nach mechanischer Dissektion. Ein wesentlicher Unterschied ist jedoch, dass bei der Tunnelpräparation mithilfe des FS Lasers deutlich seltener ernsthafte intra- und postoperative Komplikationen mit deutlich reduzierter Prognose beobachtet werden konnten. Um diese zu vermeiden, sollte die Tunnelpräparation heute bevorzugt mit dem FS Laser erfolgen.

7. Literaturverzeichnis

1. A Ibrahim T, Elmor O: Intracorneal Rings (INTACS SK) Might be Beneficial in Keratoconus; A Prospective Nonrandomized Study. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2013;2:35-40
2. Abad JC, Arango J, Tobon C: Comparison of Astigmatism Correction Using Shorter Arc Length 90°/120° Asymmetric Intacs Severe Keratoconus Versus 150° Single-Segment Intacs Severe Keratoconus in Asymmetric Keratoconus. *Cornea* 2011;30:1201-1206
3. Abd Elaziz MS, El Saebay Sarhan AR, Ibrahim AM, Elshafy Haggag HA: Anterior Segment Changes After Femtosecond Laser-Assisted Implantation of a 355-Degree Intrastromal Corneal Ring Segment in Advanced Keratoconus. *Cornea* 2018;37:1438-1443
4. Abdellah MM, Ammar HG: Femtosecond Laser Implantation of a 355-Degree Intrastromal Corneal Ring Segment in Keratoconus: A Three-Year Follow-Up. *J Ophthalmol* 2019;2019:6783181
5. Addition Technology Inc. (2015): Intacs® SK korneale Implantate zur Behandlung von Keratokonus-Patienten, Abgerufen am 01. Januar 2021, von <http://intacsforkeratoconus.com/wp-content/uploads/2015/05/Intacs-SK-11900-12000-12300-Deutsch.pdf>
6. Al Muammar A: Comparison of visual, refractive and topographic keratometry outcomes of Intacs and Intacs SK in mild to moderate keratoconus eyes. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2015;22:74-79
7. Al-Tuwairqi WS, Osuagwu UL, Razzouk H, Al Harbi A, Ogbuehi KC: Clinical evaluation of two types of intracorneal ring segments (ICRS) for keratoconus. *Int Ophthalmol* 2017;37:1185-1198
8. Alfonso JF, Lisa C, Fernández-Vega L, Madrid-Costa D, Montés-Micó R: Intrastromal corneal ring segment implantation in 219 keratoconic eyes at different stages. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2011;249:1705-1712
9. Alfonso JF, Lisa C, Fernández-Vega L, Madrid-Costa D, Poo-López A, Montés-Micó R: Intrastromal corneal ring segments and posterior chamber phakic intraocular lens implantation for keratoconus correction. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:706-713
10. Alió JL, Artola A, Hassanein A, Haroun H, Galal A: One or 2 Intacs segments for the correction of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:943-953

11. Alió JL, Piñero DP, Daxer A: Clinical outcomes after complete ring implantation in corneal ectasia using the femtosecond technology: a pilot study. *Ophthalmology* 2011;118:1282-1290
12. Alió JL, Shabayek MH, Artola A: Intracorneal ring segments for keratoconus correction: long-term follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:978-985
13. Alió JL, Shabayek MH, Belda JI, Correas P, Diez Feijoo E: Analysis of results related to good and bad outcomes of Intacs implantation for keratoconus correction. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:756-766
14. Alió JI, Vega-Estrada A, Espranza S, Barraquer RI, Teus MA, Murta J: Intrastromal corneal ring segments: how successful is the surgical treatment of keratoconus? *Middle East Afr J Ophthalmol* 2014;21:3-9
15. Ambrosio R: Post-LASIK Ectasia: Twenty Years of a Conundrum. *J Ophthalmol* 2019;34:66-68
16. Ameerh MA, Hamad GI, Ababneh OH, Gharaibeh AM, Refai RM, Bdour MD: Ferrara ring segments implantation for treating keratoconus. *Int J Ophthalmol* 2012;5:586-590
17. Ancèle E, Malecaze F, Arné JL, Fournié P: Predictive factors for successful Ferrara intracorneal ring segment implantation in keratoconus. *J Fr Ophtalmol* 2011;34:513-520
18. Ariza-Gracia MA, Flecha-Lescún J, Büchler P, Calvo B: Corneal Biomechanics After Intrastromal Ring Surgery: Optomechanical in Silico Assessment. *Transl Vis Sci Technol* 2020;9:26
19. Barbara R, Barbara A, Naftali M: Depth evaluation of intended vs actual intacs intrastromal ring segments using optical coherence tomography. *Eye (Lond)* 2016;30:102-110
20. Bautista-Llamas MJ, Sánchez-González MC, López-Izquierdo I, López-Muñoz A, Gargallo-Martínez B, De-Hita-Cantalejo C, Sánchez-González JM: Complications and Explantation Reasons in Intracorneal Ring Segments (ICRS) Implantation: A Systematic Review. *J Refract Surg* 2019;35:740-747
21. Bedi R, Touboul D, Pinsard L, Colin J: Refractive and topographic stability of Intacs in eyes with progressive keratoconus: five-year follow-up. *J Refract Surg* 2012;28:392-396

22. Bikbova G, Kazakbaeva G, Bikbov M, Usubov E: Complete corneal ring (MyoRing) implantation versus MyoRing implantation combined with corneal collagen crosslinking for keratoconus: 3-year follow-up. *Int Ophthalmol* 2018;38:1285-1293
23. Bron AJ: The architecture of the corneal stroma. *Br J Ophthalmol* 2001;85:379-381
24. Burris TE, Baker PC, Ayer CT, Loomas BE, Mathis ML, Silvestrini TA: Flattening of central corneal curvature with intrastromal corneal rings of increasing thickness: an eyebank eye study. *J Cataract Refract Surg* 1993;19:182-187
25. Cakir H, Pekel G, Perente I, Genç S: Comparison of intrastromal corneal ring segment implantation only and in combination with collagen crosslinking for keratoconus. *Eur J Ophthalmol* 2013;23:629-634
26. Carballo J, Puell MC, Cuiña R, Vázquez JM, Benitez-del-Castillo JM: Changes in visual function under mesopic and photopic conditions after intrastromal corneal ring segment implantation for different stages of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:393-402
27. Carrasquillo KG, Rand J, Talamo JH: Intacs for keratoconus and post-LASIK ectasia: mechanical versus femtosecond laser-assisted channel creation. *Cornea* 2007;26:956-962
28. Coimbra CC, Gomes MT, Campos M, Figueiroa ES Jr, Barbosa EP, Santos MS: Femtosecond assisted intrastromal corneal ring (ISCR) implantation for the treatment of corneal ectasia. *Arq Bras Oftalmol* 2012;75:126-130
29. Colin J, Cochener B, Savary G, Malet F, Holmes-Higgin D: INTACS inserts for treating keratoconus: one-year results. *Ophthalmology* 2001;108:1409-1414
30. Colin J, Cochener B, Savary G, Malet F: Correcting keratoconus with intracorneal rings. *J Cataract Refract Sur* 2000;26:1117-1122
31. Colin J, Malet FJ: Intacs for the correction of keratoconus: two-year follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:69-74
32. Colin J: European clinical evaluation: use of Intacs for the treatment of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:747-755
33. Coskunseven E, Jankov MR 2nd, Grentzelos MA, Plaka AD, Limnopoulou AN, Kymionis GD: Topography-guided transepithelial PRK after intracorneal ring segments implantation and corneal. *J Refract Surg* 2013;29:54-58
34. Daas L, Hamon L, Ardjomand N, Safi T, Seitz B: Excimer laser-assisted DALK - A case report from the Homburger Keratokonus Center (HKC). *Ophthalmologie* 2021 [Epub ahead of print]

35. Daxer A, Mahmoud H, Venkateswaran RS: Intracorneal continuous ring implantation for keratoconus: One-year follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1296-1302
36. Daxer A: CISIS: Reversible chirurgische Behandlung hoher Kurzsichtigkeiten und des Keratokonus. *Spektrum Augenheilkd* 2009;23:39-41
37. Daxer A: Corneal intrastromal implantation surgery for the treatment of moderate and high myopia. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:194-198
38. Daxer B, Mahmood H, Daxer A: MyoRing treatment for keratoconus: DIOPTEx PocketMaker vs Ziemer LDV for corneal pocket creation. *Int J Keratoconus Ectatic Corneal Dis* 2012;1:151-152
39. de Freitas Santos Paranhos J, Avila MP, Paranhos A Jr, Schor P: Evaluation of the impact of intracorneal ring segments implantation on the quality of life of patients with keratoconus using the NEI-RQL (National Eye Institute Refractive Error Quality of life) instrument. *Br J Ophthalmol* 2010;94:101-105
40. El Awady H, Shawky M, Ghanem AA: Evaluation of collagen crosslinking in keratoconus eyes with Kera intracorneal ring implantation. *Eur J Ophthalmol* 2012;22 Suppl 7:S62-S68
41. El-Husseiny M, Daas L, Langenbacher A, Seitz B: Intracorneal Ring Segments to Treat Keratectasia - Interim Results and Potential Complications *Klin Monbl Augenheilkd* 2016;233:722-726
42. El-Husseiny M, Tsintarakis T, Eppig, T, Langenbacher A, Seitz B: Intrakorneale Ringsegmente beim Keratokonus. *Ophthalmologe* 2013;110:823-829
43. El-Raggal TM, Abdel Fattah AA: Sequential Intacs and Verisyse phakic intraocular lens for refractive improvement in keratoconic eyes. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:966-970
44. El-Raggal TM: Sequential versus concurrent KERARINGS insertion and corneal collagen cross-linking for keratoconus. *Br J Ophthalmol* 2011;95:37-41
45. Elsaftawy HS, Ahmed MH, Saif MY, Mousa R: Sequential Intracorneal Ring Segment Implantation and Corneal Transepithelial Collagen Cross-Linking in Keratoconus. *Cornea* 2015;34:1420-1426
46. Eppig T, Spira-Eppig C, Goebels S, Seitz B, El-Husseiny M, Lenhart M, Papavasileiou K, Szentmáry N, Langenbacher A: Asymmetry between left and right eyes in keratoconus patients increases with the severity of the worse eye. *Curr Eye Res* 2018;43:848-855

47. Ertan A, Bahadır M: Intrastromal ring segment insertion using a femtosecond laser to correct pellucid marginal corneal degeneration. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:1710-1716
48. Ertan A, Colin J. Intracorneal rings for keratoconus and keratectasia. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1303-1314
49. Ertan A, Kamburoğlu G, Akgün U: Comparison of outcomes of 2 channel sizes for intrastromal ring segment implantation with a femtosecond laser in eyes with keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:648-653
50. Ertan A, Kamburoğlu G, Bahadır M: Intacs insertion with the femtosecond laser for the management of keratoconus: one-year results. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:2039-2042
51. Ertan A, Kamburoglu G: Intacs implantation using femtosecond laser for management of keratoconus: comparison of 306 cases in different stages. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1521-1526
52. Ertan A, Karacal H, Kamburoğlu G: Refractive and topographic results of transepithelial cross-linking treatment in eyes with intacs. *Cornea* 2009;28:719-723
53. Fahd DC, Alameddine RM, Nasser M, Awwad ST: Refractive and topographic effects of single-segment intrastromal corneal ring segments in eyes with moderate to severe keratoconus and inferior cones. *J Cataract Refract Surg* 2015;41:1434-1440.
54. Fahd DC, Jabbur NS, Awwad ST: Intrastromal corneal ring segment SK for moderate to severe keratoconus: a case series. *J Refract Surg* 2012;28:701-705
55. Fernández-Vega Cueto L, Lisa C, Poo-López A, Alfonso JF, Madrid-Costa D: Three-year follow-up of intrastromal corneal ring segment implantation in central keratoconus with regular astigmatism: 'Bow-tie' shape. *Eur J Ophthalmol* 2019;1120672119835397
56. Fernández-Vega Cueto L, Lisa C, Poo-López A, Madrid-Costa D, Merayo-Llolves J, Alfonso JF: Intrastromal Corneal Ring Segment Implantation in 409 Paracentral Keratoconic Eyes. *Cornea* 2016;35:1421-1426
57. Ferrara G, Torquetti L, Ferrara P, Merayo-Llolves J: Intrastromal corneal ring segments: visual outcomes from a large case series. *Clin Exp Ophthalmol* 2012;40:433-439
58. Ferrara P, Torquetti L: Clinical outcomes after implantation of a new intrastromal corneal ring with a 210-degree arc length. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1604-1608

59. Ferrari G, Rama P: The keratoconus enigma. A review with emphasis on pathogenesis. *Ocul Surf* 2020;18:363-373
60. Galvis V, Sherwin T, Tello A, Merayo J, Barrera R, Acera A. Keratoconus: an inflammatory disorder? *Eye*. 2015;29:843-59
61. Gatziofias Z, Khine A, Elalfy M, Guber I, McLintock C, Sabatino F, Hamada S, Lake D: Clinical Outcomes after Keraring Implantation for Keratoconus Management in Patients Older Than 40 Years: A Retrospective, Interventional, Cohort Study. *Ophthalmol Ther* 2018;7:95-100
62. Gatziofias Z, Panos GD, Elalfy M, Khine A, Hamada S, Lake D, Kozeis N, Balidis M: Effect of Conus Eccentricity on Visual Outcomes After Intracorneal Ring Segments Implantation in Keratoconus. *J Refract Surg* 2018;34:196-200
63. Gauthier AS, Friot M, Montard R, Saleh M, Delbosc B: Femtosecond-assisted Ferrara intrastromal corneal ring implantation for treatment of keratoconus: Functional outcomes at one year. *J Fr Ophtalmol* 2016;39:428-436
64. Gharaibeh AM, Muhsen SM, AbuKhader IB, Ababneh OH, Abu-Ameerh MA, Albdour MD: KeraRing intrastromal corneal ring segments for correction of keratoconus. *Cornea*. 2012;31:115-120
65. Giacomini NT, Mello GR, Medeiros CS, Kiliç A, Serpe CC, Almeida HG, Kara-Junior N, Santhiago MR: Intracorneal Ring Segments Implantation for Corneal Ectasia. *J Refract Surg* 2016;32:829-839
66. Giri P, Azar DT: Risk profiles of ectasia after keratorefractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2017;28:337-342
67. Goebels S, Seitz B, Langenbucher A: Diagnostik und stadiengerechte Therapie des Keratokonus. *Ophthalmologe* 2013;110:808-809
68. Guber I, Gatziofias Z, Goldblum D, Elalfy M, Hamada S, Lake D: Clinical Outcomes after Keraring Implantation for Keratoconus Management in Thin Corneas. *Klin Monbl Augenheilkd* 2019;236:1435-1438
69. Guyot C, Libeau L, Vabres B, Weber M, Lebranchu P, Orignac I: Résultats réfractifs et facteurs pronostiques de succès du traitement du k ratoc ne par anneaux intracorn ens:  tude r trospective sur 75 yeux. *J Fr Ophtalmol* 2019;42:118-126
70. Haddad W, Fadlallah A, Dirani A, El Rami H, Fahd D, Khanahfer D, Fahed S: Comparison of 2 types of intrastromal corneal ring segments for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:1214-1221

71. Hamdi IM: Preliminary results of intrastromal corneal ring segment implantation to treat moderate to severe keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1125-1132
72. Hashemi H, Amanzadeh K, Miraftab M, Asgari S: Femtosecond-assisted intrastromal corneal single-segment ring implantation in patients with keratoconus: a 12-months follow-up. *Eye Contact Lens* 2015;41:183-186
73. Hashemi H, Gholaminejad A, Amanzadeh K, Hashemi M, Khababzkhoo: Single-Segment and Double-Segment INTACS for Post-LASIK Ectasia. *Acta Med Iran* 2014;52:681-686
74. Hashemi H, Heydarian S, Hooshmand E, Saatchi M, Yekta A, Aghamirsalim M, Valadkhan M, Mortazavi M, Hashemi A, Khababzkhoo M: The Prevalence and Risk Factors for Keratoconus: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cornea* 2020;39:263-270
75. Hashemi H, Nabavi A, Bayat R, Mohebbi M. Additional intrastromal corneal ring segments in keratoconus. *Cornea* 2018;37:574-579
76. Hashemi H, Yazdani-Abyaneh A, Beheshtnejad A, Jabbarvand M, Kheirkhah A, Ghaffary SR: Efficacy of intacs intrastromal corneal ring segment relative to depth of insertion evaluated with anterior segment optical coherence tomography. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2013;20:234-238
77. Hashemian MN, Zare MA, Mohammadpour M, Rahimi F, Fallah MR, Panah FK: Outcomes of Single Segment Implantation of Conventional Intacs versus Intacs SK for Keratoconus. *J Ophthalmic Vis Res* 2014;9:305-309
78. Hashemian SJ, Farshchian N, Foroutam-Jazi A, Jafari ME, Hashemian MS, Hashemian SM: Visual and Refractive Outcomes and Tomographic Changes after Femtosecond Laser-assisted Intrastromal Corneal Ring Segment Implantation in Patients with Keratoconus. *J Ophthalmic Vis Res* 2018;13:376-382
79. Heikal MA, Abdelshafy M, Soliman TT, Hamed AM: Refractive and visual outcomes after Keraring intrastromal corneal ring segment implantation for keratoconus assisted by femtosecond laser at 6 Monate follow-up. *Clin Ophthalmol* 2016;11:81-86
80. Izquierdo L Jr, Orozco A, Henriquez MA: New Technique of Femtosecond Laser-Assisted Intracorneal Ring Segment Implantation. *Cornea* 2017;36:884-888
81. Jabbarvand M, Hashemi H, Mohammadpour M, Khojasteh H, Khodaparast M, Hashemian H: Implantation of a complete intrastromal corneal ring at 2 different stromal depths in keratoconus. *Cornea* 2014;33:141-144

82. Jabbarvand M, Hashemian H, Khodaparast M, Bazvand F, Beheshtnejad A: Outcome of complete intrastromal ring implantation using femtosecond laser in pellucid marginal degeneration. *Eye* 2015;29:783-790
83. Jabbarvand M, Hashemian M, Hashemian H, Bazvand F, Khodaparast M: Femtosecond laser-assisted MyoRing implantation in postoperative LASIK ectasia. *J Refract Surg* 2014;30:462-466
84. Jabbarvand M, Salamatrad A, Hashemian H, Khodaparast M: Continuous corneal intrastromal ring implantation for treatment of keratoconus in an Iranian population. *Am J Ophthalmol* 2013;155:837-842
85. Jabbarvand M, Salamatrad A, Hashemian H, Mazloumi M, Khodaparast M: Continuous intracorneal ring implantation for keratoconus using a femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:1081-1087
86. Jadidi K, Mosavi SA, Nejat F, Naderi M, Janani L, Serahati S: Intrastromal corneal ring segment implantation (keraring 355°) in patients with central keratoconus: 6-month follow-up. *J Ophthalmol* 2015;2015:916385
87. Jadidi K, Nejat F, Mosavi SA, Naderi M, Katirae A, Janani L, Aghmollael H: Full-ring Intrastromal Corneal Implantation for Correcting High Myopia in Patients with Severe Keratoconus. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2016;5:89-95
88. Janani L, Tanha K, Najafi F, Jadidi K, Nejat F, Hashemian S, Dehghani M, Sadeghi M: Efficacy of complete rings (MyoRing) in treatment of Keratoconus: a systematic review and meta-analysis. *Int Ophthalmol* 2019;39:2929-2946
89. Jinabhai A, Radhakrishnan H, O'Donnell C: Pellucid corneal marginal degeneration: a review, *Cont Lens Anterior Eye* 2011;34:56-63
90. Kamburoglu G, Ertan A, Altuner U: Comparison of response to Intacs SK and Intacs implantation in patients with advanced keratoconus. Paper presented at the 12th ESCRS Winter Refractive Surgery Meeting and Cornea Day, Barcelona, 2008
91. Kamiya K, Hirohara Y, Mihashi T, Hiraoka T, Kaji Y, Oshika T: Progression of pellucid marginal degeneration and higher-order wavefront aberration of the cornea, *Jpn J Ophthalmol* 2003;47:523-525
92. Kanellopoulos AJ, Pe LH, Perry HD, Donnenfeld ED: Modified intracorneal ring segment implantations (INTACS) for the management of moderate to advanced keratoconus: efficacy and complications. *Cornea* 2006;25:29-33.

93. Kang MJ, Byun YS, Yoo YS, Whang WJ, Joo CK: Long-term outcome of intrastromal corneal ring segments in keratoconus: Five-year follow up. *Sci Rep* 2019;9:315
94. Kapitánová K, Nikel J: Femtosecond Laser - assisted intrastromal corneal segment implantation - our experience. *Cesk Slov Oftalmol* 2018;74:31-36
95. Kaya V, Utine CA, Karakus SH, Kavadarli I, Yilmaz ÖF: Refractive and visual outcomes after Intacs vs Ferrara intrastromal corneal ring segment implantation for keratoconus: a comparative study. *J Refract Surg* 2011;27:907-912
96. Kermani O: PRK, LASIK und SMILE - Eine Standortbestimmung zur Laserbehandlung der Fehlsichtigkeit, Teil 1: Entwicklungsgeschichte, OP-Techniken und Besonderheiten der Verfahren. *Ophthalmol-Chirurgie* 2017;29:151-157
97. Kermani O: PRK, LASIK und SMILE – Eine Standortbestimmung zur Laserbehandlung der Fehlsichtigkeit, Teil 3: Methoden im Vergleich, Komplikationen, Ausblick. *Ophthalmol-Chirurgie* 2017;29:251-255
98. Khan MI, Injarie A, Muhtaseb M: Intrastromal corneal ring segments for advanced keratoconus and cases with high keratometric asymmetry. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:129-136
99. Khorrami-Nejad M, Aghili O, Hashemian H, Aghazadeh-Amiri M, Karimi F: Changes in Corneal Asphericity after MyoRing Implantation in Moderate and Severe Keratoconus. *J Ophthalmic Vis Res* 2019;14:428-435
100. Khosravi B, Khorrami-Nejad M, Rajabi S, Amiri M, Hashemian H, Khodaparast M: Characteristics of Astigmatism after MyoRing Implantation. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2017;6:130-135
101. Kim CY, Kim MK: Effect of Sequential Intrastromal Corneal Ring Segment Implantation and Corneal Collagen Crosslinking in Corneal Ectasia. *Korean J Ophthalmol* 2019;33:528-538
102. Klühspies U, Grunder A, Goebels S, Schirra F, Seitz B: Keratokonuslinse. *Ophthalmologe* 2013;110:830-838
103. Knippschild S, Baulig C, Krummenauer F: Heterogenität in Meta-Analysen - kein Vergleich von Äpfeln und Birnen erlaubt. *Z Zahnärztl Impl* 2015;31:224-229
104. Koc M, Tekin K, Inanc M, Kosekahya P, Yilmazbas P: Crab claw pattern on corneal topography: pellucid marginal degeneration or inferior keratoconus? *Eye* 2018;32:11-18

105. Koh IH, Seo KY, Park SB, Yang H, Kim IS, Kim JS, Hwang DG, Nam SM: One-Year Efficacy and Safety of Combined Photorefractive Keratectomy and Accelerated Corneal Collagen Cross-Linking after Intacs SK Intracorneal Ring Segment Implantation in Moderate Keratoconus. *Biomed Res Int* 2019;2019:7850216
106. Kohnen T, Remy M: Komplikationen der lamellären refraktiven Hornhautchirurgie. *Ophthalmologie* 2015;112:982-989
107. Kotb AM, Hantera M: Efficacy and safety of Intacs SK in moderate to severe keratoconus. *Middle East Afr J Ophthalmol* 2013;20:46-50
108. Kouassi FX, Blaizeau M, Buestel C, Schweitzer C, Gallois A, Colin J, Touboul D: Comparaison entre le Lasik au laser femtoseconde et le Lasik au microkératome mécanique: prédictibilité des découpes, biomécanique cornéenne et aberrations optiques. *J Fr Ophtalmol* 2012;35:2-8
109. Krachmer JH, Feder RS, Belin MW: Keratoconus and related noninflammatory corneal thinning disorders. *Surv Ophthalmol* 1984;28:293-322
110. Kremer I, Aizenman I, Lichter H, Shayer S, Levinger S: Simultaneous wavefront-guided photorefractive keratectomy and corneal collagen crosslinking after intrastromal corneal ring segment implantation for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:1802-1807
111. Kubaloglu A, Cinar Y, Sari ES, Koytak A, Ozdemir B, Ozertürk Y: Comparison of 2 intrastromal corneal ring segment models in the management of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:978-985
112. Kubaloglu A, Sari ES, Cinar Y, Cingu K, Koytak A, Coşkun E, Ozertürk Y: Comparison of mechanical and femtosecond laser tunnel creation for intrastromal corneal ring segment implantation in keratoconus: prospective randomized clinical trial. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1556-1561
113. Kubaloglu A, Sari ES, Cinar Y, Koytak A, Kurnaz E, Piñero DP, Ozerturk Y: A single 210-degree arc length intrastromal corneal ring implantation for the management of pellucid marginal corneal degeneration. *Am J Ophthalmol* 2010;150:185-192
114. Kumar A: Medline, PubMed, PubMed Central...Let's try to decipher. *J Indian Soc Periodontol* 2020;24:187-188
115. Kymionis GD, Bouzoukis DI, Portaliou DM, Pallikaris IG: New INTACS SK implantation in patients with post-laser in situ keratomileusis corneal ectasia. *Cornea* 2010;29:214-216

116. Kymionis GD, Siganos CS, Tsiklis NS, Anastasakis A, Yoo SH, Pallikaris AI, Astyrakakis N, Pallikaris IG: Long-term follow-up of Intacs in keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2007;143:236-244
117. Lee BW, Jurkunas UV, Harissi-Dagher M, Poothullil AM, Tobaigy FM, Azar DT: Ectatic disorders associated with a claw-shaped pattern on corneal topography, *Am J Ophthalmol.* 2007;144:154-156
118. Lisa C, Fernández-Vega Cueto L, Poo-López A, Madrid-Costa D, Alfonso JF: Long-Term Follow-up of Intrastromal Corneal Ring Segments (210-Degree Arc Length) in Central Keratoconus With High Corneal Asphericity. *Cornea* 2017;36:1325-1330.
119. Lisa C, Zaldivar R, Fernández-Vega Cueto A, Sanchez-Avila RM, Madrid-Costa D, Alfonso JF: Clinical Outcomes of Sequential Intrastromal Corneal Ring Segments and an Extended Range of Vision Intraocular Lens Implantation in Patients with Keratoconus and Cataract. *J Ophthalmol* 2018;832-834
120. Liu XL, Li PH, Fournie P, Malecaze F: Investigation of the efficiency of intrastromal ring segments with cross-linking using different sequence and timing for keratoconus. *Int J Ophthalmol* 2015;8:703-708
121. Maier P, Reinhard T: Riboflavin UVA crosslinking in progressive keratoconus. *Ophthalmologie* 2017;114:571-586
122. Martínez-Abad A, Piñero, DP: Pellucid marginal degeneration: Detection, discrimination from other corneal ectatic disorders and progression. *Cont Lens Anterior Eye* 2019;42:341-349
123. Matar C, Daas L, Suffo S, Langebucher A, Seitz B, Eppig T: Reliabilität der Hornhauttomographie nach Implantation von intrakornealen Ringsegmenten bei Keratokonus. *Ophthalmologie* 2020;117:1092-1099
124. McMonnies CW: Mechanisms of rubbing-related corneal trauma in keratoconus. *Cornea* 2009;28:607-615
125. Mohammadpour M, Heidari Z, Hashemi H: Updates on managements for keratoconus. *J Curr Ophthalmol* 2018;30:110-124
126. Mohebbi M, Hashemi H, Asgari S, Bigdeli S, Zamani KA: Visual outcomes after femtosecond-assisted intracorneal MyoRing implantation: 18 Monate of follow-up. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2016;254:917-922
127. Monteiro T, Alfonso JF, Franqueira N, Faria-Correia F, Ambrósio R Jr, Madrid-Costa D: Predictability of tunnel depth for intrastromal corneal ring segments

- implantation between manual and femtosecond laser techniques. *J Refract Surg* 2018;34:188-194
128. Monteiro T, Alfonso JF, Franqueira N, Faria-Correira F, Ambrósio R Jr, Madrid-Costa D: Comparison of clinical outcomes between manual and femtosecond laser techniques for intrastromal corneal ring segment implantation. *Eur J Ophthalmol* 2019;1120672119872367
129. Monteiro T, Alfonso JF, Freitas R, Franqueira N, Faria-Correira F, Ambrósio R, Madrid-Costa D: Comparison of Complication Rates between Manual and Femtosecond Laser-Assisted Techniques for Intrastromal Corneal Ring Segments Implantation in Keratoconus. *Curr Eye Res* 2019;44:1291-1298
130. Montori VM, Swiontkowski MF, Cook DJ: Methodologic issues in systematic reviews and meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res* 2003;413:43-54
131. Mounir A, Radwan G, Farouk MM, Mostafa EM: Femtosecond-assisted intracorneal ring segment complications in keratoconus: from novelty to expertise. *Clin Ophthalmol* 2018;12:957-964
132. Muftuoglu O, Aydin R, Kilic Muftuoglu I: Persistence of the Cone on the Posterior Corneal Surface Affecting Corneal Aberration Changes After Intracorneal Ring Segment Implantation in Patients With Keratoconus. *Cornea* 2018;37:347-353
133. Mularoni A, Torreggiani A, di Biase A, Laffi GL, Tassinari G: Conservative treatment of early and moderate pellucid marginal degeneration: a new refractive approach with intracorneal rings. *Ophthalmology* 2005;112:660-666
134. Müller P, Löffler K, Kohlhaas M, Holz F, Herwig-Carl M: Morphologische Hornhautveränderungen nach Crosslinking bei Keratokonus. *Klin Monbl Augenheilkd* 2018;235:809-819
135. Naderan M, Naderan M, Rezagholizadeh F, Zolfaghari M, Pahlevani R, Rajabi MT: Association between diabetes and keratoconus: a case–control study. *Cornea* 2014;33:1271-1273
136. Nasrollahi K, Rezaei L, Ghoreishi M, Kashfi A, Mahboubi M: Clinical outcomes of MyoRing implantation in keratoconic eyes by using the Femtosecond laser technology. *J Med Life* 2015;8:66–71
137. Niknam S, Shamshiri M, Shahrzad SS, Alipour A, Rajabi MB, Rajabi MT: Treatment of moderate to severe keratoconus with 6-mm Intacs SK. *Int J Ophthalmol* 2012;5:513-516

138. Nobari SM, Milena C, Jadidi K: Predictability, Stability and safety of Myoring implantation keratoconic eyes during one year follow-up. *Irian Journal of Ophthalmology* 2014;26:136-143
139. Ozertürk Y, Sari ES, Kubaloglu A, Koysak A, Piñero D, Akyol S: Comparison of deep anterior lamellar keratoplasty and intrastromal corneal ring segment implantation in advanced keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:324-332
140. Pallikaris IG, Kymionis GD, Astyrakakis NI: Corneal ectasia induced by laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:1796-1802
141. Papoulidis I, Papageorgiou E, Siomou E, Oikonomidou E, Thomaidis L, Vetro A, Zuffardi O, Liehr T, Manolagos E, Vassilis P: A patient with partial trisomy 21 and 7q deletion expresses mild Down syndrome phenotype. *Gene* 2014;536:441-443
142. Park SE, Tseng M, Lee JK: Effectiveness of intracorneal ring segments for keratoconus. *Curr Opin Ophthalmol* 2019;30:220-228
143. Peña-García P, Alió JL, Vega-Estrada A, Barraquer RI: Internal, corneal, and refractive astigmatism as prognostic factors for intrastromal corneal ring segment implantation in mild to moderate keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2014;40:1633-1644
144. Peña-García P, Vega-Estrada A, Barraquer RI, Burguera-Giménez N, Alió JL: Intracorneal ring segment in keratoconus: a model to predict visual changes induced by the surgery. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53:8447-8457
145. Peris-Martínez C, Bueno-Gimeno I, Alvarez-Arana I, Piñero DP, Gené-Sampedro A: Characterization of the effect of intracorneal ring segment in corneal ectasia after laser refractive surgery. *Eur J Ophthalmol* 2020;30:125-131
146. Peris-Martínez C, Dualde-Beltrán C, Fernández-López E, Roig-Revert MJ, Hernández-Díaz M, Piñero DP: Effect of the variability in implantation depth of intracorneal ring segments using the femtosecond laser technology in corneal ectasia. *Eur J Ophthalmol* 2019;1120672119852026
147. Piñero DP, Alió JL, Barraquer RI, Michael R: Corneal biomechanical changes after intracorneal ring segment implantation in keratoconus. *Cornea* 2012;31:491-499
148. Piñero DP, Alió JL, El Kady B, Coskunseven E, Morbelli H, Uceda-Montanes A, Maldonado MJ, Cuevas D, Pascual I: Refractive and aberrometric outcomes of intracorneal ring segments for keratoconus: mechanical versus femtosecond-assisted procedures. *Ophthalmology* 2009;116:1675-1687

149. Piñero DP, Alió JL, El Kady B, Pascual I: Corneal aberrometric and refractive performance of 2 intrastromal corneal ring segment models in early and moderate ectatic disease. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:102-109
150. Piñero DP, Alió JL, Teus MA, Barraquer RI, Michael R, Jiménez R: Modification and refinement of astigmatism in keratoconic eyes with intrastromal corneal ring segments. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1562-1572
151. Piñero DP, Alió JL, Teus MA, Barraquer RI, Uceda-Montañés A: Modeling the intracorneal ring segment effect in keratoconus using refractive, keratometric, and corneal aberrometric data. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51:5583-5591
152. Piñero DP, Alió JL: Intracorneal ring segments in ectatic corneal disease - a review. *Clin Exp Ophthalmol* 2010;38:154-167
153. Puell MC, Carballo-Álvarez J: Forward light scatter and visual acuity before and after intrastromal corneal ring segment implantation at different stages of keratoconus. *Acta Ophthalmol* 2016;94:738-743
154. Rabinowitz YS, Li X, Ignacio TS, Magen E: INTACS Inserts Using the Femtosecond Laser Compared to the Mechanical Spreader in the Treatment of Keratoconus. *J Refract Surg* 2006;22:764-771
155. Rabinowitz YS: INTACS for keratoconus. *Int Ophthalmol Clin* 2006;46:91-103
156. Randleman JB, Woodward M, Lynn MJ, Stulting RD: Risk assessment for ectasia after corneal refractive surgery. *Ophthalmology* 2008;115:37-50
157. Rapuano CJ: Prevention of Iatrogenic Keratectasia. *Klin Monbl Augenheilkd* 2016;233:695-700
158. Renesto ADC, Hirai FE, Campos M: Refractive and visual outcomes after Ferrara corneal ring segment implantation at a 60% depth in keratoconic eyes: case series. *Arq Bras Oftalmol* 2019;82:488-494
159. Ressing M, Blettner M, Klug SJ: Systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen: Teil 6 der Serie zur Bewertung wissenschaftlicher Publikationen. *Dtsch Arztebl Int* 2009;106:456-463
160. Rho CR, Kim MJ, Joo CK: Polar Value Analysis of Corneal Astigmatism in Intrastromal Corneal Ring Segment Implantation. *J Ophthalmol* 2016;2016:7127534
161. Rho CR, Na KS, Yoo YS, Pandey C, Park CW, Joo CK: Changes in anterior and posterior corneal parameters in patients with keratoconus after intrastromal corneal-ring segment implantation. *Curr Eye Res* 2013;38:843-850

162. Rocha G, Silva LNP, Chaves LFOB, Bertino P, Torquetti L, de Sousa LB: Intracorneal Ring Segments Implantation Outcomes Using Two Different Manufacturers' Nomograms for Keratoconus Surgery. *J Refract Surg* 2019;35:673-683
163. Rohrbach M, Lisch W, Seitz B: Die Hornhaut als Indikator für Systemerkrankungen. *Ophthalmologie* 2018;975-986
164. Ruckhofer J: Intrastromale Corneale Ringsegmente und Corneal Crosslinking bei Keratokonus. *Klin Monbl Augenheilkd* 2009;226:R12
165. Ruckhofer J, Stoiber J, Alzner E, Grabner G: Multicenter European Corneal Correction Assessment Study Group. One year results of European Multicenter Study of intrastromal corneal ring segments. Part 1: refractive outcomes. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:277-286
166. Sadoughi MM, Einollahi B, Veisi AR, Zare M, Sedaghat MR, Roshandel D, Einollahi N, Rezaei J. Femtosecond laser implantation of a 340-degree intrastromal corneal ring segment in keratoconus: Short-term outcomes. *J Cataract Refract Surg* 2017;43:1251-1256
167. Sakellaris D, Balidis M, Gorou O, Szentmary N, Alexoudis A, Grieshaber MC, Sagri D, Scholl H, Gatziofias Z: Intracorneal Ring Segment Implantation in the Management of Keratoconus: An Evidence-Based Approach. *Ophthalmol Ther* 2019;8:5-14
168. Sammour HM, Ismail MM, Abdelghany AI, Shafeek MA: Comparative Study between Myring and Ferrara Ring Intracorneal Implantation Using Femtosecond Laser for Treatment of Keratoconus. *Egypt J Hosp Med* 2017;68:910-922
169. Sansanayudh W, Bahar I, Kumar NL, Shehadeh-Mashour R, Ritenour R, Singal N, Rootman DS: Intrastromal corneal ring segment SK implantation for moderate to severe keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:110-113
170. Schott G, Pacht H, Ludwig WD: Publikationsbias in Abhängigkeit von der Art der Finanzierung bei klinischen Studien. *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen* 2020;104:314-322
171. Schwarzer G, Rücker G: Statistische Methoden zur Detektion und Adjustierung von Publikationsbias. *Z Evid Forbild Qual Gesundh weisen* 2010;104:306-313
172. Sedaghat MR, Momeni-Moghaddam H, Belin MW, Akbarzadeh R, Sakhaee M, Armanfar F, Shahri F, Akhavan Rezayat A: Anatomical and Visual Effects of the

- MyoRing Implantation Measured by the ABCD Keratoconus Grading System. *Eye Contact Lens* 2020;46:52-56
173. Sedaghat MR, Momeni-Moghaddam H, Piñero DP, Akbarzadeh R, Moshirfar M, Bamdad S, Gazanchian M: Predictors of Successful Outcome following Intrastromal Corneal Ring Segments Implantation. *Curr Eye Res* 2019;44:707-715
174. Sedaghat M, Zarei-Ghanavati M: Vertical versus oblique implantation of intrastromal corneal ring segments for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:161-165
175. Seiler T, Koufala K, Richter G: Iatrogenic keratectasia after laser in situ keratomileusis. *J Refract Surg* 1998;14:312-317
176. Seitz B: Stadiengerechte Therapie des Keratokonus und Oskar Fehr Lecture. *Klin Monbl Augenheilkd* 2016;233:692-694
177. Seitz B, Langenbucher A, Kus MM, Kühle M, Naumann GOH: Nonmechanical corneal trephination with the excimer laser improves outcome after penetrating keratoplasty. *Ophthalmology* 1999;106:1156-1165
178. Shahhoseini S, Hashemi H, Asgari S: Intracorneal ring segment depth in keratoconus patients: a long-term follow-up study. *Int Ophthalmol* 2018;38:1379-1383
179. Sharma M, Boxer Wachler BS: Comparison of single- segment and double-segment Intacs for keratoconus and post-LASIK ectasia. *Am J Ophthalmol* 2006;141:891-895
180. Shetty R, D'Souza S, Ramachandran S, Kurian M, Nuijts RM: Decision making nomogram for intrastromal corneal ring segments in keratoconus. *Indian J Ophthalmol* 2014;62:23-28
181. Shetty R, Kurian M, Anand D, Mhaske P, Narayana KM, Shetty BK: Intacs in advanced keratoconus. *Cornea* 2008;27:1022-1029
182. Shetty R, Narayana KM, Mathew K, Anand D, Mhaske P, Shetty BK: Safety and efficacy of Intacs in Indian eyes with keratoconus: an initial report. *Indian J Ophthalmol* 2009;57:115-119
183. Siganos D, Ferrara P, Chatzinikolas K, Bessis N, Papastergiou G: Ferrara intrastromal corneal rings for the correction of keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2002;28:1947-1951
184. Siganos CS, Kymionis GD, Kartakis N, Theodorakis MA, Astyrakakis N, Pallikaris IG: Management of keratoconus with Intacs. *Am J Ophthalmol*. 2003;135:64-70

185. Silvestrini TA, Mathis ML, Loomas BE, Burris TE: A geometric model to predict the change in corneal curvature from the intrastromal corneal ring (ICR). *Investig Ophthalmol Vis Sci* 1994;35:2023
186. Söğütlü E, Piñero DP, Kubaloglu A, Alio JL, Cinar Y: Elevation changes of central posterior corneal surface after intracorneal ring segment implantation in keratoconus. *Cornea* 2012;31:387-395
187. Spoerl E, Raiskup-Wolf F, Kuhlisch E, Pillunat LE: Cigarette smoking is negatively associated with keratoconus. *J Refract Surg* 2008;24:737-740
188. Sridhar MS, Mahesh S, Bansal AK, Rao GN: Superior pellucid marginal corneal degeneration. *Eye* 2004;18:393-399
189. Sterna JAC, Sutton AJ, Ioannidis JPA, Terrin N, Jones DR, Lau J, Higgins JPT: Recommendations for examining und interpreting funnel plot asymmetry in meta-analyses of randomized controlled trials. *BMJ* 2011;343:d4002
190. Sterne JA, Egger M: Funnel plots for detecting bias in meta-analysis: guidelines on choice of axis. *J Clin Epidemiol* 2001;54:1046-1055
191. Swann PG, Waldron HE: Keratoconus: the clinical spectrum. *J Am Optom Assoc* 1986;57:204-209
192. Torquetti L, Berbel RF, Ferrara P: Long-term follow-up of intrastromal corneal ring segments in keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1768-1773
193. Torquetti L, Cunha P, Luz A, Kwitko S, Carrion M, Rocha G, Signorelli A, Coscarelli S, Ferrara G, Bicalho F, Neves R, Ferrara P: Clinical Outcomes After Implantation of 320°-Arc Length Intrastromal Corneal Ring Segments in Keratoconus. *Cornea* 2018;37:1299-1305
194. Torquetti L, Ferrara G, Almeida F, Cunha L, Araujo LPN, Machado AP, Lyra JM, Merayo-Llodes J, Ferrara P: Intrastromal corneal ring segments implantation in patients with keratoconus: 10-year follow-up. *J Refract Surg* 2014;30:22-26
195. Tunc Z, Deveci N, Sener B, Bahcecioglu H: Corneal ring segments (INTACS) for the treatment of asymmetrical astigmatism of the keratoconus. Follow-up after 2 years. *J Fr Ophtalmol* 2003;26:824-830
196. Tunc Z, Helvacioğlu F, Sencan S: Evaluation of intrastromal corneal ring segments for treatment of post-LASIK ectasia patients with a mechanical implantation technique. *Indian J Ophthalmol* 2011;59:437-443

197. Tunc Z, Helvacioğlu F, Sencan S: Evaluation of intrastromal corneal ring segments for treatment of keratoconus with a mechanical implantation technique. *Indian J Ophthalmol* 2013;61:218-225
198. Uthoff D: *Praxis der refraktiven Chirurgie*. 1. Auflage. Stuttgart: Thieme, 2017 S. 182
199. Utine CA, Ayhan Z, Durmaz Engin C: Effect of intracorneal ring segment implantation on corneal asphericity. *Int J Ophthalmol* 2018;11:1303-1307
200. Vega-Estrada A, Alio JL: The use of intracorneal ring segments in keratoconus. *Eye and Vis* 2016;3:8
201. Vega-Estrada A, Alio JL, Brenner LF, Javaloy J, Plaza Puche AB, Barraquer RI, Teus MA, Murta J, Henriques J, Uceda-Montanes A: Outcome analysis of intracorneal ring segments for the treatment of keratoconus based on visual, refractive, and aberrometric impairment. *Am J Ophthalmol* 2013;155:575-584
202. Vogel A, Freidank S, Linz N: Alternativen zur Femtosekundentechnologie; *Ophthalmologie* 2014;111:531-538
203. Weckmann G, Chenot JF, Reber KC: Metaanalysen lesen und interpretieren: eine praktische Anleitung. *Z Allg Med* 2015;91:469-473
204. Yousif MO, Said AMA: Comparative study of 3 intracorneal implant types to manage central keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2018;44:295-305
205. Yousif MO, Said AMA: Contralateral eye study of refractive, topographic and aberrometric outcomes after femtosecond assisted MyoRing implantation and DALK for management of keratoconus. *Int J Ophthalmol* 2018;11:1621-1630
206. Zare MA, Mehrjardi HZ, Afarideh M, Bahrmandy H, Mohammadi SF: Visual, Keratometric and Corneal Biomechanical Changes after Intacs SK Implantation for Moderate to Severe Keratoconus. *J Ophthalmic Vis Res* 2016;11:17-25
207. Zare MA, Hashemi H, Salari MR: Intracorneal ring segment implantation for the management of keratoconus: safety and efficacy. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:1886-1891

8. Abbildungsverzeichnis

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Charakteristika des fortgeschrittenen Keratokonus..... | 12 |
| A: Hornhauttrübung | |
| B: Positives Munson-Zeichen | |
| Abbildung 2: Arc Shortening Effect der intrakornealen Ringsegmente und des MyoRings...16 | |
| A: Querschnitt der Hornhaut vor Implantation | |
| B: Querschnitt der Hornhaut nach Implantation | |
| Abbildung 3: Zustand nach Femtosekundenlaser-assistierter Tunnelpräparation für Intacs SK-Implantation..... | 20 |
| Abbildung 4: Ablauf der Implanatation der Intacs SK..... | 20 |
| A: Anheben des mit dem Femtosekundenlaser präparierten Flaps | |
| B: Entnahme der Intacs SK | |
| C: Intacs SK werden langsam rotierend eingebracht | |
| D: Implantierte Intacs SK | |
| Abbildung 5: Untersuchung unter der Spaltlampe..... | 22 |
| A: Vier Monate nach Intacs-Insertion | |
| B: Extrusion eines Ringsegments fünf Monate post operationem | |
| C: Initiale stromale Infiltrationen acht Monate post operationem | |
| D: Stromale Infiltrate zehn Monate post operationem und vor anschließender Keratoplastik | |
| Abbildung 6: Kornale Neovaskularisation nach Implantation eines Ferrara Rings..... | 22 |
| Abbildung 7: Auswertung eines Forest Plots..... | 28 |
| Abbildung 8: Beispiele eines Funnel Plots..... | 29 |
| A: symmetrischer Funnel Plot | |
| B: Asymmetrischer Funnel Plot | |
| Abbildung 9: Flussdiagramm zum Ablauf der Literaturrecherche..... | 31 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 10: Funnel Plots zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler..... | 58 |
| A: Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem | |
| B: Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem | |
| C: Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zwölf Monate post operationem | |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 11: Funnel Plots zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler..... | 60 |
| A: Visus cum correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers drei Monate post operationem | |
| B: Visus cum correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem | |
| C: Visus cum correctione nach Keraring-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem | |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 12: Funnel Plots zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des Visus cum correctione nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem..... | 62 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 13: Funnel Plots zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler..... | 65 |
| A: Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem | |
| B: Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem | |
| C: Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zwölf Monate post operationem | |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 14: Funnel Plots zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler..... | 67 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

- A: Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers drei Monate post operationem
- B: Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem
- C: Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem

Abbildung 15: Funnel Plots zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem.....69

Abbildung 16: Funnel Plot Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler der Sphäre nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem.....72

Abbildung 17: Funnel Plot Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler der Sphäre nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem.....74

Abbildung 18: Funnel Plots zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler.....78

- A: Zylinder nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem
- B: Zylinder nach Intacs/Intacs SK-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem
- C: Zylinder nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zwölf Monate post operationem

Abbildung 19: Funnel Plot zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des Zylinders nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem.....80

Abbildung 20: Funnel Plots zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler.....82

A: Zylinder nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

B: Zylinder nach MyoRing-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem

Abbildung 21: Funnel Plots zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler.....85

A: Sphärisches Äquivalent nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

B: Sphärisches Äquivalent nach Intacs/Intacs SK-Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem

C: Sphärisches Äquivalent nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zwölf Monate post operationem

Abbildung 22: Funnel Plot zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des Sphärischen Äquivalents nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem.....85

Abbildung 23: Funnel Plot Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des steilen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem.....91

Abbildung 24: Funnel Plot Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des steilen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem.....93

Abbildung 25: Funnel Plots zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler.....97

A: Mittlerer Keratometriewert nach Intacs/Intacs SK -Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem

B: Mittlerer Keratometriewert nach Intacs/Intacs SK -Implantation mit mechanischer Tunnelpräparation sechs Monate post operationem

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Abbildung 26: Funnel Plot zur Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des mittleren Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem..... | 99 |
| Abbildung 27: Funnel Plot Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des flachen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem..... | 103 |
| Abbildung 28: Funnel Plot Weighted mean difference in Abhängigkeit vom Standardfehler des flachen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers sechs Monate post operationem..... | 105 |
| Abbildung 29: Gepoolte Prävalenz der Ringsegment-Migration | 109 |
| A: Femtosekundenlaser-Gruppe | |
| B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation | |
| Abbildung 30: Gepoolte Prävalenz der kornealen Neovaskularisation | 111 |
| A: Femtosekundenlaser-Gruppe | |
| B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation | |
| Abbildung 31: Gepoolte Prävalenz der Extrusion..... | 113 |
| A: Femtosekundenlaser-Gruppe | |
| B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation | |
| Abbildung 32: Gepoolte Prävalenz der kornealen Perforation..... | 114 |
| A: Femtosekundenlaser-Gruppe | |
| B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation | |
| Abbildung 33: Gepoolte Prävalenz der Explantation..... | 116 |
| A: Femtosekundenlaser-Gruppe | |
| B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation | |
| Abbildung 34: Gepoolte Prävalenz der Dezentrierung..... | 118 |
| A: Femtosekundenlaser-Gruppe | |

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

Abbildung 35: Gepoolte Prävalenz der Keratitiden.....120

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

Abbildung 36: Gepoolte Prävalenz der zu superfiziellen Platzierung.....122

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

Abbildung 37: Gepoolte Prävalenz der Hornhauteinschmelzung.....123

A: Femtosekundenlaser-Gruppe

B: Gruppe der mechanischen Tunnelpräparation

9. Tabellenverzeichnis

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Übersicht über die derzeit gebräuchlichen ICRS..... | 17 |
| Tabelle 2: Interpretation I^2 nach Higgins und Thompson als Heterogenitätsindex..... | 30 |
| Tabelle 3: Eingeschlossene Studien mit Femtosekundenlaser-assistierter Intacs/Intacs SK-Implantation..... | 37 |
| Tabelle 4: Eingeschlossene Studien mit Intacs/ Intacs SK-Implantation mithilfe mechanischer Tunnelpräparation..... | 40 |
| Tabelle 5: Eingeschlossene Studien mit Femtosekundenlaser-assistierter Keraring-Implantation..... | 45 |
| Tabelle 6: Eingeschlossene Studien mit Keraring-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation..... | 48 |
| Tabelle 7: Eingeschlossene Studien mit Femtosekundenlaser-assistierter MyoRing-Implantation..... | 50 |
| Tabelle 8: Eingeschlossene Studien mit MyoRing-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation..... | 52 |
| Tabelle 9: Eingeschlossene Studien mit Femtosekundenlaser-assistierter Ferrara Ring-Implantation..... | 54 |
| Tabelle 10: Eingeschlossene Studien mit Ferrara Ring-Implantation nach mechanischer Tunnelpräparation..... | 56 |
| Tabelle 11: Veränderung des Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation..... | 58 |
| Tabelle 12: Veränderung des Visus cum correctione nach Keraring-Implantation..... | 59 |
| Tabelle 13: Veränderung des Visus cum correctione nach MyoRing-Implantation..... | 61 |
| Tabelle 14: Veränderung des Visus cum correctione nach Ferrara Ring-Implantation..... | 63 |
| Tabelle 15: Veränderung des Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation..... | 64 |
| Tabelle 16: Veränderung des Visus sine correctione nach Keraring-Implantation..... | 66 |
| Tabelle 17: Veränderung des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation..... | 68 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 18: Veränderung des Visus sine correctione nach Ferrara Ring-Implantation..... | 70 |
| Tabelle 19: Veränderung der Sphäre nach Intacs/Intacs SK-Implantation..... | 71 |
| Tabelle 20: Veränderung der Sphäre nach Keraring-Implantation..... | 73 |
| Tabelle 21: Veränderung der Sphäre nach MyoRing-Implantation..... | 75 |
| Tabelle 22: Veränderung der Sphäre nach Ferrara Ring-Implantation..... | 76 |
| Tabelle 23: Veränderung des Zylinders nach Intacs/Intacs SK-Implantation..... | 77 |
| Tabelle 24: Veränderung des Zylinders nach Keraring-Implantation..... | 79 |
| Tabelle 25: Veränderung des Zylinders nach MyoRing-Implantation..... | 81 |
| Tabelle 26: Veränderung des Zylinders nach Ferrara Ring-Implantation..... | 83 |
| Tabelle 27: Veränderung des Sphärischen Äquivalents nach Intacs/Intacs SK-Implantation.. | 85 |
| Tabelle 28: Veränderung des Sphärischen Äquivalents nach Keraring-Implantation..... | 87 |
| Tabelle 29: Veränderung des Sphärischen Äquivalents nach MyoRing-Implantation..... | 88 |
| Tabelle 30: Veränderung des Sphärischen Äquivalents nach Ferrara Ring-Implantation..... | 89 |
| Tabelle 31: Veränderung des steilen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK- Implantation..... | 91 |
| Tabelle 32: Veränderung des steilen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation..... | 92 |
| Tabelle 33: Veränderung des steilen Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation..... | 94 |
| Tabelle 34: Veränderung des steilen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation.... | 95 |
| Tabelle 35: Veränderung des mittleren Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK- Implantation..... | 96 |
| Tabelle 36: Veränderung des mittleren Keratometriewertes nach Keraring-Implantation..... | 98 |
| Tabelle 37: Veränderung des mittleren Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation.... | 100 |
| Tabelle 38: Veränderung des mittleren Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation..... | 101 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabelle 39: Veränderung des flachen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK- Implantation..... | 102 |
| Tabelle 40: Veränderung des flachen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation..... | 104 |
| Tabelle 41: Veränderung des flachen Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation..... | 106 |
| Tabelle 42: Veränderung des flachen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation..... | 107 |

11. Anlagen

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 11.1 Auflistung der ausgeschlossenen Studien mit Begründung..... | 163 |
| 11.2 Forest Plots zur Veränderung des Visus..... | 181 |
| 11.2.1 Forest Plots zur Veränderung des Visus cum correctione..... | 181 |
| 11.2.2 Forest Plots zur Veränderung des Visus sine correctione..... | 193 |
| 11.3 Forest Plots zur Veränderung der Refraktion..... | 205 |
| 11.3.1 Forest Plots zur Veränderung der Sphäre..... | 205 |
| 11.3.2 Forest Plots zur Veränderung des Zylinders..... | 216 |
| 11.3.3 Forest Plots zur Veränderung des Sphärischen Äquivalents..... | 227 |
| 11.4 Forest Plots zur Veränderung der Keratometrie..... | 238 |
| 11.4.1 Forest Plots zur Veränderung des steilen Keratometriewertes..... | 238 |
| 11.4.2 Forest Plots zur Veränderung des mittleren Keratometriewertes | 248 |
| 11.4.3 Forest Plots zur Veränderung des flachen Keratometriewertes..... | 259 |

11.1 Auflistung der ausgeschlossenen Studien mit Begründung

Publikation enthält keine Ergebnisse zur Refraktion, zum Visus sowie zur Keratometrie:

1. Arribas-Pardo P, Mendez-Hernandez C, Cuiña-Sardiña R, Fernandez-Perez C, Diaz-Valle D, Garcia-Feijoo J: Measuring intraocular pressure after intrastromal corneal ring segment implantation with rebound tonometry and Goldmann applanation tonometry. *Cornea* 2015;34:516-520
2. Barbara R, Barbara A, Naftali M: Depth evaluation of intended vs actual intacs intrastromal ring segments using optical coherence tomography. *Eye* 2016;30:102-110
3. Coskunseven E, Kymionis GD, Tsiklis NS, Atun S, Arslan E, Siganos CS, Jankov M, Pallikaris IG: Complications of intrastromal corneal ring segment implantation using a femtosecond laser for channel creation: a survey of 850 eyes with keratoconus. *Acta Ophthalmol* 2011;89:54-57
4. Eliacik M, Kirgiz A, Tülü Aygün B: Evaluation of corneal thickness with spectral-domain optical coherence tomography following keraring implantation for keratoconus: five year follow-up. *Curr Eye Res* 2020;45:1359-1363
5. Ertan A, Kamburoğlu G: Analysis of centration of Intacs segments implanted with a femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:484-487
6. Ferrer C, Alió JL, Montañés AU, Pérez-Santonja JJ, del Rio MA, de Toledo JA, Teus MA, Javaloy J: Causes of intrastromal corneal ring segment explantation: clinicopathologic correlation analysis. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:970-977
7. Gorgun E, Kucumen RB, Yenerel NM: Influence of intrastromal corneal ring segment implantation on corneal biomechanical parameters in keratoconic eyes. *Jpn J Ophthalmol* 2011;55:467-471
8. Gorgun E, Kucumen RB, Yenerel NM, Ciftci F: Assessment of intrastromal corneal ring segment position with anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2012;43:214-221
9. Hamdi IM: Optical and topographic changes in keratoconus after implantation of Ferrara intracorneal ring segments. *J Refract Surg* 2010;26:871-880
10. Hofling-Lima AL, Branco BC, Romano AC, Campos MQ, Moreira H, Miranda Daniela, Kwitko S, de Freitas D, Casanova FH, Sartori M, Schor P, Souza LB: Corneal Infections After Implantation of Intracorneal Ring Segments. *Cornea* 2004;23:547-549
11. Jadidi K, Mosavi SA, Nejat F, Alishiri A: Complications of Intrastromal Corneal Ring Implantation (Keraring 355°) using a Femtosecond Laser for Channel Creation. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2014;3:53-56

12. Kilic A: Corneal Physiology and Responses to Cross-Linking and Intracorneal Rings in Keratoconus. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2012;1:1-6
13. Kouassi FX, Buestel C, Raman B, Melinte D, Touboul D, Gallois A, Colin J: Comparison of the depth predictability of intra corneal ring segment implantation by mechanical versus femtosecond laser-assisted techniques using optical coherence tomography (OCT Visante®). *J Fr Ophtalmol* 2012;35:94-99
14. Matar C, Daas L, Suffo S, Langenbacher A, Seitz B, Eppig T: Reliability of corneal tomography after implantation of intracorneal ring segments for keratoconus. *Ophthalmol* 2020;117:1092-1099
15. Neira W, Krootila K, Holopainen JM: Atopic dermatitis is a risk factor for intracorneal ring segment extrusion. *Acta Ophthalmol* 2014;92:e491-492
16. Ortiz S, Pérez-Merino P, Alejandre N, Gamba E, Jimenez-Alfaro I, Marcos S: Quantitative OCT-based corneal topography in keratoconus with intracorneal ring segments. *Biomed Opt Express* 2012;3:814-824
17. Pérez-Merino P, Ortiz S, Alejandre N, de Castro A, Jiménez-Alfaro I, Marcos S: Ocular and optical coherence tomography-based corneal aberrometry in keratoconic eyes treated by intracorneal ring segments. *Am J Ophthalmol* 2014;157:116-127
18. Pérez-Merino P, Ortiz S, Alejandre N, Jiménez-Alfaro I, Marcos S: Quantitative OCT-Based Longitudinal Evaluation of Intracorneal Ring Segment Implantation in Keratoconus. *Invest. Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:6040-6051
19. Torquetti L, Ferrara P: Reasons for intrastromal corneal ring segment explantation. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:2014 (comment)
20. Wirbelauer C, Winkler J, Scholz C, Häberle H, Pham DT: Experimental imaging of intracorneal ring segments with optical coherence tomography. *J Refract Surg* 2003;19:367-371

Studie enthält Patienten nach PKP:

21. Tognon T, Campos M, Wengrzynowski JP, Barella KA, Pasqualotti A, de Brito Martins LA, Dos Santos Forseto A, de Sousa LB: Indications and visual outcomes of intrastromal corneal ring segment implantation in a large patient series. *Clinics* 2017;72:370-377

Ergebnisse der FS Laser-assistierten und mechanischen Tunnelpräparation werden nicht getrennt ausgewertet bzw. die Art der Tunnelpräparation wird nicht angegeben:

22. Alzahrani K, Cristian C, Harper S, Carley F, Brahma A, Morley D, Hillarby MC: Corneal imaging and densitometry measurements in keratoconus patients to monitor disease progression and treatment outcomes after contact lens or Intacs treatment. *Clin Ophthalmol* 2018;12:1653-1658
23. Dauwe C, Touboul D, Roberts CJ, Mahmoud AM, Kérautret J, Fournie P, Malecaze F, Colin J: Biomechanical and morphological corneal response to placement of intrastromal corneal ring segments for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1761-1767
24. de Sanctis U, Lavia C, Nassisi M, D'Amelio S: Keraring Intrastromal Segment Depth Measured by Spectral-Domain Optical Coherence Tomography in Eyes with Keratoconus. *J Ophthalmol* 2017;2017:4313784
25. Piñero DP, Alio JL, Morbelli H, Uceda-Montanes A, El Kady B, Coskunseven E, Pascual I: Refractive and corneal aberrometric changes after intracorneal ring implantation in corneas with pellucid marginal degeneration. *Ophthalmology* 2009;116:1656-1664 (+ outcomes of Keraring & Intacs are not reported separately)
26. Piñero DP, Alio JL, Uceda-Montanes A, El Kady B, Pascual I: Intracorneal ring segment implantation in corneas with post-laser in situ keratomileusis keratectasia. *Ophthalmology*. 2009;116:1665-1674 (+ outcomes of Keraring & Intacs are not reported separately)
27. Ramin S, Sangin Abadi A, Doroodgar F, Esmaili M, Niazi F, Niazi S, Alinia C, Golestani Y, Taj Abadi R: Comparison of Visual, Refractive and Aberration Measurements of INTACS versus Toric ICL Lens Implantation: A Four-year Follow-up. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol* 2018;7:32-39
28. Saib N, Bonnel S, Fenolland JR, Abrieu M, Rambaud C, Berguiga M, Froussart-Maille F, Rigal-Sastourne JC: Intrastromal corneal rings and corneal collagen crosslinking for progressive keratoconus: comparison of two sequences. *Eye* 2015;29:294-295
29. Tan BU, Purcell TL, Torres LF, Schanzlin DJ: New surgical approaches to the management of keratoconus and post-LASIK ectasia. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2006;104:212-220
30. Torquetti L, Cunha P, Luz A, Kwitko S, Carrion M, Rocha G, Signorelli A, Coscarelli S, Ferrara G, Bicalho F, Neves R, Ferrara P: Clinical Outcomes After Implantation of

320°-Arc Length Intrastromal Corneal Ring Segments in Keratoconus. *Cornea* 2018;37:1299-1305

31. Vega-Estrada A, Alió JL, Brenner LF, Burguera N: Outcomes of intrastromal corneal ring segments for treatment of keratoconus: five-year follow-up analysis. *J Cataract Refract Surg* 2013;39:1234-1240
32. Vega-Estrada A, Alió JL, Plaza-Puche AB: Keratoconus progression after intrastromal corneal ring segment implantation in young patients: Five-year follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2015;41:1145-1152

Zusätzlich zur Implantation der ICRS bzw. des MyoRings wurde eine zweite Operation durchgeführt:

33. Al-Tuwairqi WS, Osuagwu UL, Razzouk H, Ogbuehi KC: One-Year Clinical Outcomes of a Two-Step Surgical Management for Keratoconus-Topography-Guided Photorefractive Keratectomy/Cross-Linking After Intrastromal Corneal Ring Implantation. *Eye Contact Lens* 2015;41:359-366 (ICRS + PTK + CXL)
34. Alió JL, Toffaha BT, Piñero DP, Klonowski P, Javaloy J: Cross-linking in progressive keratoconus using an epithelial debridement or intrastromal pocket technique after previous corneal ring segment implantation. *J Refract Surg* 2011;27:737-743 (ICRS + CXL)
35. Almodin EM, Almodin F, Almodin J: Association of Ferrara Intracorneal Ring Segments with Phakic Intraocular Lens for Improved Visual Acuity in Young Keratoconus Patients: A Case Series. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2019;8:24-28 (ICRS + pIOL)
36. Chan CC, Sharma M, Wachler BS: Effect of inferior-segment Intacs with and without C3-R on keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2007;33:75-80 (results for ICRS + CXL)
37. Fontana L, Parente G, Sincich A, Tassinari G: Deep anterior lamellar keratoplasty after Intacs implantation in patients with keratoconus. *Cornea* 2009;28:32-35 (ICRS + DALK)
38. Hersh PS, Issa R, Greenstein SA: Corneal crosslinking and intracorneal ring segments for keratoconus: A randomized study of concurrent versus sequential surgery. *J Cataract Refract Surg* 2019;45:830-839 (ICRS + CXL)
39. Ibrahim O, Elmassry A, Said A, Abdalla M, El Hennawi H, Osman I: Combined femtosecond laser-assisted intracorneal ring segment implantation and corneal collagen

cross-linking for correction of keratoconus. *Clin Ophthalmol* 2016;10:521-526 (ICRS + CXL)

40. Levinger S, Pokroy R: Keratoconus managed with intacs: one-year results. *Arch Ophthalmol* 2005;123:1308-1314 (Sechs Augen mit Austuasch, Explantation usw.)
41. Moshirfar M, Fenzl CR, Meyer JJ, Neuffer MC, Espandar L, Mifflin MD: Simultaneous and sequential implantation of intacs and verisyse phakic intraocular lens for refractive improvement in keratectasia. *Cornea* 2011;30:158-163 (ICRS + pIOL)
42. Piñero DP, Alio JL, Klonowski P, Toffaha B: Vectorial astigmatic changes after corneal collagen crosslinking in keratoconic corneas previously treated with intracorneal ring segments: a preliminary study. *Eur J Ophthalmol* 2012;22 Suppl 7:S69–S80 (ICRS + CXL)
43. Pokroy R, Levinger S: Intacs adjustment surgery for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:986-992 (results after removal, exchange etc.)
44. Prangl-Grötzl A, Ettl A, Hörantner R, Daxer A: Individual Long-term Visual Stability after MyoRing Treatment of Keratoconus. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2016;5:53-56 (21% der Patienten hatten eine Korrekturoperation, bei diesen hat der Nachbeobachtungszeitraum erst nach dieser begonnen)
45. Rocha G, Ibrahim T, Gulliver E, Lewis K: Combined Phototherapeutic Keratectomy, Intracorneal Ring Segment Implantation, and Corneal Collagen Cross-Linking in Keratoconus Management. *Cornea* 2019;38:1233-1238 (PTK + ICRS + CXL)
46. Sharma IP, Bakshi R, Chaudhry M: Corneal collagen cross-linking with and without simultaneous intrastromal corneal ring segment implantation: One-year pilot study. *Eur J Ophthalmol* 2019;1120672119887874 (ICRS + CXL)
47. Wilde CL, Naylor SG, Varga Z, Morrell A, Ball JL: Keraring implantation using the Zeiss Visumax femtosecond laser in the management of patients with keratoconus. *Eye* 2017;31:916-923 (ICRS + CXL)

Studien, die die selben Patienten auswerten:

48. Alfonso JF, Lisa C, Fernández-Vega L, Madrid-Costa D, Poo-López A, Montés-Micó R: Intrastromal corneal ring segments and posterior chamber phakic intraocular lens implantation for keratoconus correction. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:706-713 (entspricht “Alfonso JF, Lisa C, Fernández-Vega L, Madrid-Costa D, Montés-Micó R: Intrastromal corneal ring segment implantation in 219 keratoconic eyes at different stages. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2011;249:1705-1712“)

49. Alfonso JF, Lisa C, Merayo-Llodes J, Fernández-Vega Cueto L, Montés-Micó R: Intrastromal corneal ring segment implantation in paracentral keratoconus with coincident topographic and coma axis. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:1576-1582 (entspricht "Fernández-Vega Cueto L, Lisa C, Poo-López A, Madrid-Costa D, Merayo-Llodes J, Alfonso JF: Intrastromal Corneal Ring Segment Implantation in 409 Paracentral Keratoconic Eyes. *Cornea* 2016;35:1421-1426")
50. Sedaghat MR, Momeni-Moghaddam H, Belin MW, Zarei-Ghanavati S, Akbarzadeh R, Sabzi F, Yekta AA, Sadeghi Allahabadi J: Changes in the ABCD Keratoconus Grade After Intracorneal Ring Segment Implantation. *Cornea* 2018;37:1431-1437 (entspricht "Sedaghat MR, Momeni-Moghaddam H, Piñero DP, Akbarzadeh R, Moshirfar M, Bamdad S, Gazanchian M: Predictors of Successful Outcome following Intrastromal Corneal Ring Segments Implantation. *Curr Eye Res* 2019;44:707-715")

Präoperative Werte werden nicht angegeben:

51. Alió JL, Piñero DP, Söğütlü E, Kubaloglu A: Implantation of new intracorneal ring segments after segment explantation for unsuccessful outcomes in eyes with keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1303-1310
52. Asbell PA, Uçakhan OO, Abbott RL, Assil KA, Burris TE, Durrie DS, Lindstrom RL, Schanzlin DJ, Verity SM, Waring GO 3rd: Intrastromal corneal ring segments: reversibility of refractive effect. *J Refract Surg* 2001;17:25-31
53. Chhadva P, Yesilirmak N, Cabot F, Yoo SH: Intrastromal Corneal Ring Segment Explantation in Patients With Keratoconus: Causes, Technique, and Outcomes. *J Refract Surg* 2015;31:392-397
54. de Freitas Santos Paranhos J, Avila MP, Paranhos A Jr, Schor P: Visual perception changes and optical stability after intracorneal ring segment implantation: comparison between 3 Monate and 1 year after surgery. *Clin Ophthalmol* 2011;5:1057-1062
55. Nguyen N, Gelles JD, Greenstein SA, Hersh PS: Incidence and associations of intracorneal ring segment explantation. *J Cataract Refract Surg* 2019;43:153-158
56. Rabinowitz YS, Li X, Ignacio TS, Maguen E: INTACS inserts using the femtosecond laser compared to the mechanical spreader in the treatment of keratoconus. *J Refract Surg* 2006;22:764-771
57. Tabatabaei SA, Soleimani M, Mirghorbani M, Tafti ZF, Rahimi F: Microbial keratitis following intracorneal ring implantation. *Clin Exp Optom* 2019;102:35-42

58. Torquetti L, Ferrara G, Almeida F, Cunha L, Ferrara P, Merayo-Llodes J: Clinical outcomes after intrastromal corneal ring segments reoperation in keratoconus patients. *Int J Ophthalmol* 2013;6:796-800

Publikation in einer anderen Sprache als Englisch, Deutsch, Französisch oder Spanisch:

59. Choi SW, Chose WS, Her J: Intrastromal Corneal Ring Segments (KeraRing®) Implantation for the Correction of Keratoconus. *J Korean Ophthalmol Soc* 2011;52:277-284 (Koreanisch)
60. Drzyzga L, Wygledowska-Promienska D, Piotrowska-Gwozdz A, Gosciniowicz P, Mrukwa-Kominek E: The use of intrastromal corneal ring segments in patients with myopia and keratoconus. *Klin Oczna* 2016;118:72-77 (Polnisch)
61. Ghasemi H, Razmjoo H, Balali S, Vaheb Y: Evaluation of Keratoconus Correction by Ferrara Intracorneal Ring Segments. *Daneshvar Medicine* 2020;16:45-52 (Arabic)
62. Hirsh A, Barequet IS, Levinger S: Wavefront-guided lasek after intacs in eyes with stable keratoconus. *Harefuah* 2006;145:181-182,247-248 (Hebräisch)
63. Karamian AA, Iusef IN, Makhmud MI: Intrastromal corneal segments implantation in keratoconus. *Vestnik Oftalmologii* 2013;128:45-47 (Russisch)
64. Kim JA, Kim DH, Wie WR, Kim MK: Clinical Results of Intacs® Ring Implantation in Keratoconus or Keratectasia. *J Korean Ophthalmol Soc* 2015;56:499-508 (koreansh; results were also reported in “Kim CY, Kim MK. Effect of Sequential Intrastromal Corneal Ring Segment Implantation and Corneal Collagen Crosslinking in Corneal Ectasia. *Korean J Ophthalmol* 2019;33:528-538“)
65. Pashtaev NP, Pozdeeva NA, Sinitsyn MV: Comparative analysis of corneal aberrations after intrastromal segments and MyoRing implantation using femtosecond laser in patients with keratoconus. *Vestn Oftalmol* 2017;133:3-8 (russisch)
66. Pashtaev NP, Pozdeeva NA, Sinitsyn MV, Zotov VV, Gagloev BV: Comparative evaluation of different corneal cross-linking techniques with respect to biomechanical stability of the cornea. *Vestn Oftalmol* 2016;132:38-46 (russisch)
67. Studený P, Křížová D, Straňák Z, Kuchynka P: Clinical Results after Continuous Corneal ring (MyoRing) Implantation in Keratoconus Patients. *Cesk Slov Oftalmol* 2015;71:87-91 (tschechisch)
68. Wygledowska-Promieńska D, Gierek-Ciaciura S, Mrukwa-Kominek E: Use of intrastromal corneal ring segments (INTACS) in refractive surgery. *Klin Oczna* 2003;105:200-202 (polnisch)

69. Zilfyan A: Results and effectiveness of Keraring implantation with the help of femtosecond laser patients with keratoconus. *Georgian Med News* 2015;244:12-16 (russisch)

Studie schließt Patientin ein, die zuvor mit einem CXL behandelt wurden:

70. Ganesh S, Shetty R, D'Souza S, Ramachandran S, Kurian M: Intrastromal corneal ring segments for management of keratoconus. *Indian J Ophthalmol* 2013;61:451-455

Zeitpunkt des Follow-ups wird nicht beschrieben bzw. ist uneindeutig:

71. Alió JL, Artola A, Ruiz-Moreno JM, Hassanein A, Galal A, Awadalla MA: Changes in keratoconic corneas after intracorneal ring segment explantation and reimplantation. *Ophthalmology* 2004;111:747-751
72. Ayar O, Muftuoglu O, Akdemir MO, Ozmen MC: Results of ethanol-assisted epithelium-on corneal cross-linking with and without intrastromal corneal ring implantation. *Int Ophthalmol* 2019;39:651-659
73. Bali SJ, Chan C, Hodge C, Sutton G: Intracorneal Ring Segment Reimplantation in Keratectasia. *Asia Pac J Ophthalmol* 2012;1:327-330
74. Coskunseven E, Jankov MR 2nd, Hafezi F, Atun S, Arslan E, Kymionis GD: Effect of treatment sequence in combined intrastromal corneal rings and corneal collagen crosslinking for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:2084-2091
75. Daxer A: Myoring for central and noncentral Keratoconus. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2012;1:117-119
76. Daxer B, Mahmoud H, Daher A: MyoRing Treatment for Keratoconus: DIOPTEx PocketMaker vs Ziemer LDV for Corneal Pocket Creation. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2012;1:151-152
77. El Araby Abd El Ghany Ismaeil: Magdy Ezzat Khallaf: Hassan Mohammed Hassan Hegazy; Ali Ahmed Ghali and Ramy Saleh Abd El-Lattief: Evaluation of Intracorneal Ferrara Ring segments in management of keratoconus. *Al-Azhar Assiut medical journal* 2015;13:18-26
78. Jadidi K, Naderi M, Mosavi SA, Nejat F, Aghamolaei H, Serahati S: Pre-operative factors influencing post-operative outcomes from MyoRing implantation in keratoconus. *Clin Exp Optom* 2019;102:394-398

79. Mounir A, Mostafa EM: Effect of mesopic pupil size on aberrometric outcomes after femtolaser-assisted intracorneal ring implantation in keratoconus. *Sudanese J Ophthalmol* 2019;11:42-47
80. Nio YK, Jansonius NM, Wijdh RH, Beekhuis WH, Worst JG, Norrby S, Kooijman AC: Effect of methods of myopia correction on visual acuity, contrast sensitivity, and depth of focus. *J Cataract Refract Surg* 2003;29:2082-2095
81. Ratkay-Traub I, Ferincz IE, Juhasz T, Kurtz RM, Krueger RR: First clinical results with the femtosecond neodymium-glass laser in refractive surgery. *J Refract Surg* 2003;19:94-103
82. Rodrigues PF, Ferrara G, Ferrara P, Dias WG, Torquetti L: Intrastromal Corneal Ring Segments Implantation in Patients with Mild Keratoconus. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2014;3:122-126
83. Sharma M, Boxer Wachler BS: Comparison of single-segment and double-segment Intacs for keratoconus and post-LASIK ectasia. *Am J Ophthalmol* 2006;141:891-895 (+ results of femtosecond laser-assisted and mechanical implantation are not reported separately)
84. Utine CA, Engin CD, Ayhan Z: Effects of Preoperative Topometric Indices on Visual Gain After Intracorneal Ring Segment Implantation for Keratoconus. *Eye Contact Lens* 2018;44:387-391

Abweichender Zeitpunkt des Follow-ups:

85. Abad JC, Arango J, Tobon C: Comparison of astigmatism correction using shorter arc length 90°/120° asymmetric intacs severe keratoconus versus 150° single-segment intacs severe keratoconus in asymmetric keratoconus. *Cornea* 2011;30:1201-1206 (1 und 9 Monate)
86. Al-Tuwairqi W, Sinjab MM: Intracorneal ring segments implantation followed by same-day topography-guided PRK and corneal collagen CXL in low to moderate keratoconus. *J Refract Surg* 2013;29:59-63 (3 bis 11 Monate)
87. Amanzadeh K, Elham R, Jafarzadepur E: Effects of single-segment Intacs implantation on visual acuity and corneal topographic indices of keratoconus. *J Curr Ophthalmol* 2017;29:189-193 (4,7±0,6 Monate)
88. Baïkoff G, Maia N, Poulhalec D, Fontaine A, Giusiano B: Diurnal variations in keratometry and refraction with intracorneal ring segments. *J Cataract Refract Surg* 1999;25:1056-1061 (Veränderungen im Tagesverlauf)

89. Barbara A, Shehadeh-Masha'our RJ, Garzozzi H: Intacs after laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1892-1895 (15,2 Monate)
90. Bayouny AM, Farag AAR, Shawky MM, Hamid MNAH: Intrastromal corneal keraring segments for keratoconus. *Z.U.M.J.* 2014;20:399-403 (durchschnittlich 6 Monate)
91. Beniz LA, Queiroz GH, Queiroz CF, Lopes WL, Moraes LF, Beniz J: Intrastromal corneal ring segments delay corneal grafting in patients with keratoconus. *Arq Bras Oftalmol* 2016;79:30-32 (28,72 ± 4,71 Monate)
92. Cakir H, Utine CA: Combined Kerarings and Artisan/Artiflex IOLs in Keratectasia. *J Refract Surg* 2010;28:1-8 (6,6±5,2 Monate)
93. Carrasquillo KG, Rand J, Talamo JH: Intacs for keratoconus and post-LASIK ectasia: mechanical versus femtosecond laser-assisted channel creation. *Cornea* 2007;26:956-962 (10,3 Monate)
94. Coskunseven E, Kymionis GD, Tsiklis NS, Atun S, Arslan E, Jankov MR, Pallikaris IG: One-year results of intrastromal corneal ring segment implantation (KeraRing) using femtosecond laser in patients with keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2008;145:775-779 (15,6±3,2 Monate)
95. Ertan A, Kamburoğlu G: Intacs implantation using a femtosecond laser for management of keratoconus: Comparison of 306 cases in different stages. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:1521-1526 (10,39±5,04 Monate)
96. Ferrara P, Torquetti L: Clinical outcomes after implantation of a new intrastromal corneal ring with a 210-degree arc length. *J Cataract Refract Surg* 2009;35:1604-1608 (6.65±7.73 Monate, 1 bis 36 Monate)
97. Ferrara G, Torquetti L, Ferrara P, Merayo-Llodes J: Intrastromal corneal ring segments: visual outcomes from a large case series. *Clin Exp Ophthalmol* 2012;40:433-439 (23,8±12,2 and 22,9±15,1 Monate)
98. Hashemi H, Gholaminejad A, Amanzadeh K, Hashemi M, Khabazkhoob M: Single-segment and double-segment INTACS for post-LASIK ectasia. *Acta Med Iran* 2014;52:681-686 (11,2±2,3 Monate)
99. Hosny M, El-Mayah E, Sidky MK, Anis M: Femtosecond laser-assisted implantation of complete versus incomplete rings for keratoconus treatment. *Clin Ophthalmol* 2015;9:121-127 (1 Monat)

100. Janani L, Jadidi K, Mosavi SA, Nejat F, Naderi M, Nourijelyani K: MyoRing Implantation in Keratoconic Patients: 3 years Follow-up Data. *J Ophthalmic Vis Res* 2016;11:26-31 (3 Jahre)
101. Kapasi M, Rocha G. Comparison of visual and refractive outcomes following Intacs implantation in keratoconus eyes with central and eccentric cones. *Can J Ophthalmol* 2012;47:354-359 (10,3±2 Monate)
102. Kwitko S, Severo NS: Ferrara intracorneal ring segments for keratoconus. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:812-820 (13 ±8,7 Monate)
103. Kymionis GD, Siganos CS, Kounis G, Astyrakakis N, Kalyvianaki MI, Pallikaris IG: Management of Post-LASIK Corneal Ectasia With Intacs Inserts: One-Year Results. *Arch Ophthalmol* 2003;121:322-326 (15±6,5 Monate)
104. Lee H, Kang DSY, Ha BJ, Choi JY, Kim EK, Seo KY, Kim TI: Visual rehabilitation in moderate keratoconus: combined corneal wavefront-guided transepithelial photorefractive keratectomy and high-fluence accelerated corneal collagen cross-linking after intracorneal ring segment implantation. *BMC Ophthalmol* 2017;17:270-284 (1 Monat)
105. Lyra JM, Lyra D, Ribeiro G, Torquetti L, Ferrara P, Machado A: Tomographic Findings After Implantation of Ferrara Intraströmical Corneal Ring Segments in Keratoconus. *J Refract Surg* 2017;33:110-115 (29,4 Monate)
106. Madar J, Proust H, Matonti F, Conrath J, Ridings B, Hoffart L: Nouvelle approche thérapeutique du k ratoc ne par segments d'anneaux intracorn ens assist s par laser femtoseconde (Tecnolas Perfect Vision®): indications, technique op ratoire et r sultats. *Journal Francais d'ophtalmologie* 2011;34:2-9 (6,9±7,1 Monate)
107. Miraftab M, Hashemi H, Hafezi F, Asgari S: Mid-Term Results of a Single Intraströmical Corneal Ring Segment for Mild to Moderate Progressive Keratoconus. *Cornea* 2017;36:530-534 (27,8±7,58 Monate)
108. Mounir A, Radwan G, Farouk MM, Mostafa EM: Femtosecond-assisted intracorneal ring segment complications in keratoconus: from novelty to expertise. *Clin Ophthalmol* 2018;12:957-964 (18 Monate)
109. Mularoni A, Torreggiani A, di Biase A, Laffi GL, Tassinari G: Conservative treatment of early and moderate pellucid marginal degeneration: a new refractive approach with intracorneal rings. *Ophthalmology* 2005;112:660-666 (Minimum 12 Monate, 12 bis months, SD 14.14)

110. Nobari SM, Villena C, Jadidi K: Full-Ring Intracorneal Implantation in Corneas With Pellucid Marginal Degeneration. *Iran Red Crescent Med J* 2015;17:e28974 (10 Monate)
111. Pirhadi S, Mohammadi N, Mosavi SA, Daryabari H, Aghamollaei H, Jadidi K: Comparison of the MyoRing implantation depth by mechanical dissection using PocketMaker microkeratome versus Melles hook via AS-OCT. *BMC Ophthalmol* 2018;18:137 (9,81±3,7 Monate)
112. Pokroy R, Levinger S, Hirsh A: Single Intacs segment for post-laser in situ keratomileusis keratectasia. *J Cataract Refract Surg* 2004;30:1685-1695 (9 Monate)
113. Sadigh AL, Aali TA, Sadeghi A: Outcome of intrastromal corneal ring segment relative to depth of insertion evaluated with scheimpflug image. *J Curr Ophthalmol* 2015;27:25-31 (8,8 Monate)
114. Sadoughi MM, Einollahi B, Veisi AR, Zare M, Sedaghat MR, Roshandel D, Einollahi N, Rezaei J: Femtosecond laser implantation of a 340-degree intrastromal corneal ring segment in keratoconus: Short-term outcomes. *J Cataract Refract Surg* 2017;43:1251-1256 (4,33 Monate)
115. Saleem MIH, Ibrahim Elzembely HA, AboZaid MA, Elagouz M, Saeed AM, Mohammed OA, Kamel AG: Three-Year Outcomes of Cross-Linking PLUS (Combined Cross-Linking with Femtosecond Laser Intracorneal Ring Segments Implantation) for Management of Keratoconus. *J Ophthalmol* 2018;2018:6907573 (36 Monate)
116. Salgado-Borges JM, Costa-Ferreira C, Monteiro M, Guilherme-Monteiro J, Torquetti L, Ferrara P, Ambósio R Jr: Refractive, Tomographic and Biomechanical Outcomes after Implantation of Ferrara ICRS in Keratoconus Patients. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2012;1:16-21 (Minimum 1 Jahr, durchschnittlich 18±4 Monate, 14 bis 25 Monate)
117. Sánchez-Thorin JC, Navarro PI: Single-Segment Intacs Severe Keratoconus 80% Stromal Depth Insertion With a Femtosecond Laser for Asymmetric Keratoconus: A Case Series. *Asia Pac J Ophthalmol* 2014;3:23-26 (9 Monate)
118. Sandes J, Stival LRS, de Ávila MP, Ferrara P, Ferrara G, Magacho L, Araújo LPN, Torquetti L: Clinical outcomes after implantation of a new intrastromal corneal ring with 140-degree of arc in patients with corneal ectasia. *Int J Ophthalmol* 2018;11:802-806 (16,81±10,8 Monate)
119. Shetty R, D'Souza S, Ramachandran S, Kurian M, Nuijts RM: Decision making nomogram for intrastromal corneal ring segments in keratoconus. *Indian J Ophthalmol* 2014;62:23-28 (9,58±3,47 Monate and 9,72±3,8 Monate)

120. Siganos CS, Kymionis GD, Kartakis N, Theodorakis MA, Astyrakakis N, Pallikaris IG: Management of keratoconus with Intacs. *Am J Ophthalmol* 2003;135:64-70 (11,3 Monate)
121. Torquetti L, Arce C, Merayo-Llodes J, Ferrara G, Ferrara P, Signorelli B, Signorelli A: Evaluation of anterior and posterior surfaces of the cornea using a dual Scheimpflug analyzer in keratoconus patients implanted with intrastromal corneal ring segments. *Int J Ophthalmol* 2016;9:1283-1288 (12,7 Monate)
122. Torquetti L, Ferrara P: Intrastromal corneal ring segment implantation for ectasia after refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:986-990 (39,8±21,1 Monate)
123. Torquetti L, Ferrara G, Almeida F, Cunha L, Araujo LPN, Machado AP, Marcelo Lyra J, Merayo-Llodes J, Ferrara P: Intrastromal corneal ring segments implantation in patients with keratoconus: 10-year follow-up. *J Refract Surg* 2014;30:22-26 (5 und 10 Jahre)
124. Torquetti L, Ferrara F, Ferrara P: Predictors of Clinical Outcomes after Intrastromal Corneal Ring Segments Implantation. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2012;1:26-30 (23.8±12.2 Monate)
125. Tu KL, Batterbury M, Kaye SB: Intrastromal corneal ring segments: effect of relationship between alignment and topographic keratometric meridians. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:1432-1439 (4 Monate)
126. Tu KL, Sebastian RT, Owen M, Batterbury M, Kaye SB: Quantification of the surgically induced refractive effect of intrastromal corneal ring segments in keratoconus with standardized incision site and segment size. *J Cataract Refract Surg* 2011;37:1865-1870 (4 Monate)
127. Woodward MA, Randleman JB, Russell B, Lynn MJ, Ward MA, Stulting RD: Visual rehabilitation and outcomes for ectasia after corneal refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:383-388 (42 ±40 Monate)
128. Yildirim A, Cakir H, Kara N, Uslu H: Long-term outcomes of intrastromal corneal ring segment implantation for post-LASIK ectasia. *Cont Lens Anterior Eye* 2014;37:469-472 (letztes Follow-up 67 ± 21 Monate, 36 bis 96 Monate)
129. Zeraid FM, Jawkhab AA, Al-Tuwairqi WS, Osuagwu UL: Visual rehabilitation in low-moderate keratoconus: intracorneal ring segment implantation followed by same-day topography-guided photorefractive keratectomy and collagen cross linking. *Int J Ophthalmol* 2014;7:800-806 (9.0±5.7 Monate, 3 bis 24 Monate)

Review:

130. Rabinowitz YS: INTACS for keratoconus and ectasia after LASIK. *Int Ophthalmol Clin* 2013;53:27-39

Art des ICRS wird nicht beschrieben:

131. Davis EA, Hardten DR, Lindstrom RL: Laser in situ keratomileusis after intracorneal rings. Report of 5 cases. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:1733-1741
132. Touboul D, Pinsard L, Mesplier N, Smadja D, Colin J: Correction des astigmatismes irréguliers par anneaux intra cornéens. *J Fr Ophtalmol* 2012;3:212-219

In der Studie wird nicht zwischen Patienten mit Myopie und Keratektasie unterschieden:

133. Cochener B, Savary-Le Floch G, Colin J: Excimer photorefractive keratectomy (PRK) versus intrastromal corneal ring segments (ICRS) for correction of low myopia. *J Fr Ophtalmol* 2000;23:663-678
134. Cochener B, Savary-LeFloch G, Colin J: Effect of intrastromal corneal ring segment shift on clinical outcome: one year results for low myopia. *J Cataract Refract Surg* 2000;26:978-986
135. Daxer A: MyoRing treatment of myopia. *J Optom* 2017;10:194-198
136. Görges HW, Höh H, Rehfeldt K: Intracorneal ring segments for correction of myopia. Results of microsurgery technique. *Ophthalmologie* 2001;98:617-622
137. Güell JL, Morral M, Salinas C, Elies D, Gris O, Manero F: Intrastromal corneal ring segments to correct low myopia in eyes with irregular or abnormal topography including forme fruste keratoconus: 4-year follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2010;36:1149-1155
138. Höh H, Görges HW, Rehfeldt K: Intracorneal ring segments for the correction of myopia-suggestions to ensure a high standard of quality *Klin Monbl Augenheilkd* 2002;219:575-583
139. Höh H, Rehfeldt K, Reiss G: Correction of myopia with the intracorneal ring. *Ophthalmologie* 1999;96:717-723
140. Ito M, Arai H, Fukumoto T, Toda I, Tsubota K: INTACS before or after laser in situ keratomileusis: correction of thin corneas with moderately high myopia. *J Refract Surg* 2004;20:818-822

141. Suiter BG, Twa MD, Ruckhofer J, Schanzlin DJ: A comparison of visual acuity, predictability, and visual function outcomes after intracorneal ring segments and laser in situ keratomileusis. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2000;98:51-57

Studien mit weniger als fünf Augen:

142. Coskunseven E, Onder M, Kymionis GD, Diakonis VF, Arslan E, Tsiklis N, Bouzoukis DI, Pallikaris I: Combined Intacs and posterior chamber toric implantable Collamer lens implantation for keratoconic patients with extreme myopia. *Am J Ophthalmol* 2007;144:387-389 (drei Augen)
143. Daxer A: Corneal Thickness after MyoRing Implantation for Keratoconus. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2014;15-19 (12 Patienten, die Refraktion wurde nur bei einem Teil der Patienten ausgewertet)
144. Mohammadpour M, Hahemi H, Jabbarvand M: Technique of simultaneous femtosecond laser assisted Myoring implantation and accelerated intrastromal collagen cross-linking for management of progressive keratoconus: A novel technique. *Cont Lens Anterior Eye* 2016;39:9-14 (ein Patient)
145. Mahmood H, Venkateswaran RS, Daxer A: Implantation of a complete corneal ring in an intrastromal pocket for keratoconus. *J Refract Surg* 2011;27:63-68 (da zuvor zwei Patienten mit CXL behandelt wurden)
146. Tomalla M: Ex- und reimplantation of intracorneal ring segments with the support of femtosecond laser, Femtec, for the treatment of progressive keratoconus. *Ophthalmologe* 2007;104:321-324 (ein Patient)

SD wird nicht angegeben:

147. Alfonso JF, Lisa C, Fernández-Vega Cueto L, Poo-López A, Madrid-Costa D, Fernández-Vega L: Sequential intrastromal corneal ring segment and monofocal intraocular lens implantation for keratoconus and cataract: Long-term follow-up. *J Cataract Refract Surg* 2017;43:246-254
148. Alió JL, Shabayek MH, Belda JI, Correas P, Feijoo ED: Analysis of results related to good and bad outcomes of Intacs implantation for keratoconus correction. *J Cataract Refract Surg* 2006;32:756-761 (+ FS Laser-assistierte und mechanische Tunnelpräparation werden nicht getrennt ausgewertet)

149. Alio JL, Vega-Estrada A, Esperanza S, Barraquer RI, Teus MA, Murta J: Intrastromal corneal ring segments: how successful is the surgical treatment of keratoconus? Middle East Afr J Ophthalmol 2014;21:3-9
150. Alshammari YS, Al Somali AI: Outcomes of MyoRing Implantation in Eyes with Keratoconus in the Eastern Province of Saudi Arabia: "A Single-Arm Cohort Study". J Ophthalmol 2019;2019:2630704 (Durchschnitt \pm SD fehlen)
151. Coskunseven E, Sharma DP, Grentzelos MA, Sahin O, Kymionis GD, Pallikaris I: Four-Stage Procedure for Keratoconus: ICRS Implantation, Corneal Cross-linking, Toric Phakic Intraocular Lens Implantation, and Topography-Guided Photorefractive Keratectomy. J Refract Surg 2017;33:683-689
152. Daxer A, Ettl A, Hörantner R: Long-term results of MyoRing treatment of keratoconus. J Optom 2017;10:123-129
153. de Freitas Santos Paranhos J de F, Paranhos A Jr, Avila MP, Schor P: Analysis of the correlation between ophthalmic examination and quality of life outcomes following intracorneal ring segment implantation for keratoconus. Arq Bras Oftalmol 2011;74:410-413
154. Fernández-Vega Cueto L, Lisa C, Madrid-Costa D, Merayo-Llodes J, Alfonso JF. Long-Term Follow-Up of Intrastromal Corneal Ring Segments in Paracentral Keratoconus with Coincident Corneal Keratometric, Comatic, and Refractive Axes: Stability of the Procedure. J Ophthalmol 2017;2017:4058026 (keine SD für andere Werte als präoperativ und 5 Jahre)
155. Kubaloglu A, Sari ES, Cinar Y, Koytak A, Kurnaz E, Ozertürk Y: Intrastromal corneal ring segment implantation for the treatment of keratoconus. Cornea 2011;30:11-17 (Durchschnitt \pm SD werden nicht für FS Laser-assistierte und mechanische Tunnelpräparation nicht getrennt ausgewertet)
156. Kymionis GD, Tsiklis NS, Pallikaris AI, Kounis G, Diaknois VF, Astyrakakis N, Siganos CS: Long-term follow-up of Intacs for post-LASIK corneal ectasia. Ophthalmology 2006;113:1909-1917
157. Legare ME, Iovieno A, Yeung SN, Lichtinger A, Kim P, Hollands S, Slomovic AR, Rootman DS: Intacs with or without same-day corneal collagen cross-linking to treat corneal ectasia. Can J Ophthalmol 2013;48:173-178
158. Nicula C, Pop RN, Nicula DV: Comparative Results in a Combined Procedure of Intrastromal Corneal Rings Implantation and Cross-linking in Patients with Keratoconus: A Retrospective Study. Ophthalmol Ther 2017;6:313-321

159. Pesando PM, Ghiringhello MP, Di Meglio G, Romeo S: Treatment of keratoconus with Ferrara ICRS and consideration of the efficacy of the Ferrara nomogram in a 5-year follow-up. *Eur J Ophthalmol* 2010;20:865-873
160. Prisant O, Pottier E, Guedj T, Hoang Xuan T: Clinical Outcomes of an Asymmetric Model of Intrastromal Corneal Ring Segments for the Correction of Keratoconus. *Cornea* 2020;39:155-160
161. Rosen E, Kowalewski E: Instrument for initiating the corneal intrastromal channel for the insertion of Intacs. *J Cataract Refract Surg* 2001;27:1356-1358
162. Ruckhofer J, Stoiber J, Alzner E, Grabner G: Intrastromale Corneale Ringsegmente (ICRS, KeraVision Ring, Intacs): Klinische Ergebnisse nach 2 Jahren. *Klin Monbl Augenheilkd* 2000; 216:133-142 (Durchschnitt \pm SD fehlen)
163. Shabayek MH, Alió JL: Intrastromal corneal ring segment implantation by femtosecond laser for keratoconus correction. *Ophthalmology* 2007;114:1643-1652
164. Twa MD, Karpecki PM, King BJ, Linn SH, Durrie DS, Schanzlin DJ: One-year results from the phase III investigation of the KeraVision Intacs. *J Am Optom Assoc* 1999;70:515-524 (Durchschnitt \pm SD fehlen)
165. Wijdh RH, van Rij G: Intrastromal corneal ring segments (ICRs): three- and six Monate results. *Doc Ophthalmol* 2000;100:27-37 (Durchschnitt \pm SD fehlen)

Unterschiedliche ICRS-Arten werden implantiert:

166. Barbara R, Barbara A: Intrastromal Corneal Ring Segment with and without Collagen Corneal Crosslinking vs Penetrating Keratoplasty for the Treatment of Keratoconus. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2014;3:88-94 (Intacs und Ferrara Ring)
167. Brenner LF, Alió JL, Vega-Estrada A, Baviera J, Beltrán J, Cobo-Soriano R: Indications for intrastromal corneal ring segments in ectasia after laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2012;38:2117-2124 (Intacs und Keraring, outcomes were not reported for femtosecond laser-assisted and mechanical implantation separately)
168. Burguera-Gimenez N: Relevance of a New Integral Keratoconus Grading System for the Outcomes of Intracorneal Ring Segment Implantation. *Int J Kerat Ect Cor Dis* 2012;1:79-86 (Intacs and Keraring)
169. Ferenczy PA, Dalcegio M, Koehler M, Pereira TS, Moreira H, Luciane Bugmann M: Femtosecond-assisted intrastromal corneal ring implantation for keratoconus treatment: a comparison with crosslinking combination. *Arq Bras Oftalmol* 2015;78:76-81 (Corneal Ring)

170. Israel M, Yousif MO, Osman NA, Nashed M, Abdelfattah NS: Keratoconus correction using a new model of intrastromal corneal ring segments. *J Cataract Refract Surg* 2016;42:444-454 (Keratacx)
171. Piñero DP, Alio JL, El Kady B, Coskunseven E, Morbelli H, Uceda-Montanes A, Maldonado MJ, Cuevas D, Pascual I: Refractive and aberrometric outcomes of intracorneal ring segments for keratoconus: mechanical versus femtosecond-assisted procedures. *Ophthalmology* 2009;116:1675-1687 (Intacs und Keraring)
172. Vega-Estrada A, Alio JL, Brenner LF, Javaloy J, Plaza Puche AB, Barraquer RI, Teus MA, Murta J, Henriques J, Uceda-Montanes A: Outcome analysis of intracorneal ring segments for the treatment of keratoconus based on visual, refractive, and aberrometric impairment. *Am J Ophthalmol* 2013;155:575-584 (Keraring und Intacs(+ FS Laser-assistierte und mechanische Tunnelpräparation wurden nicht getrennt ausgewertet)
173. Vega-Estrada A, Chorro E, Sewelam A, Alio JL: Clinical Outcomes of a New Asymmetric Intracorneal Ring Segment for the Treatment of Keratoconus. *Cornea* 2019;38:1228-1232 (Visumring)

11.2 Forest Plots zur Veränderung des Visus

11.2.1 Forest Plots zur Veränderung des Visus cum correctione

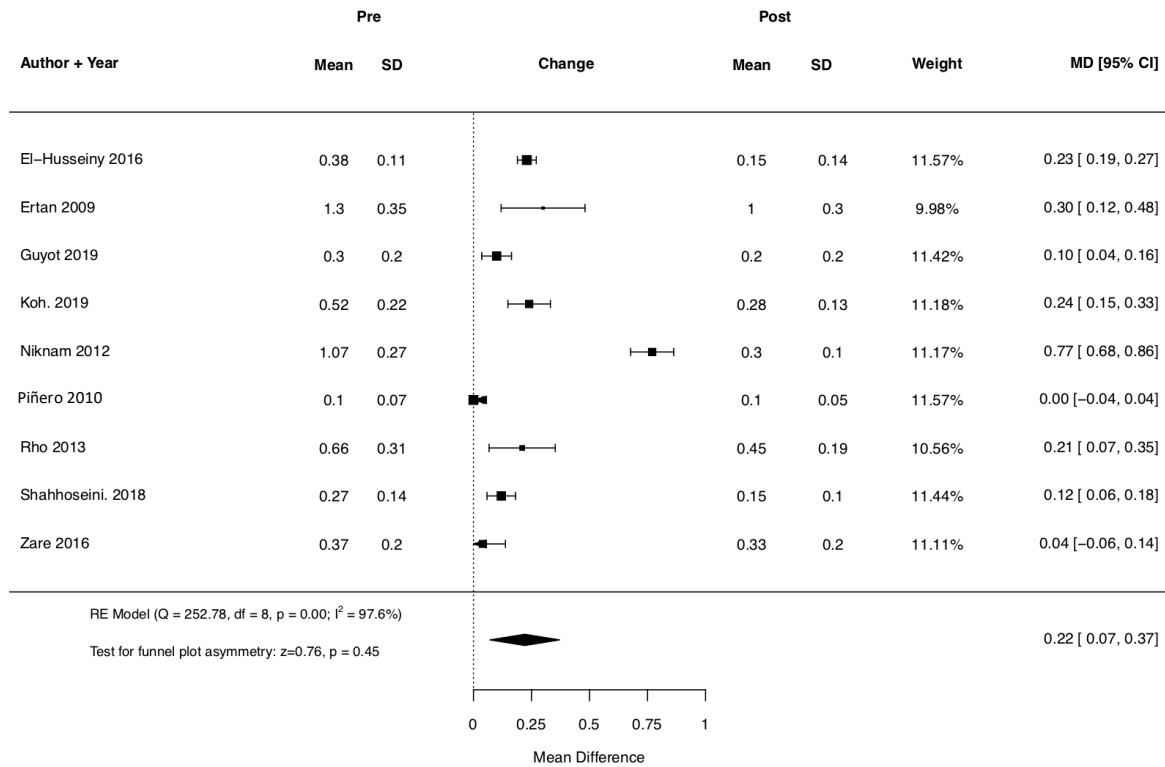


Abbildung 1: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

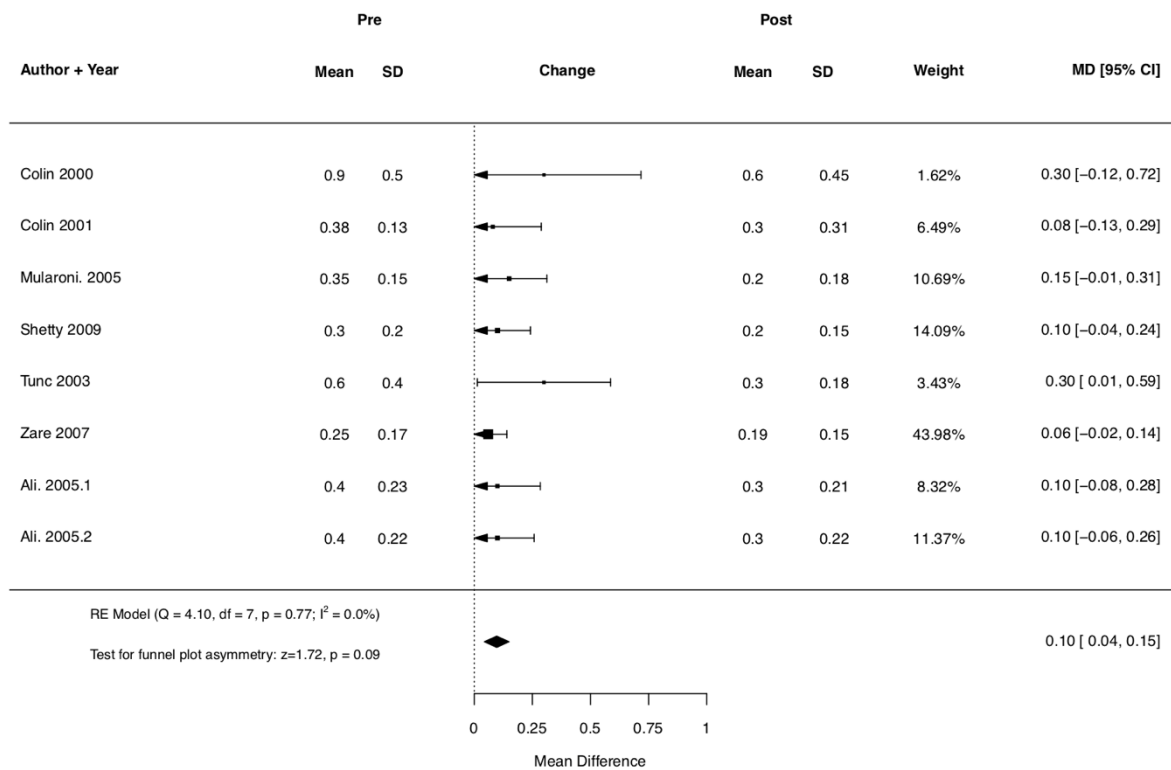


Abbildung 2: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

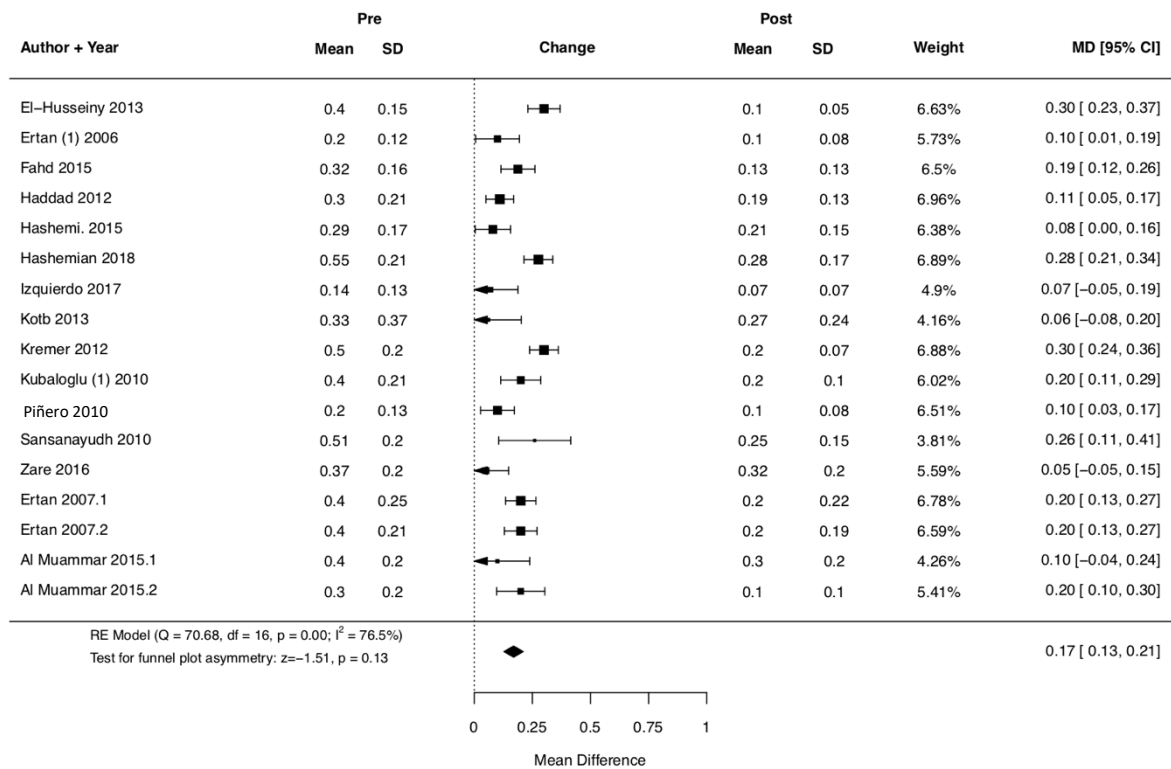


Abbildung 3: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

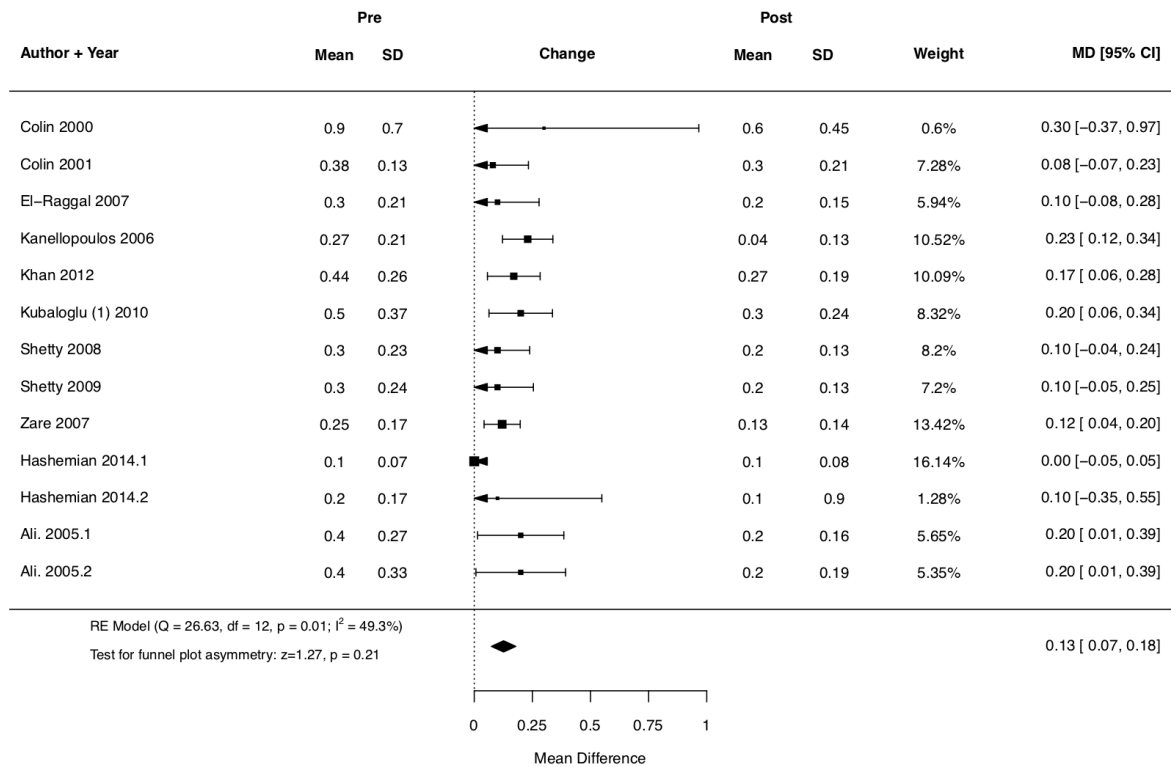


Abbildung 4: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

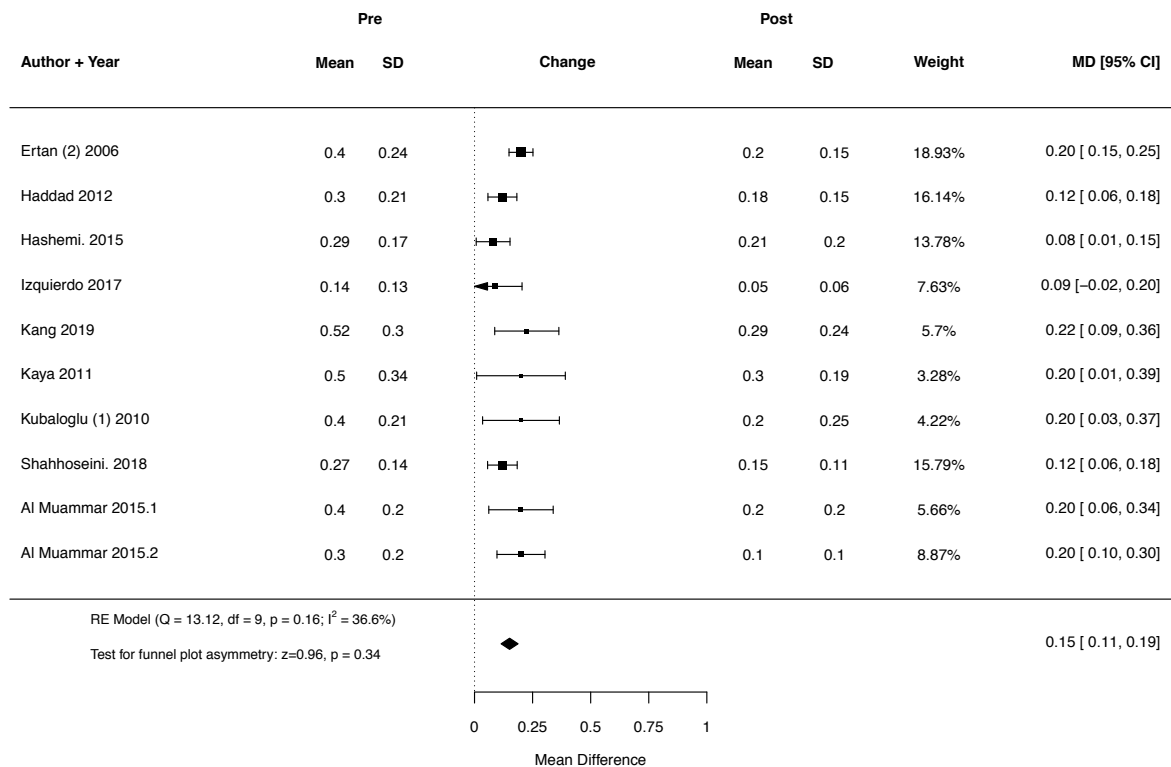


Abbildung 5: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

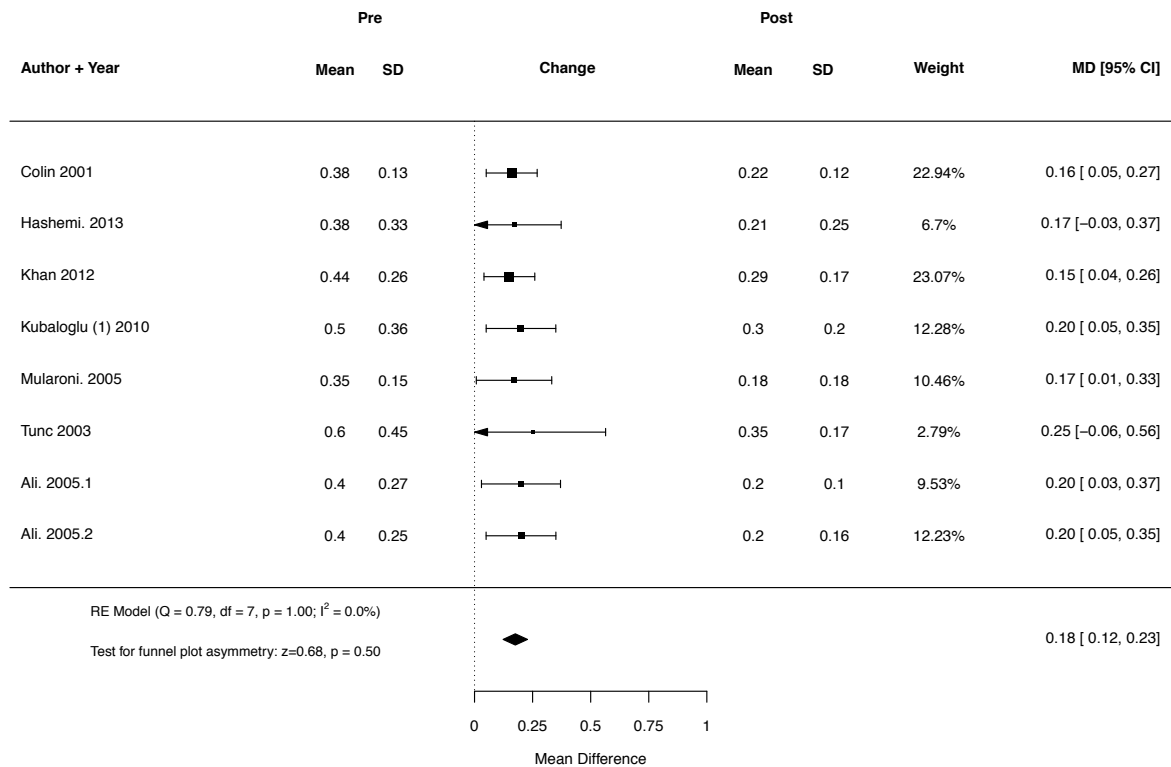


Abbildung 6: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

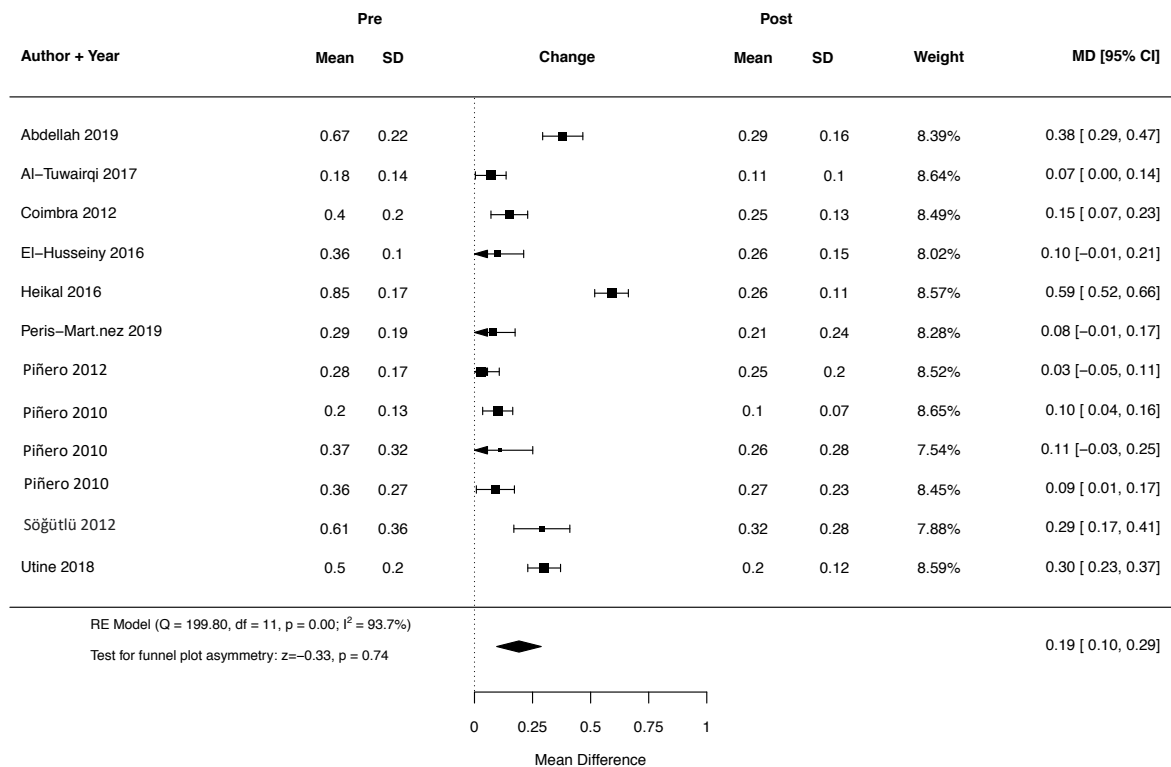


Abbildung 7: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

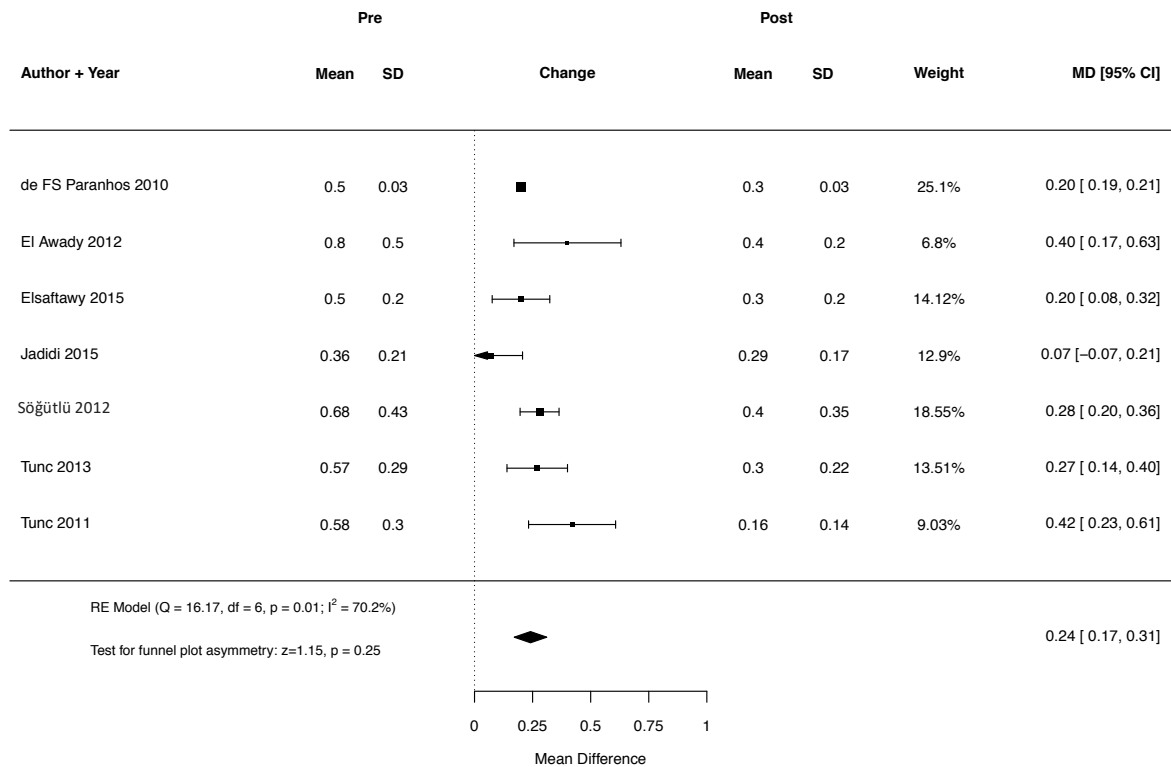


Abbildung 8: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

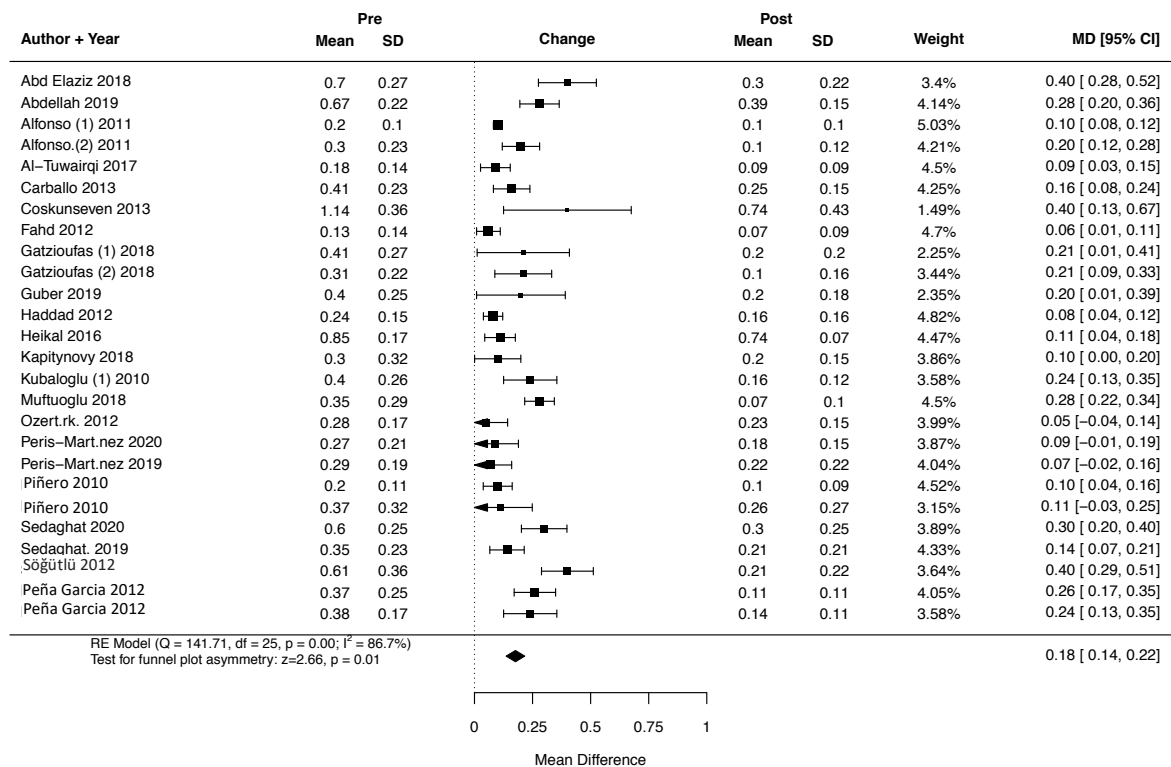


Abbildung 9: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

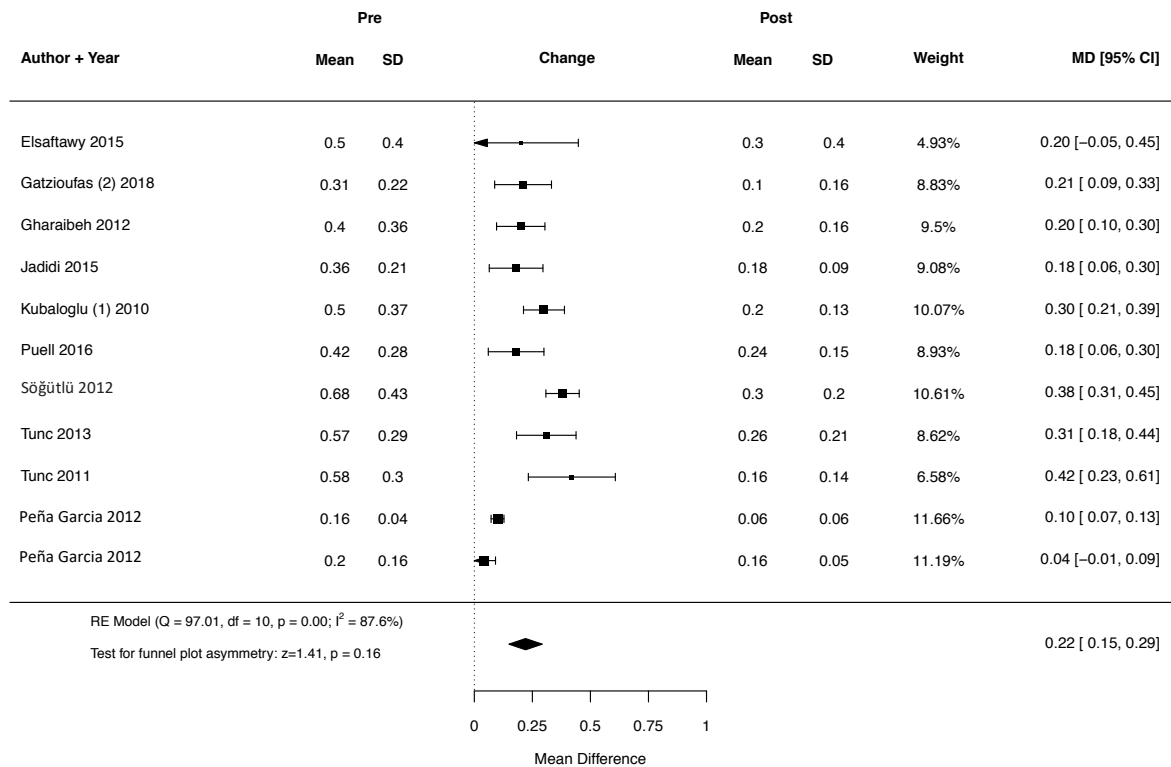


Abbildung 10: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Kerating-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

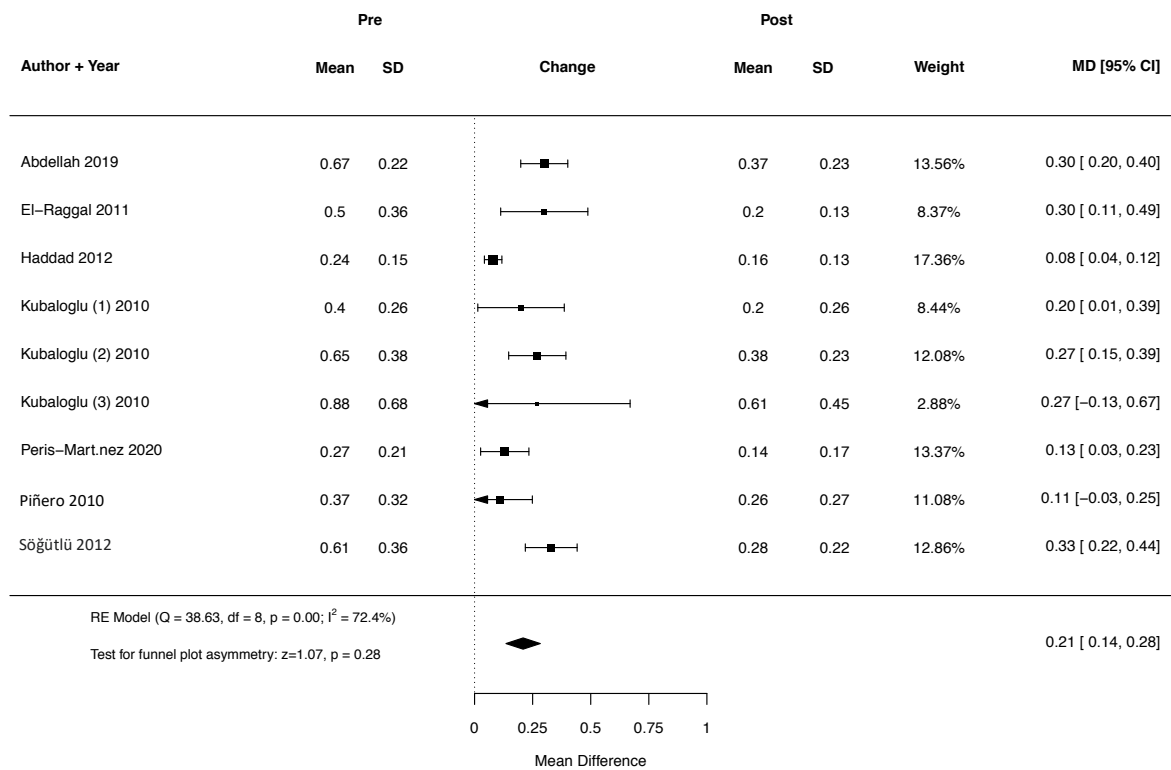


Abbildung 11: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Kerating-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

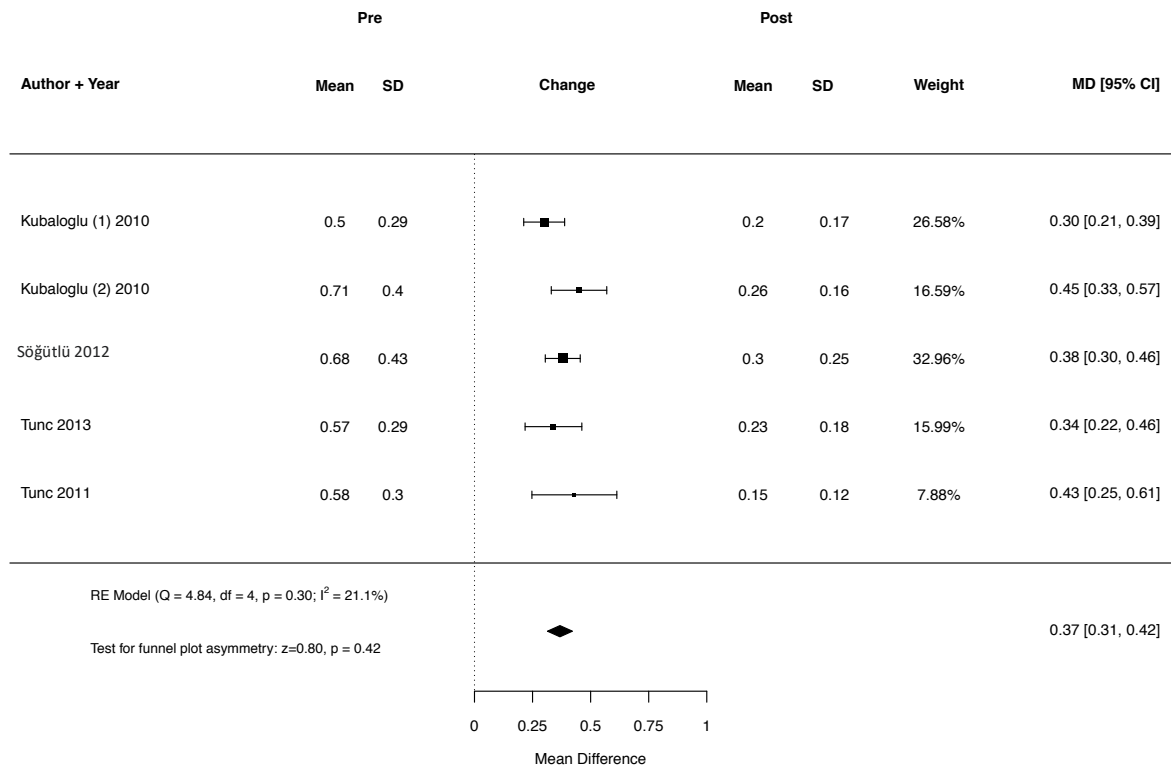


Abbildung 12: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

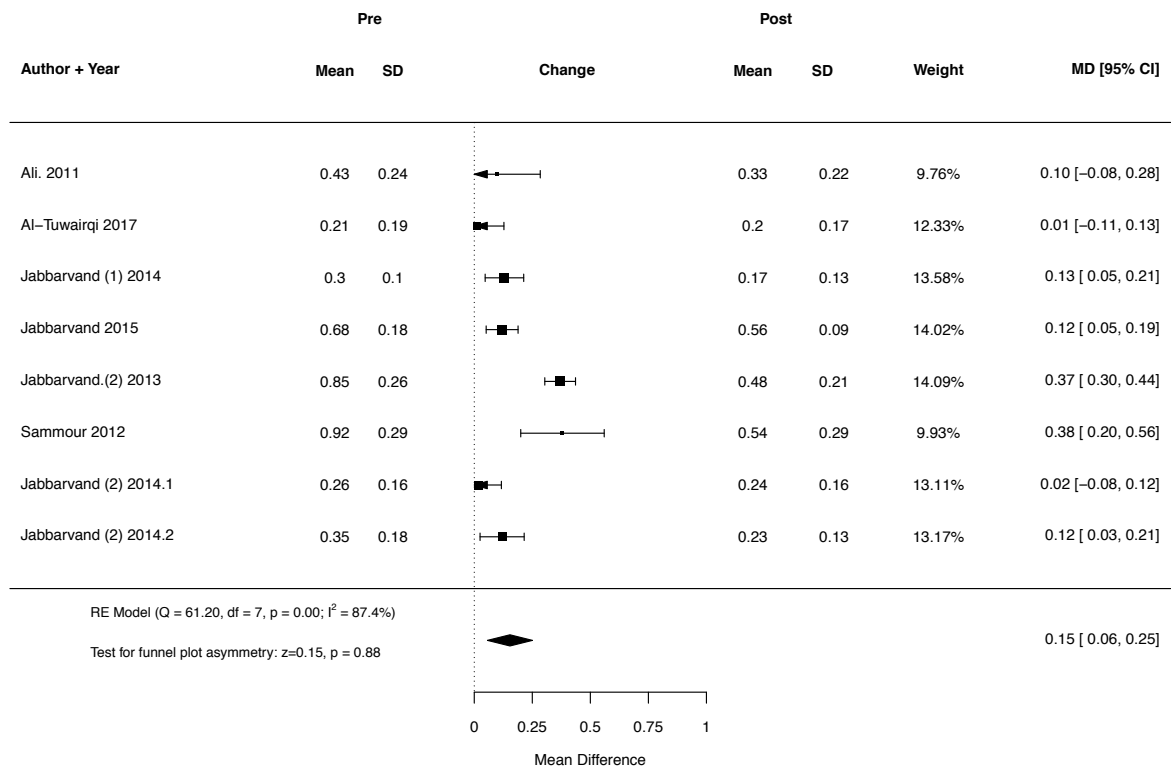


Abbildung 13: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

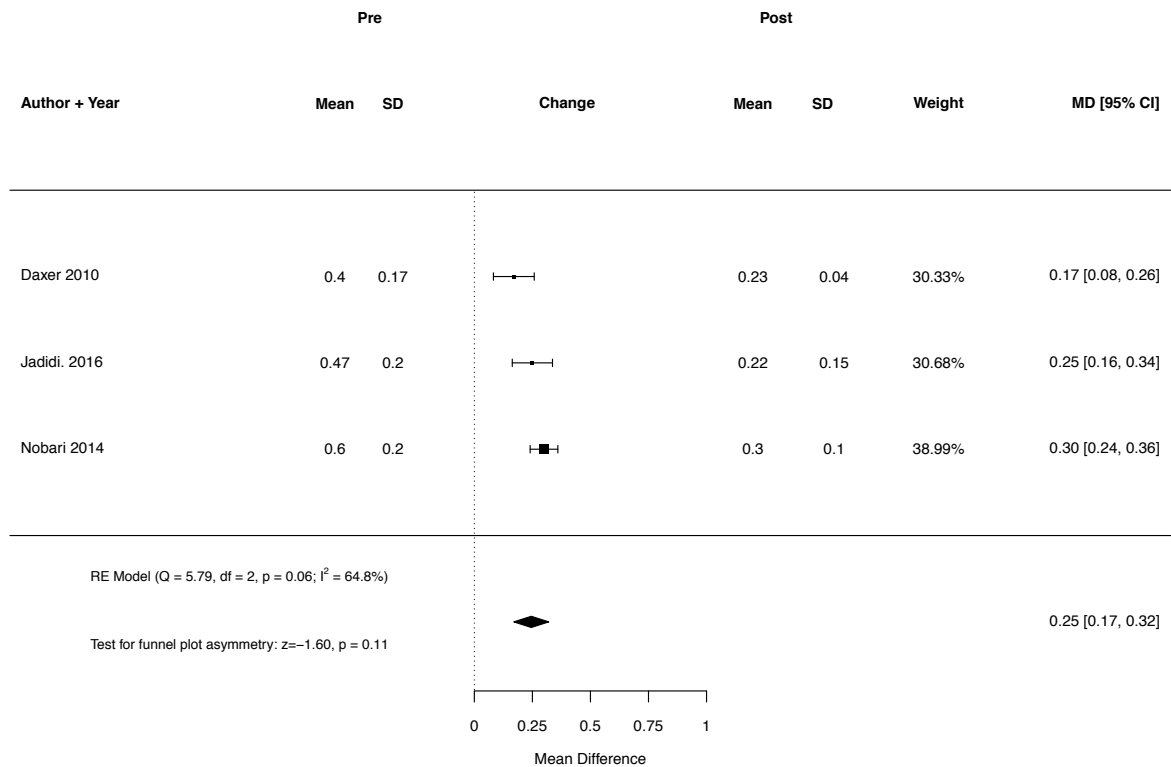


Abbildung 14: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

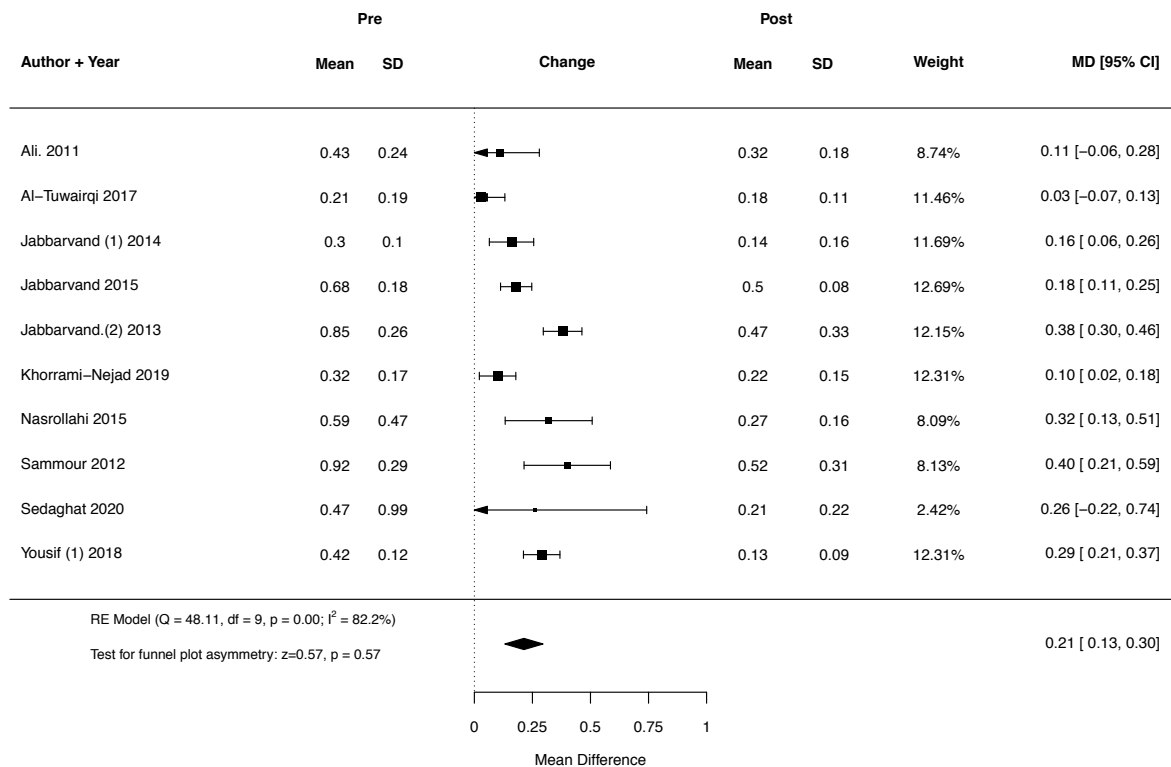


Abbildung 15: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

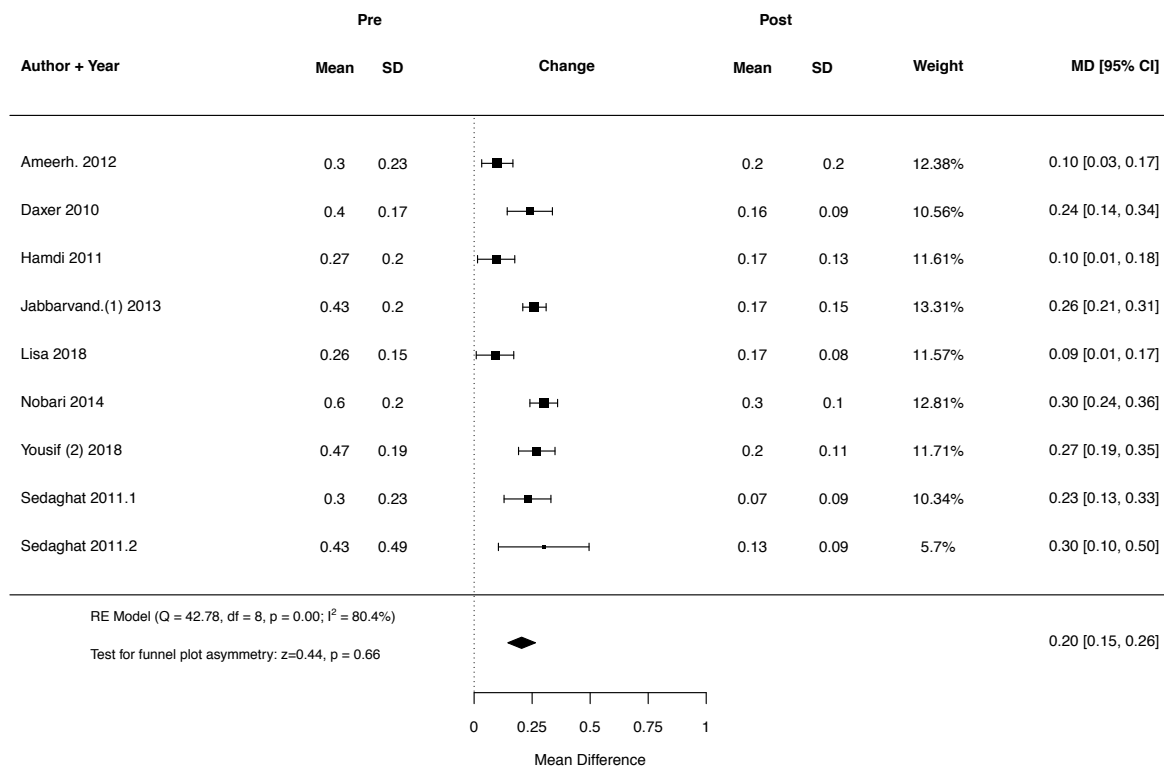


Abbildung 16: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

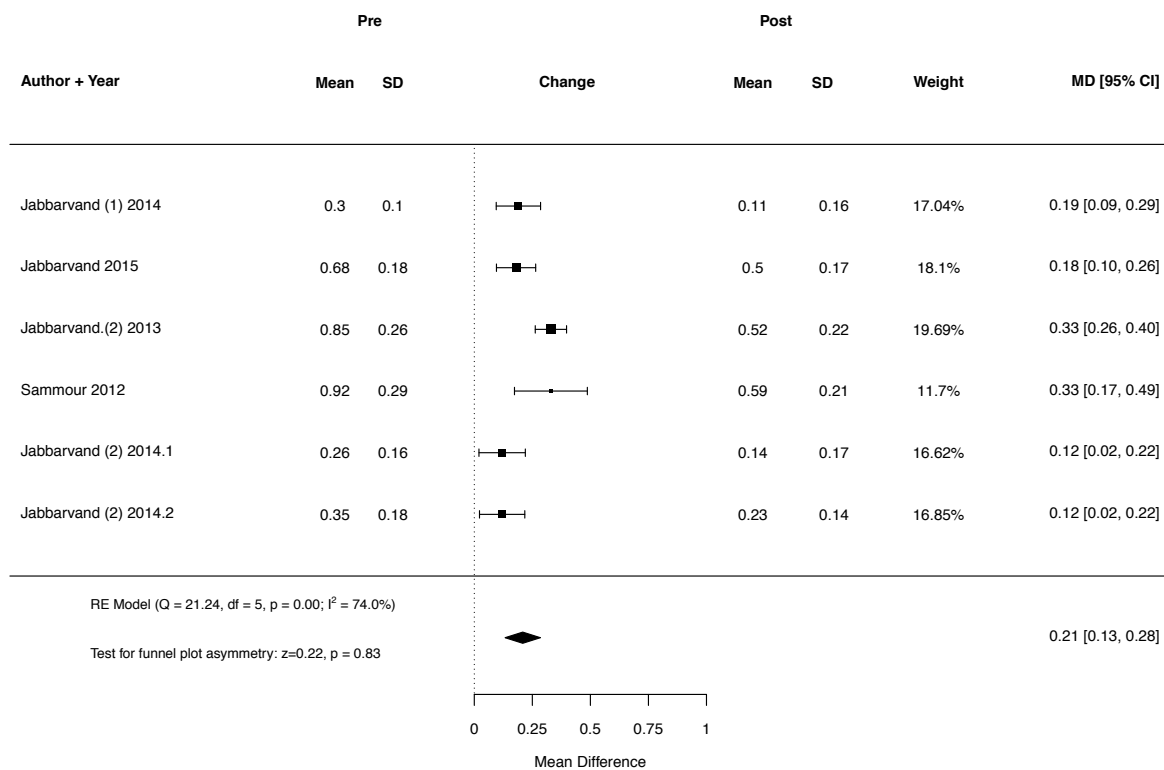


Abbildung 17: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

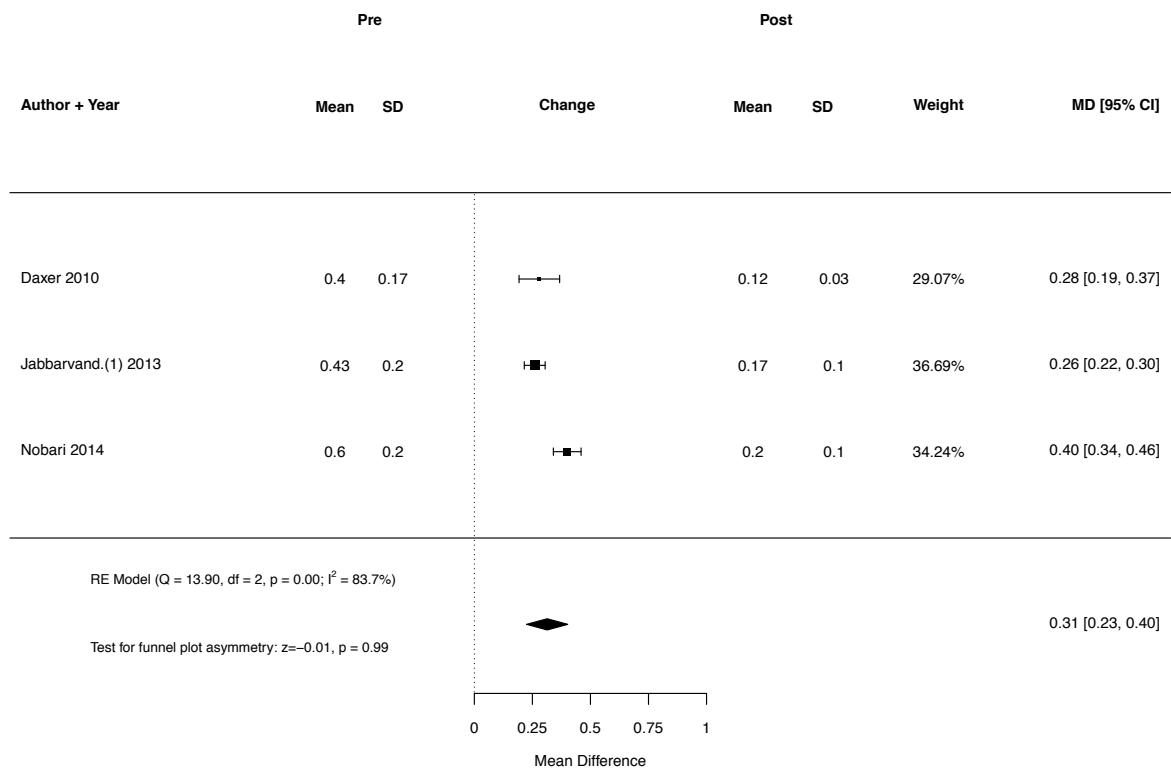


Abbildung 18: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

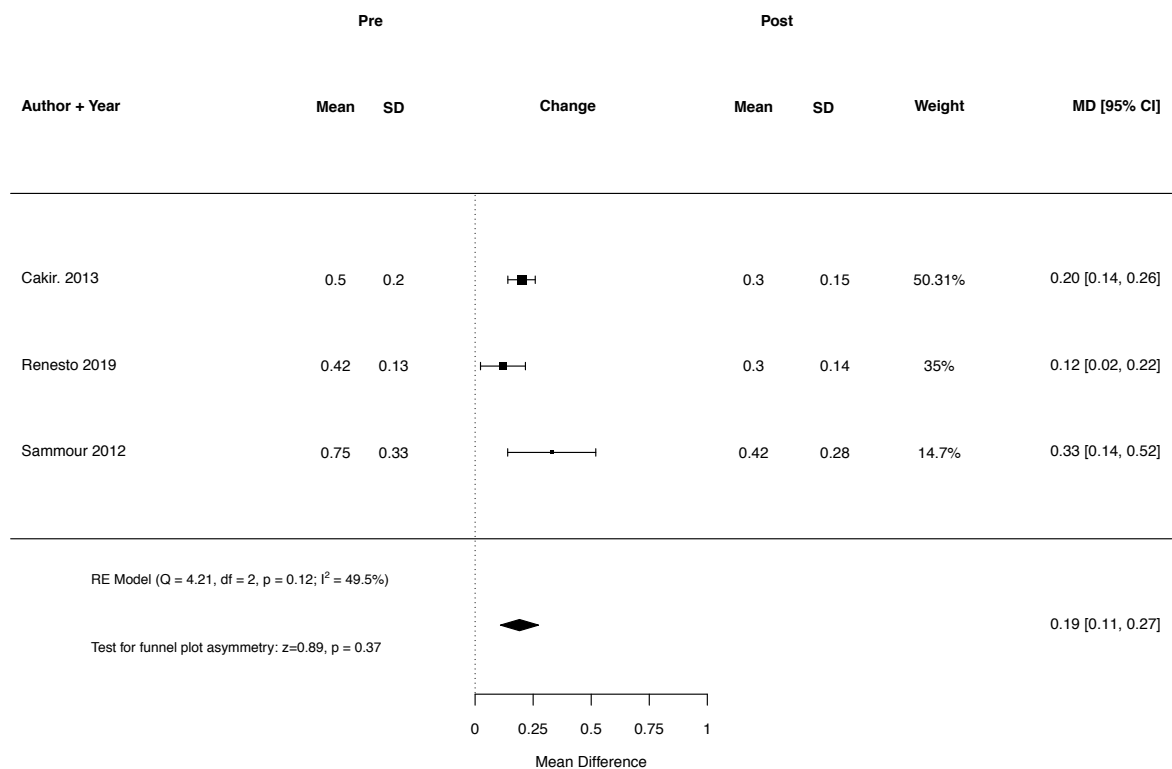


Abbildung 19: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Ferrara Ring - Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

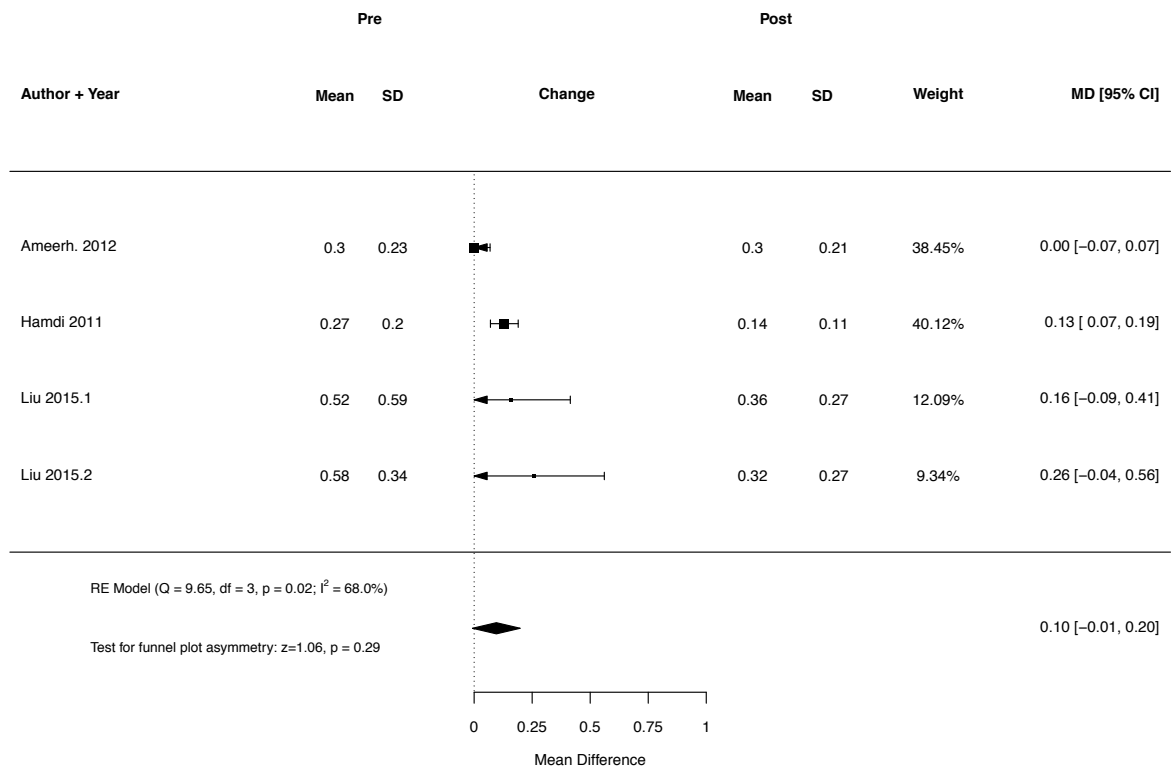


Abbildung 20: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

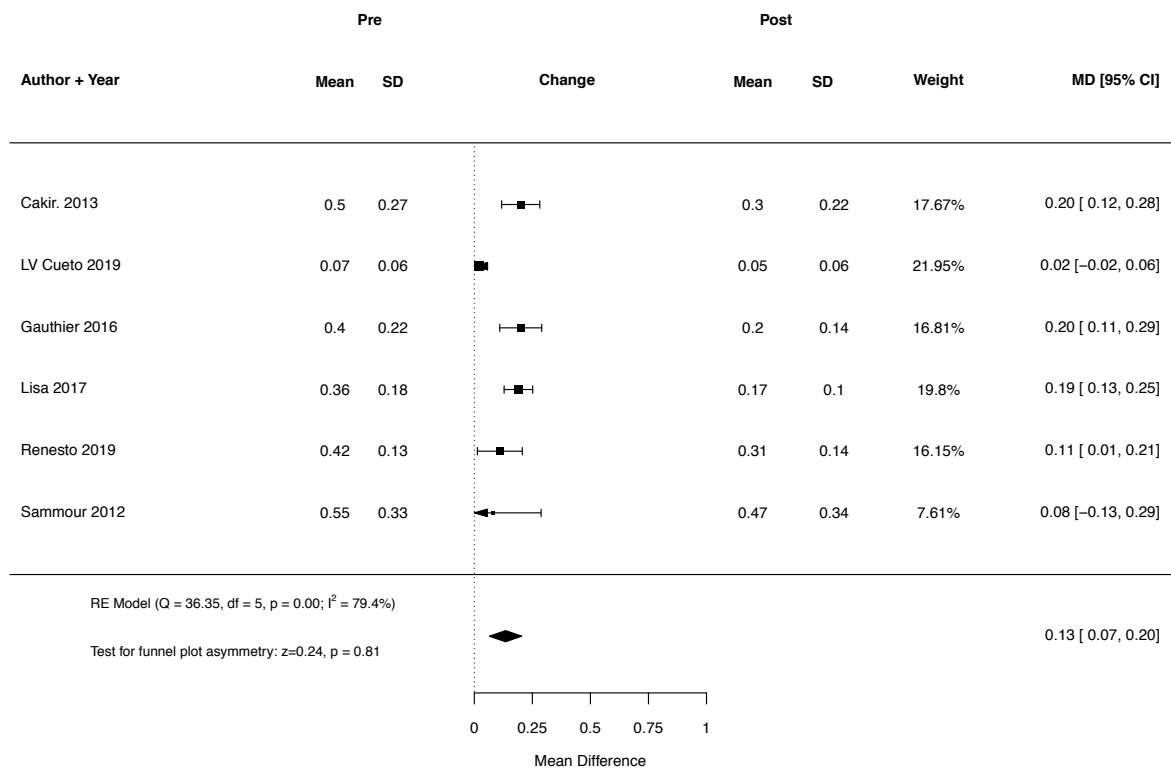


Abbildung 21: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Ferrara Ring - Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

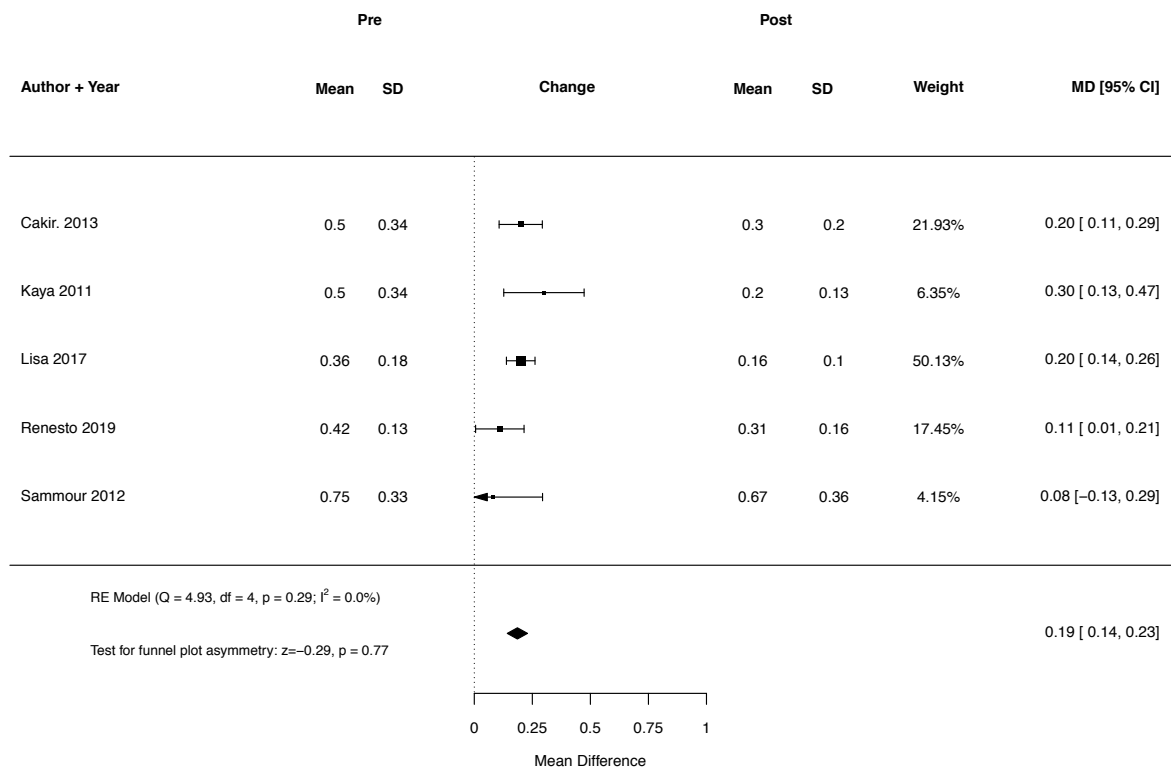


Abbildung 22: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

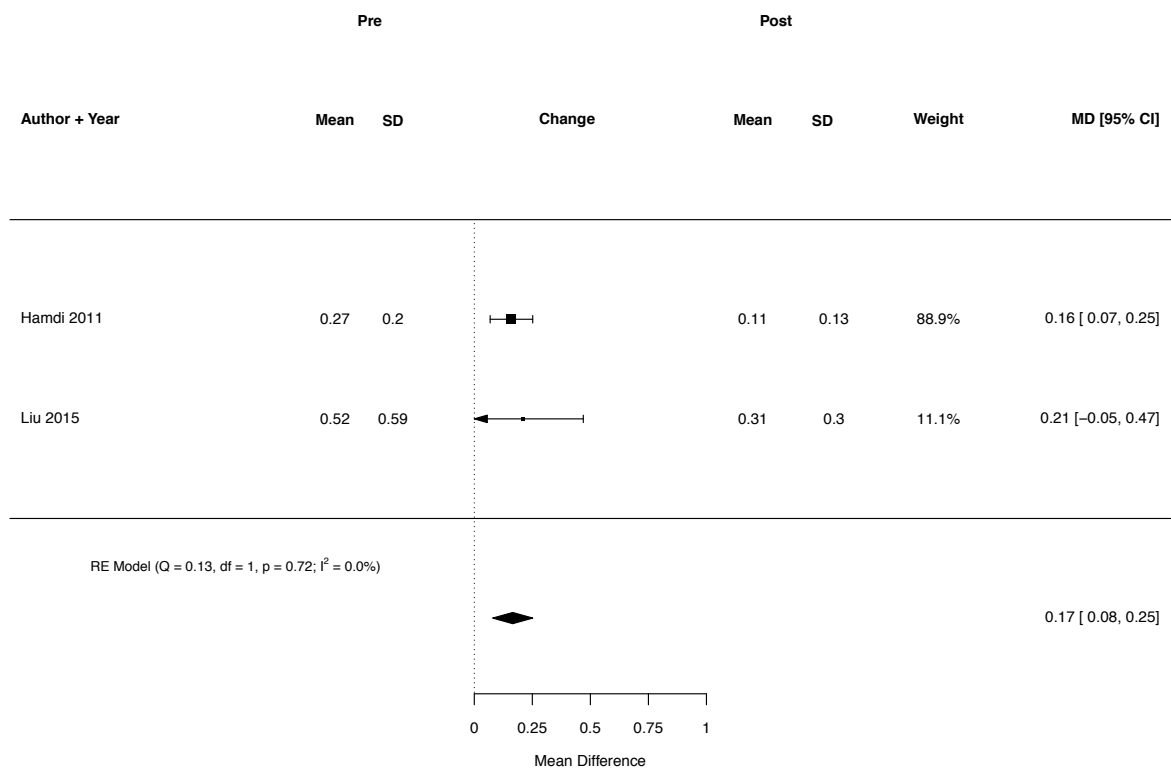


Abbildung 23: Weighted mean difference des Visus cum correctione nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

11.2.2 Forest Plots zur Veränderung des Visus sine correctione

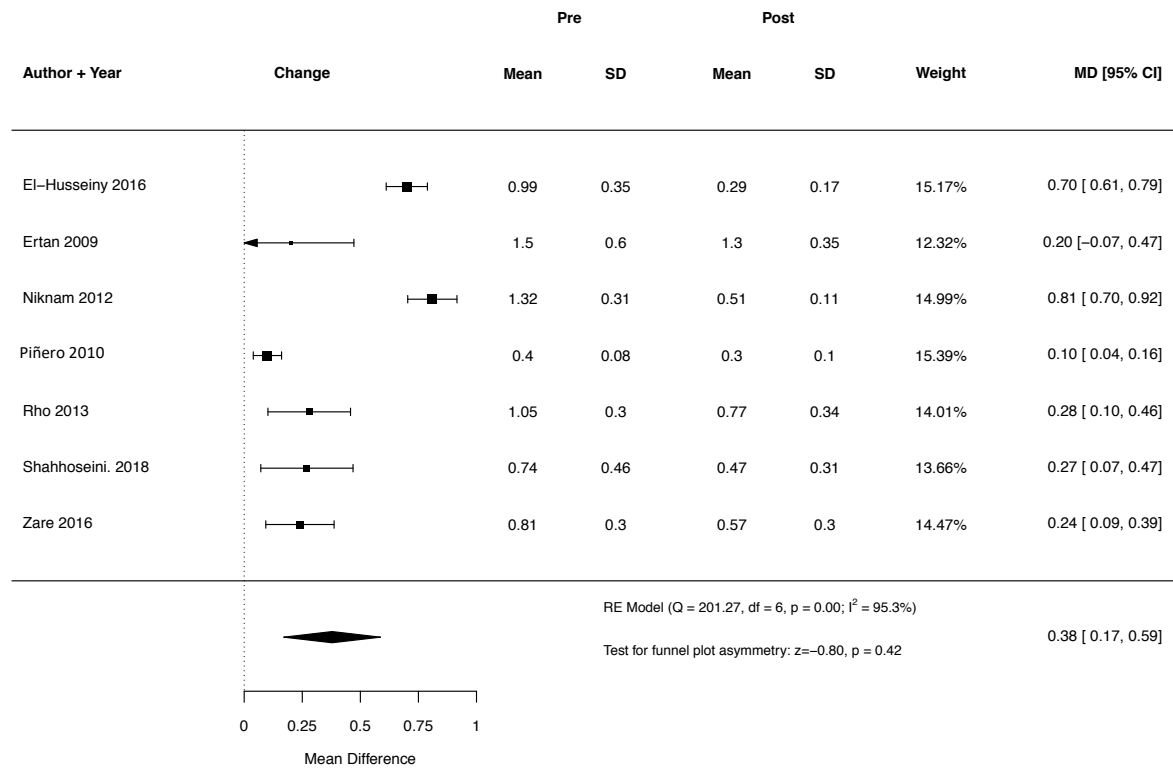


Abbildung 24: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

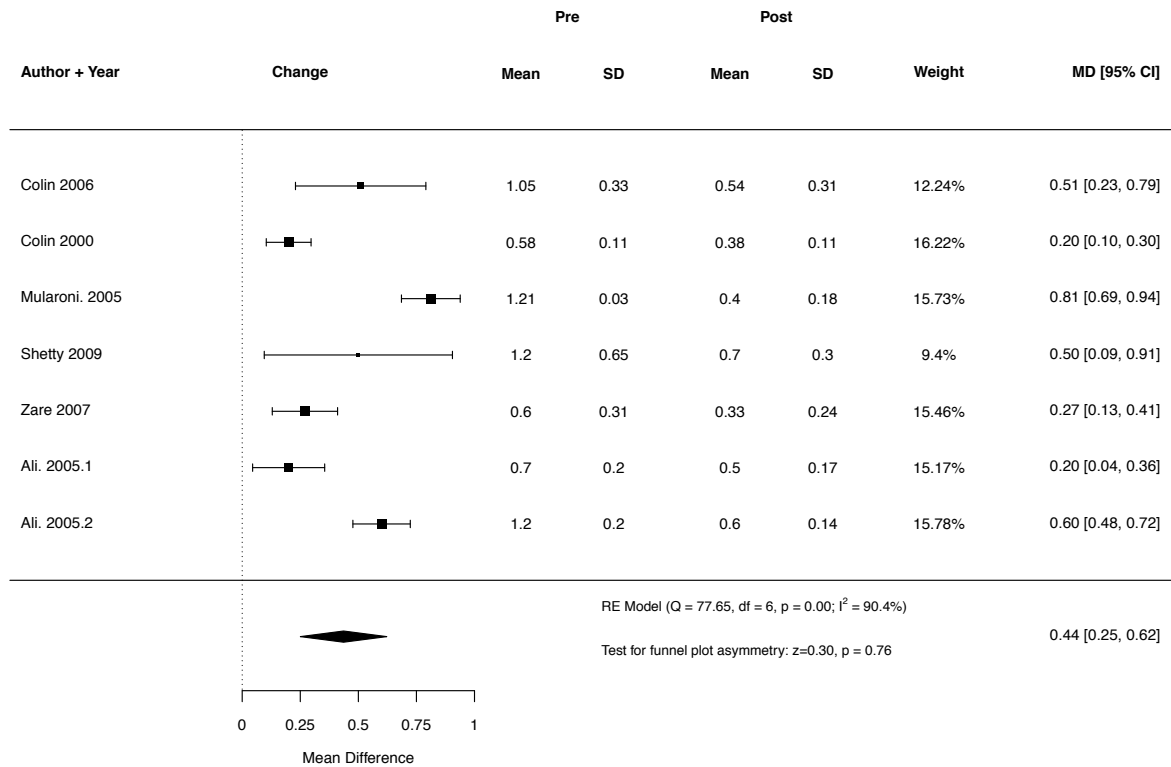


Abbildung 25: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

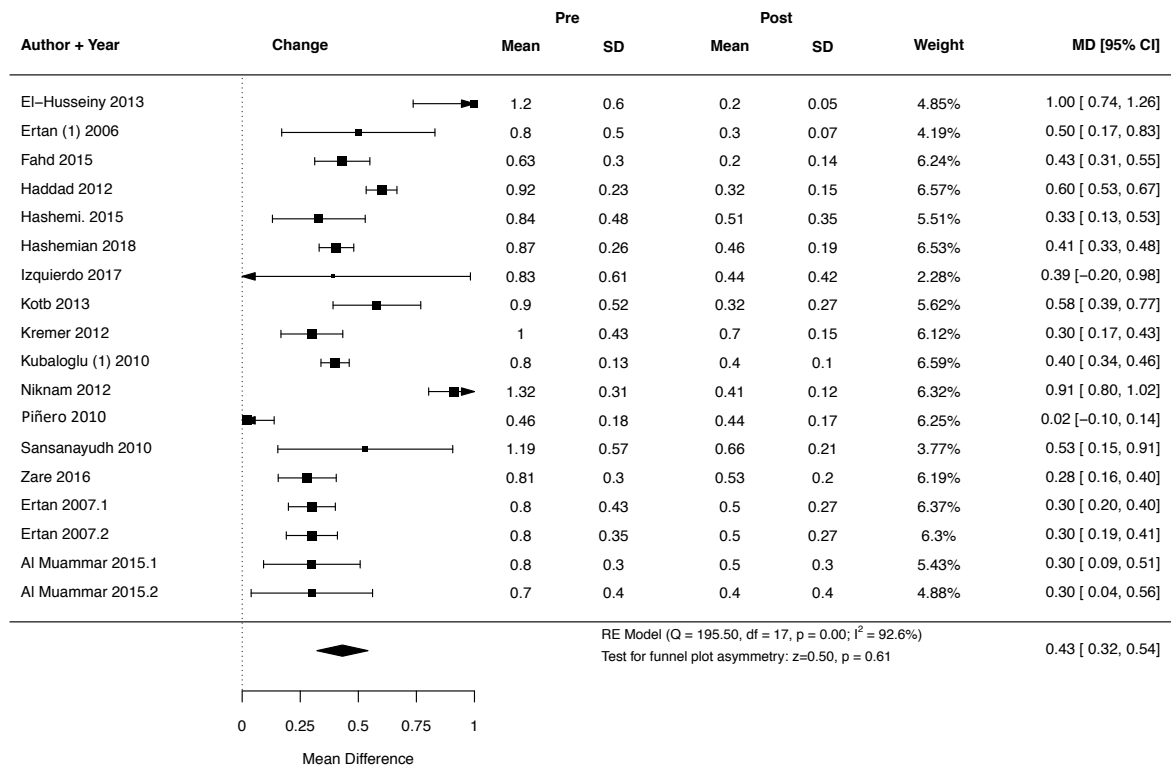


Abbildung 26: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

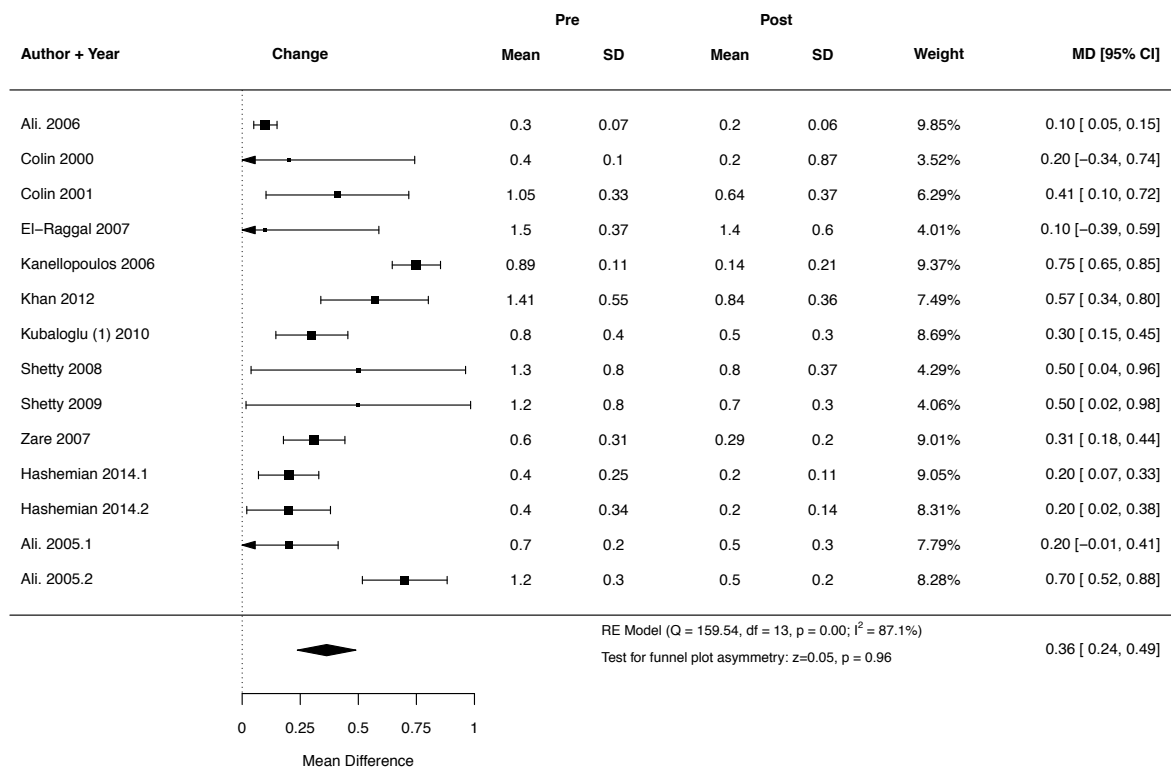


Abbildung 27: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

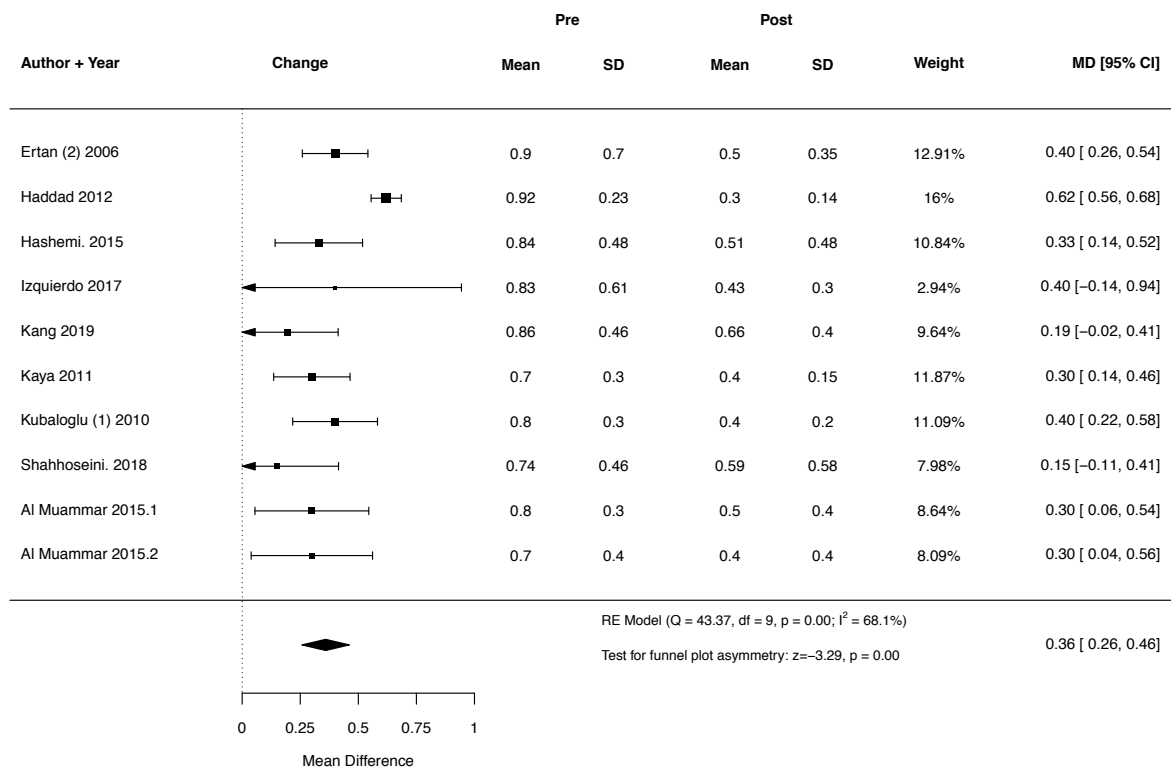


Abbildung 28: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

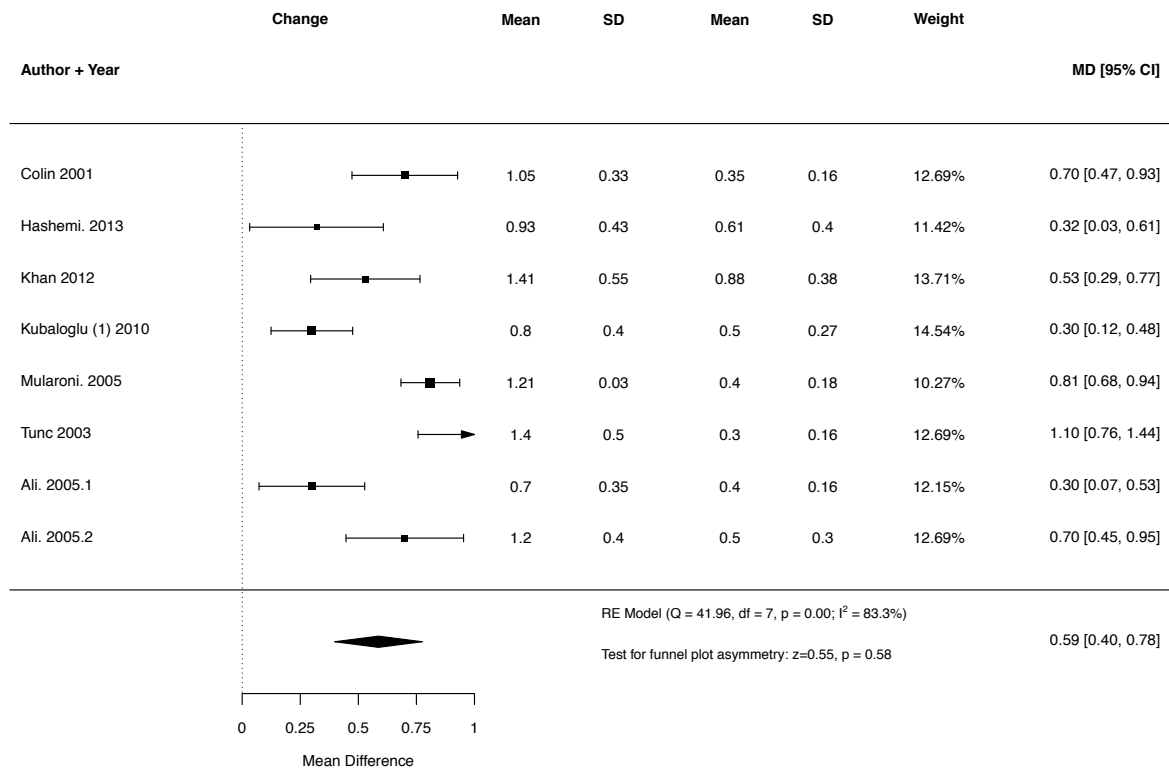


Abbildung 29: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

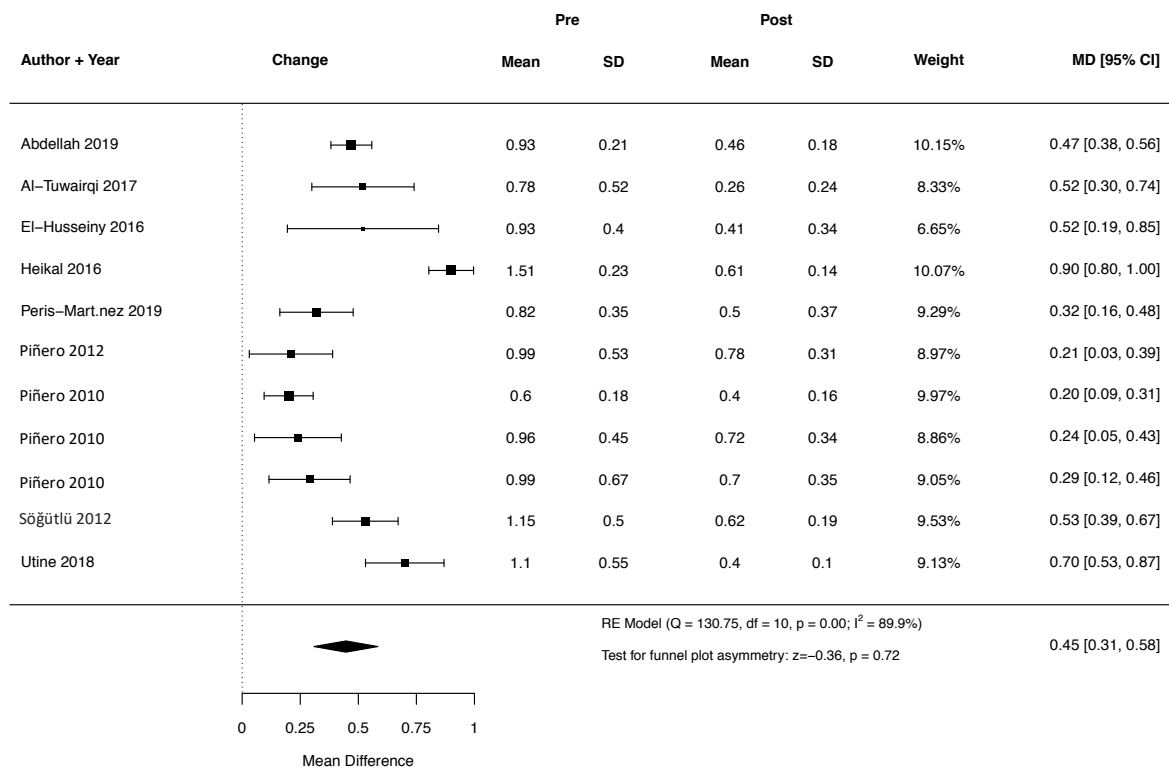


Abbildung 30: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

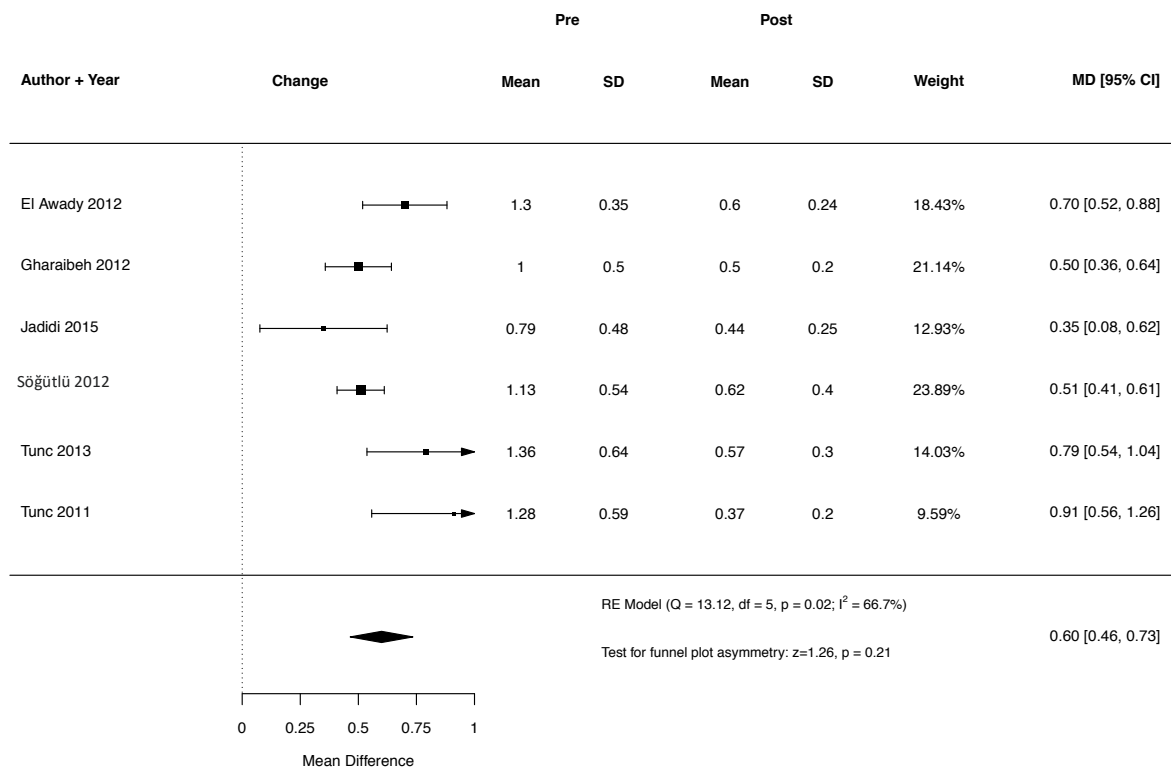


Abbildung 31: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

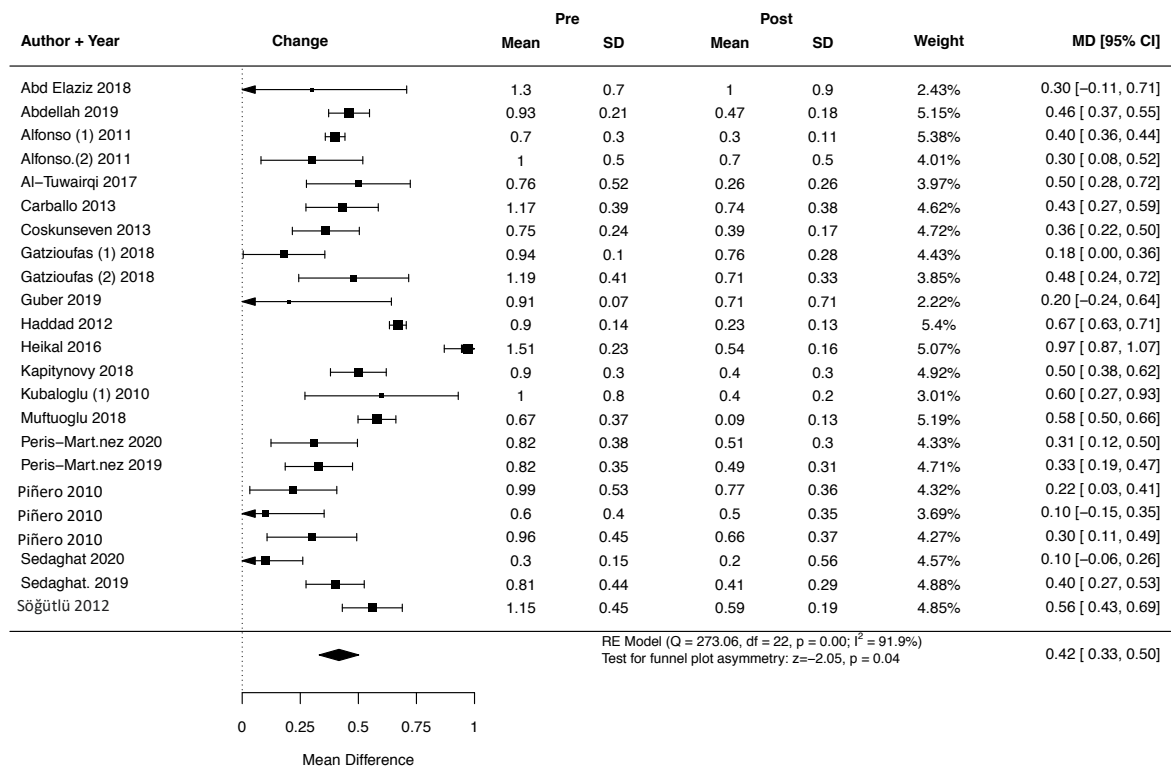


Abbildung 32: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

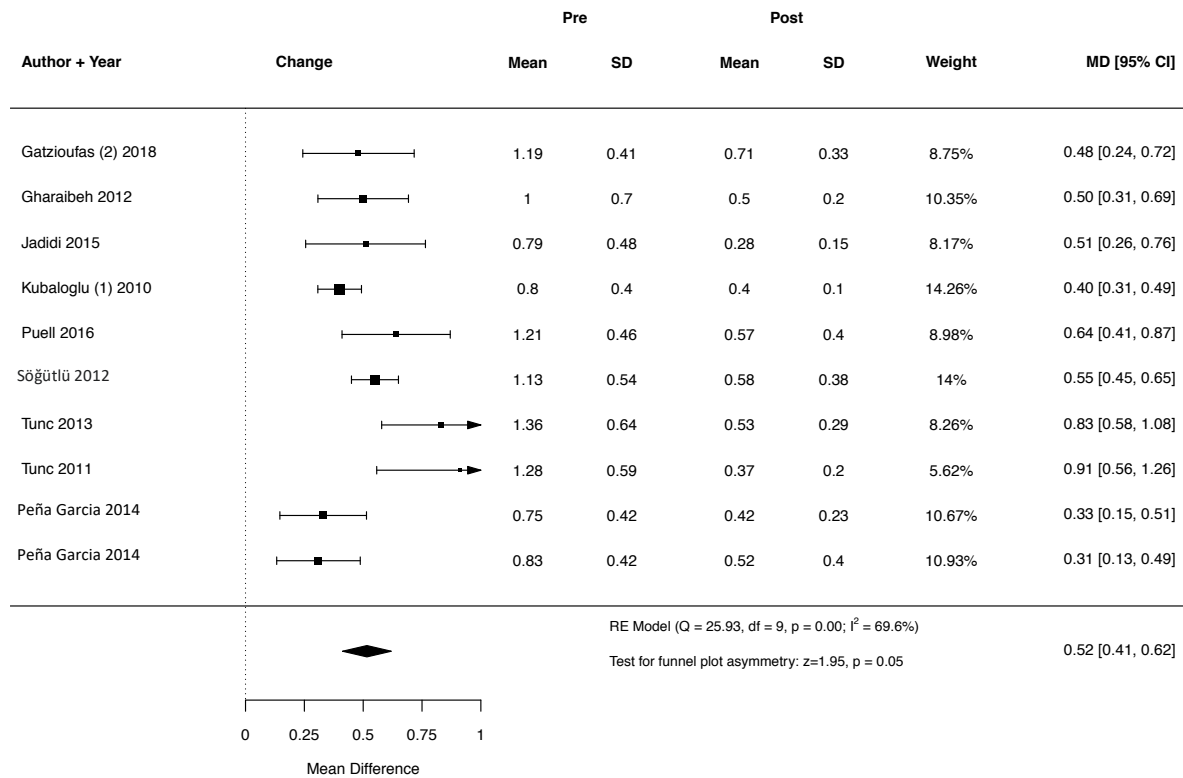


Abbildung 33: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

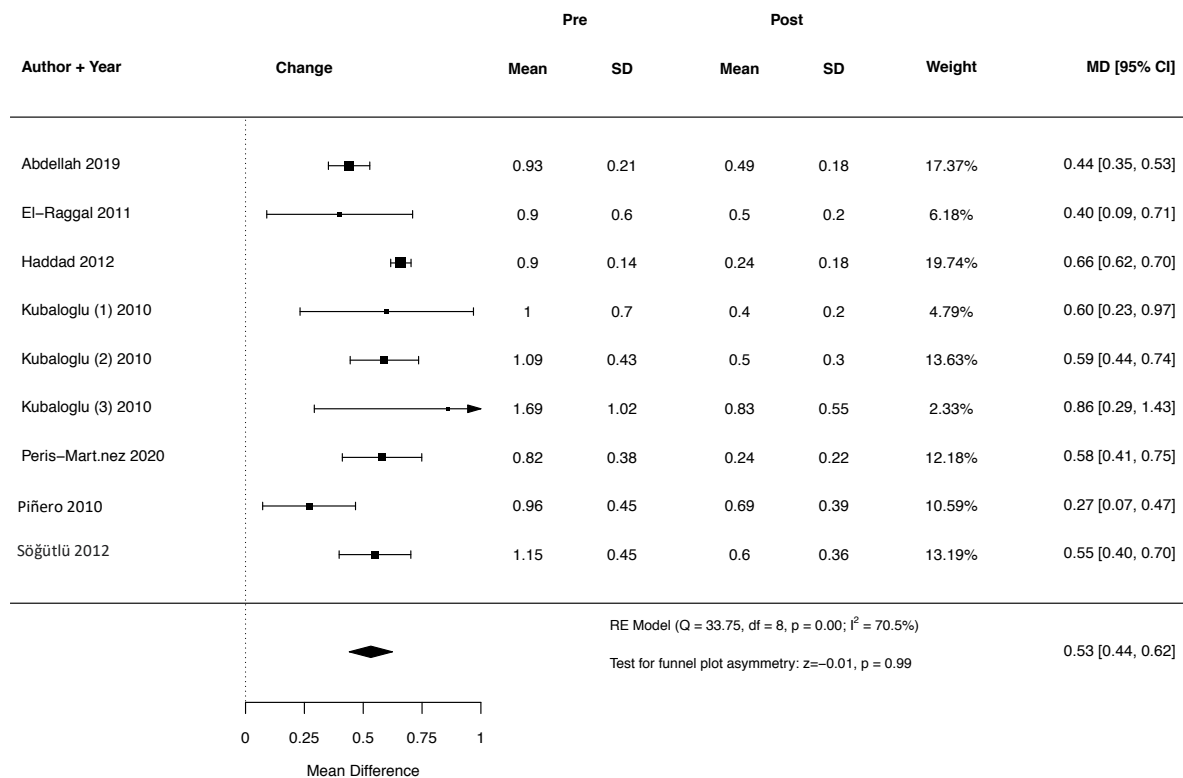


Abbildung 34: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

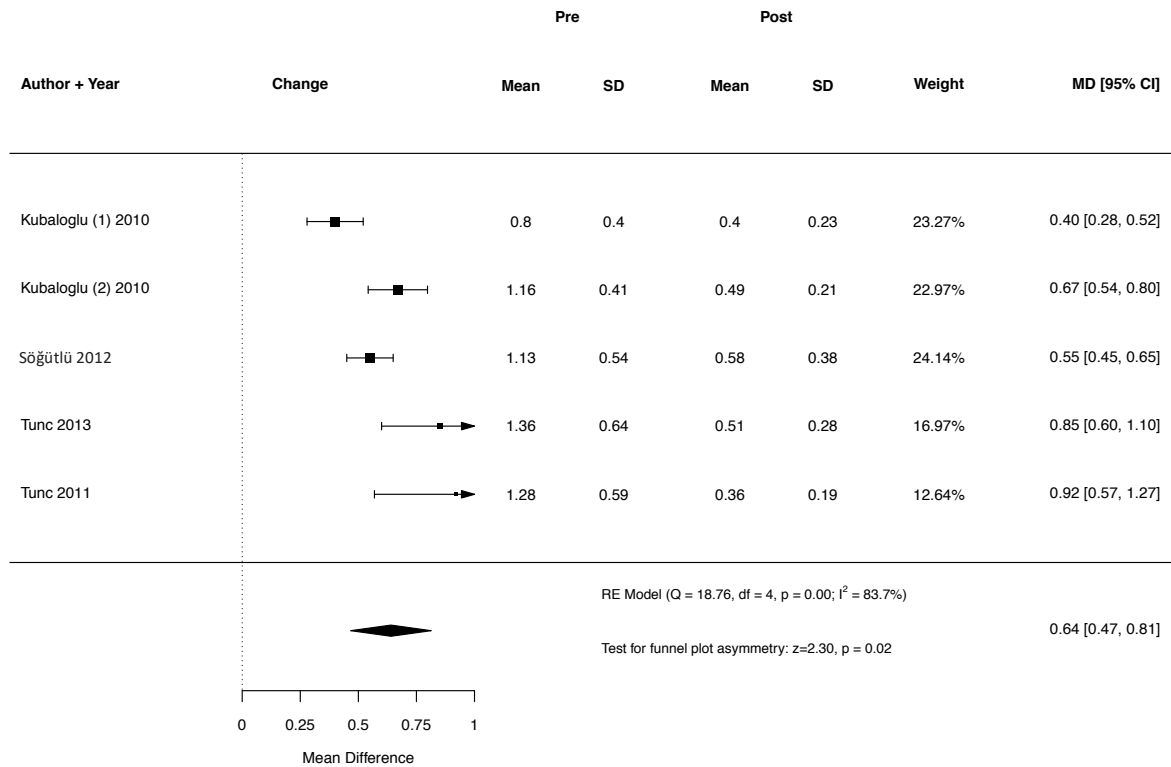


Abbildung 35: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

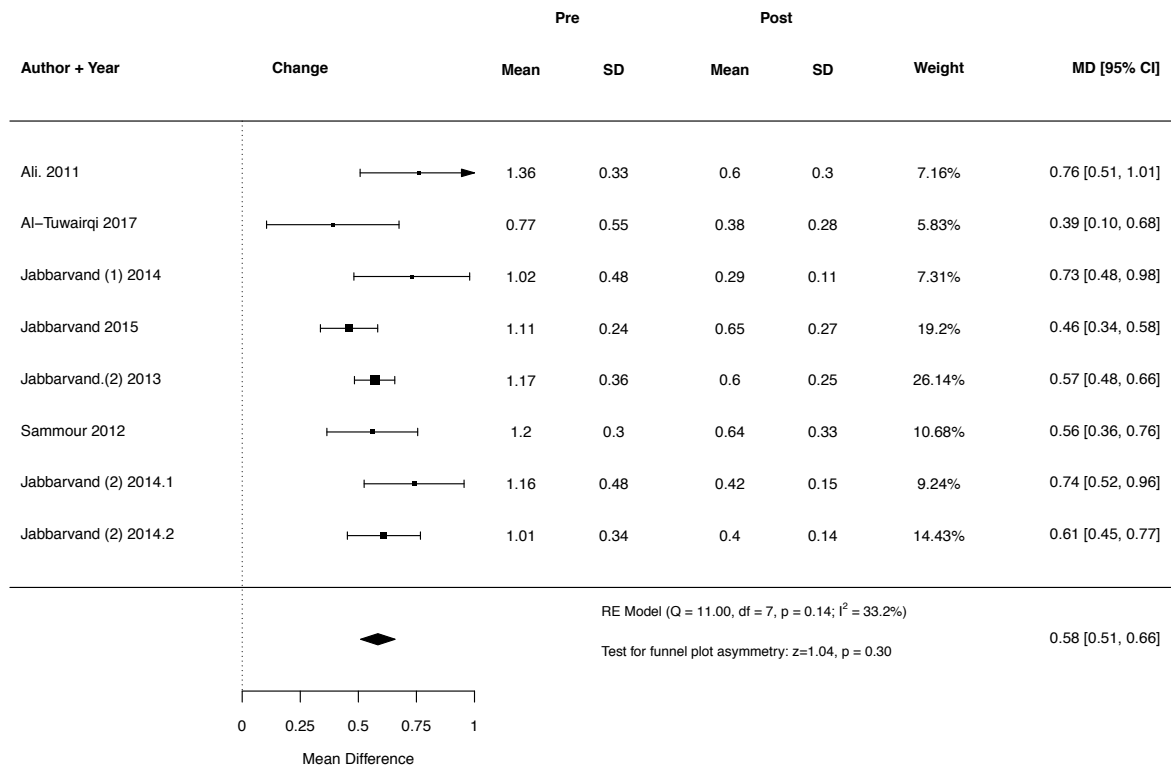


Abbildung 36: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

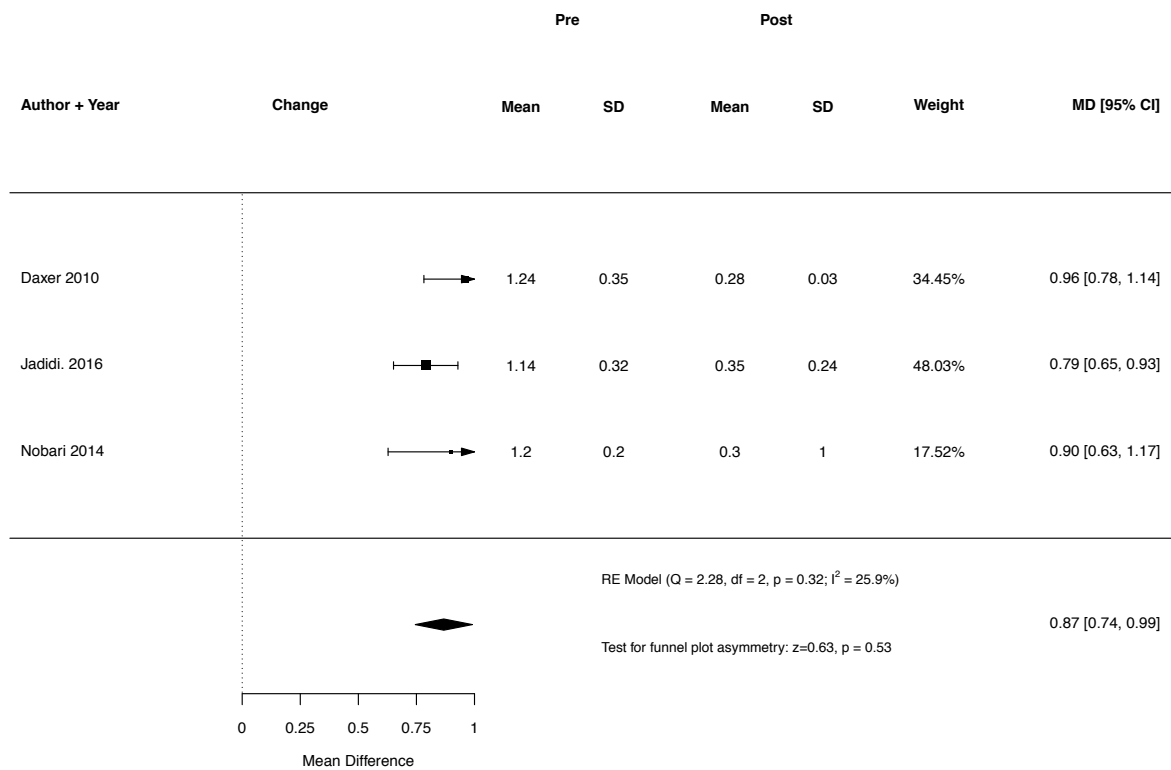


Abbildung 37: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

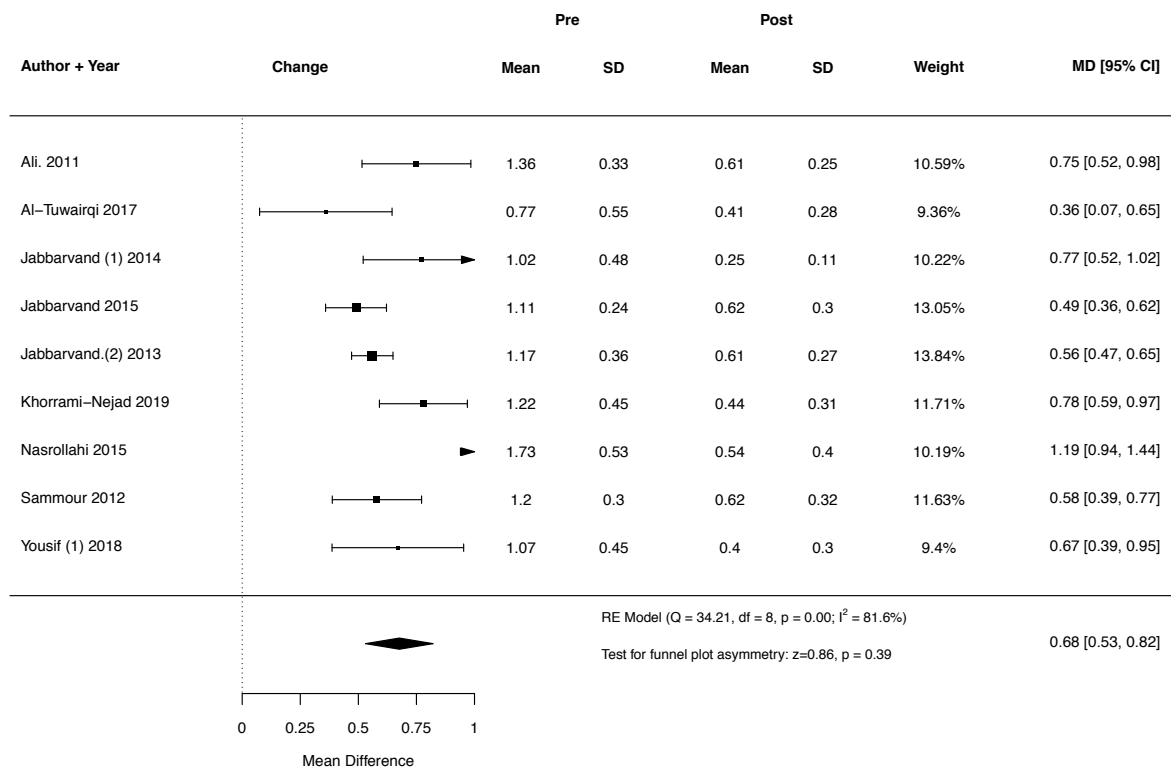


Abbildung 38: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

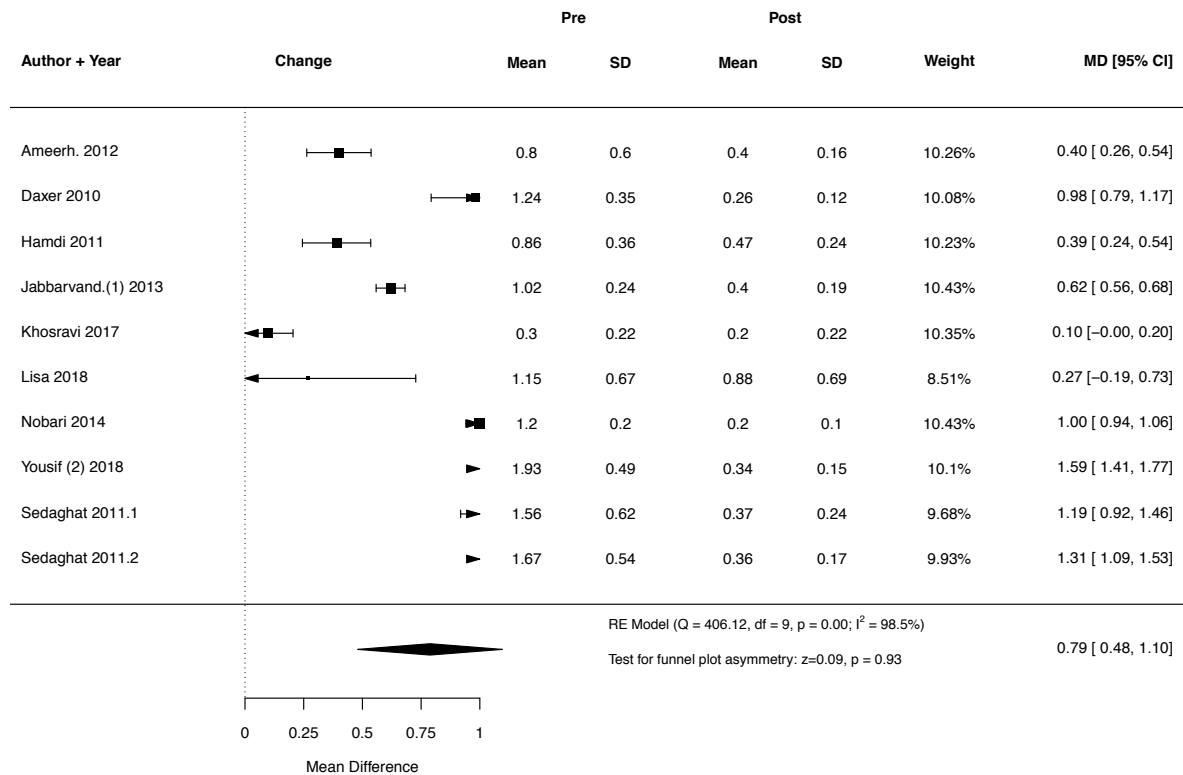


Abbildung 39: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

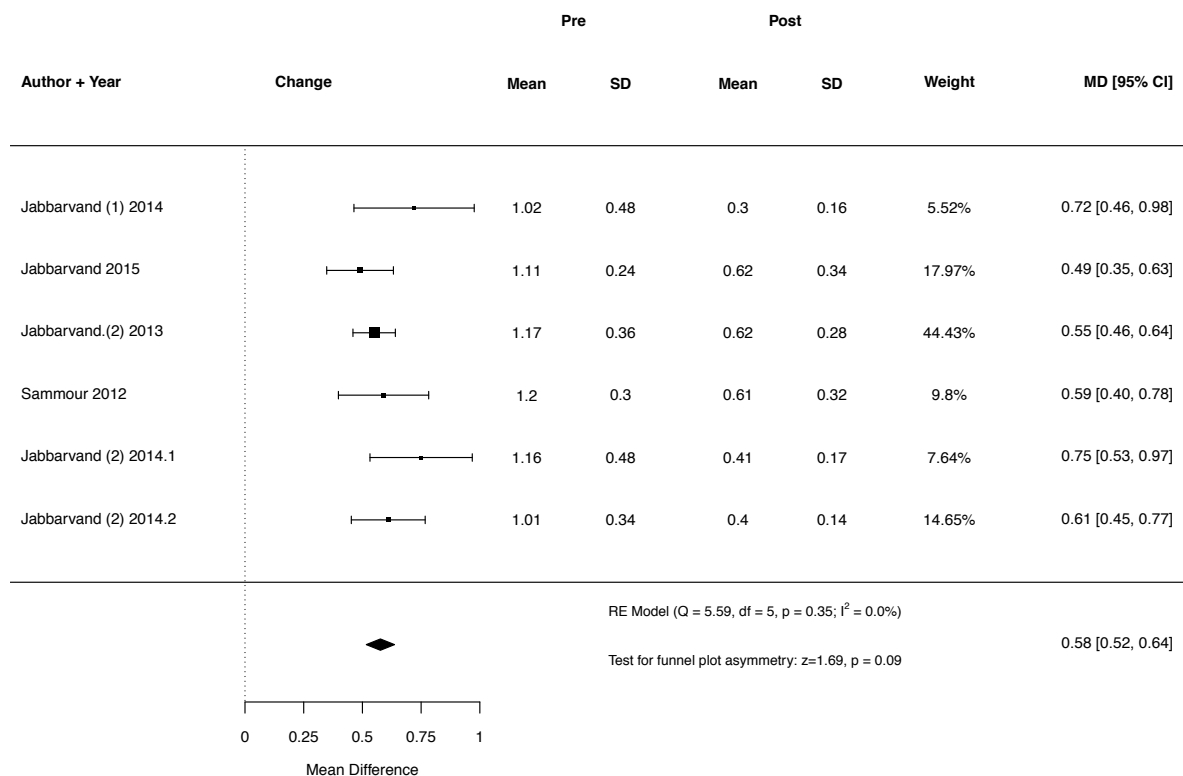


Abbildung 40: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

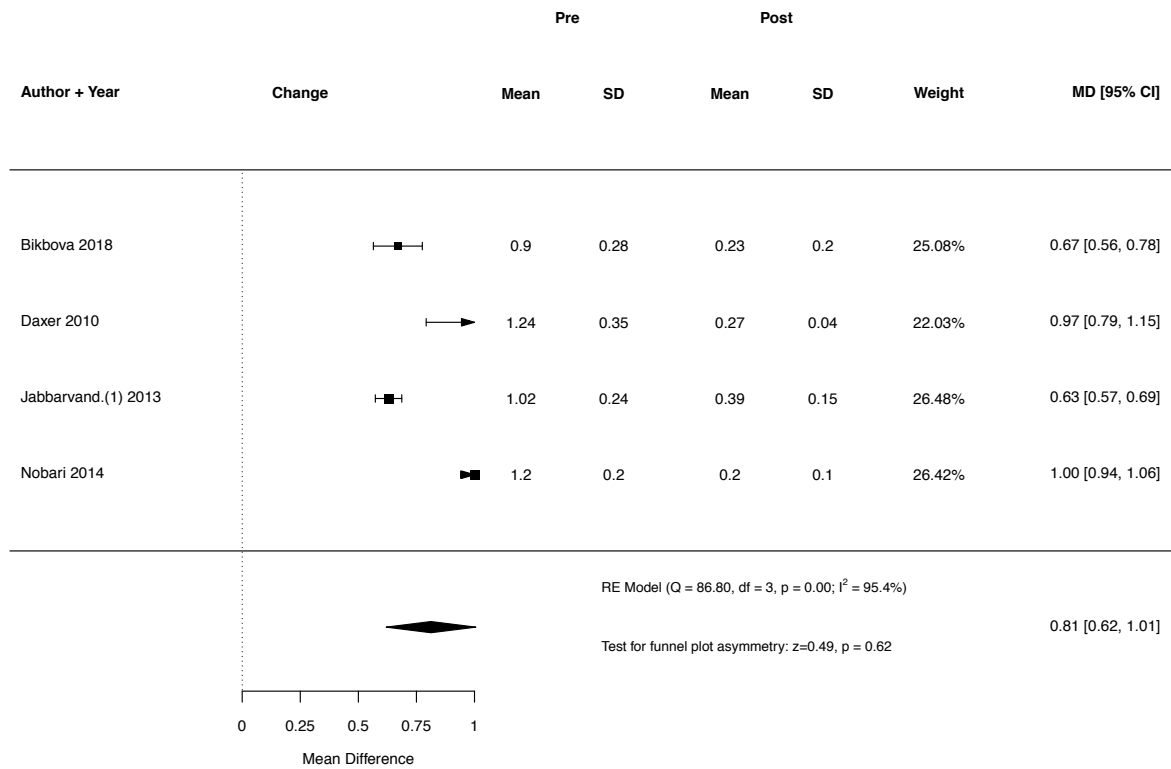


Abbildung 41: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

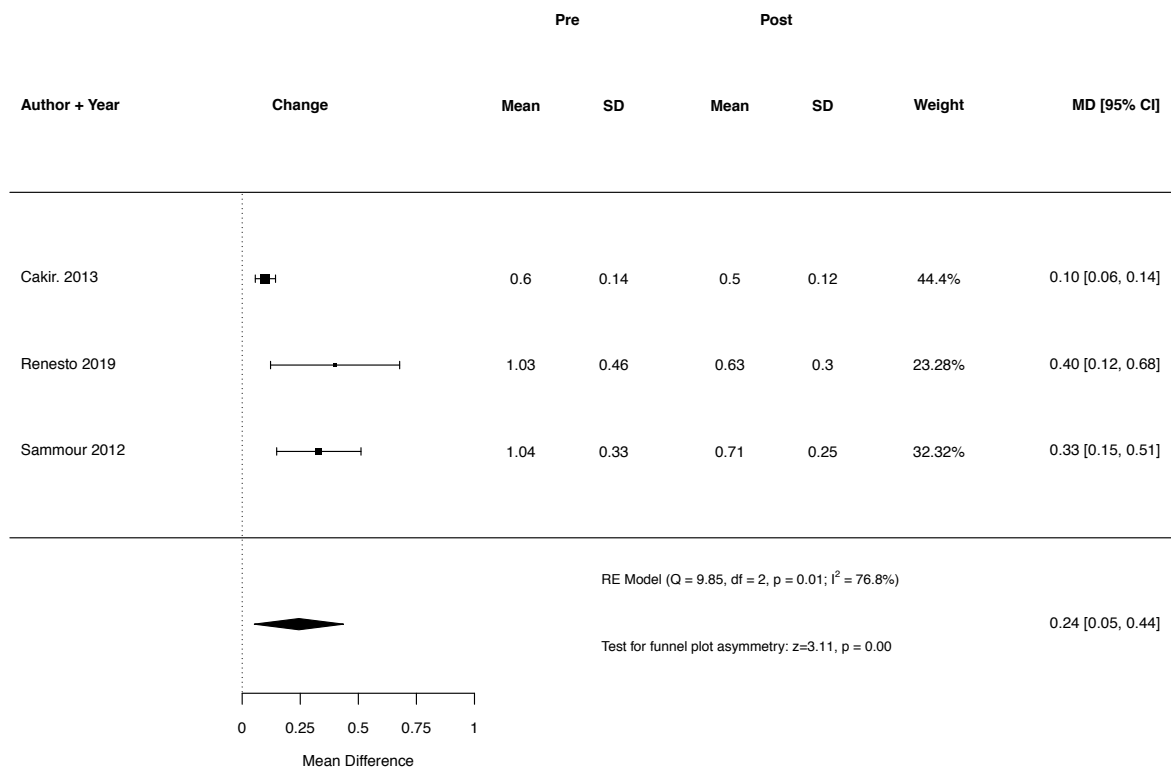


Abbildung 42: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

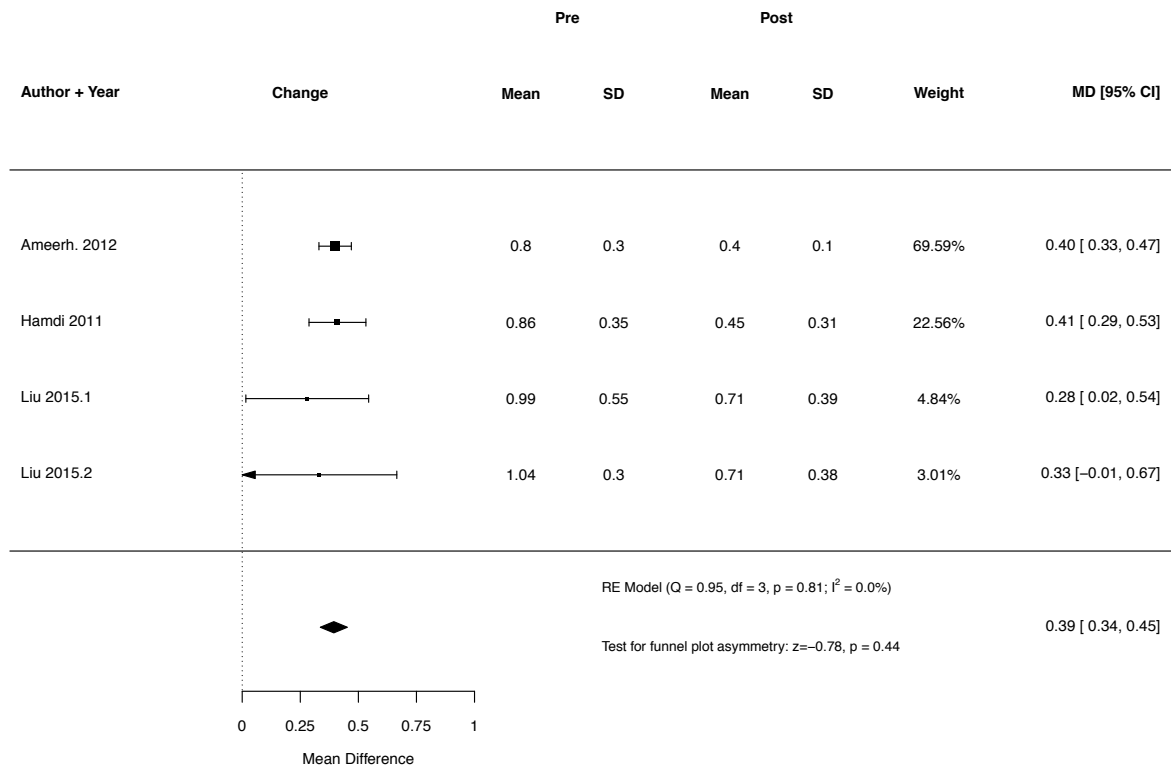


Abbildung 43: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

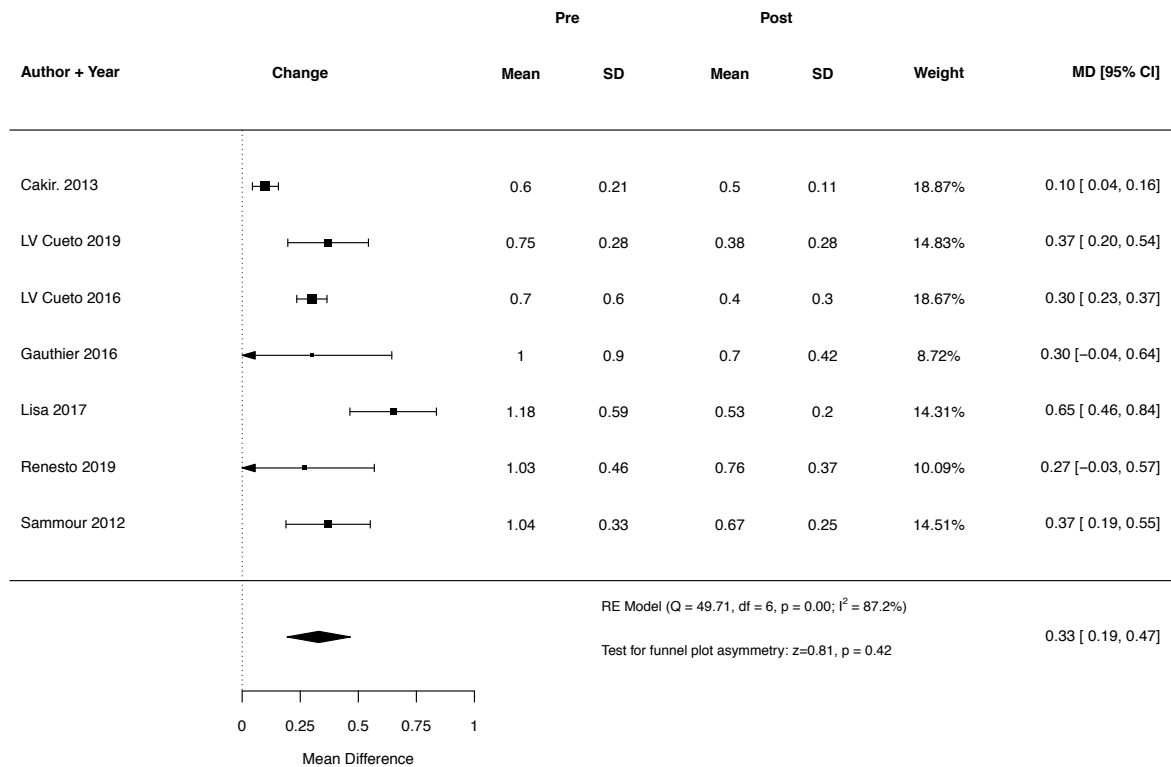


Abbildung 44: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

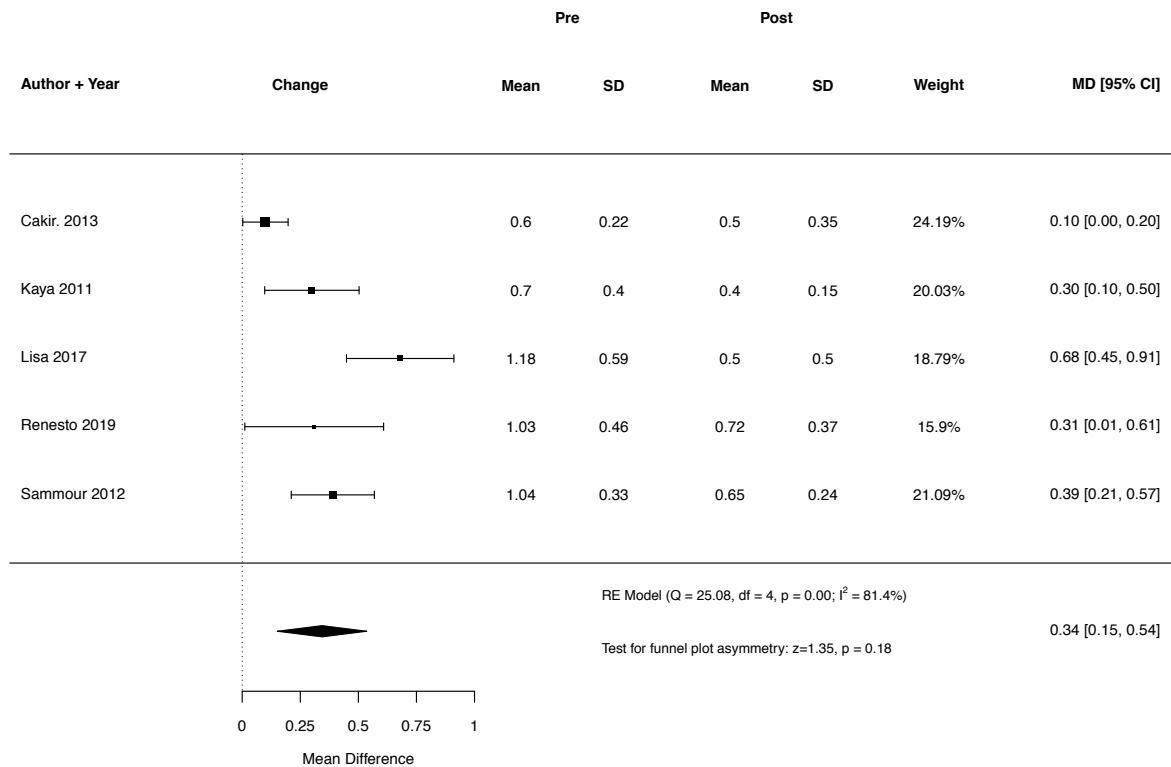


Abbildung 45: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

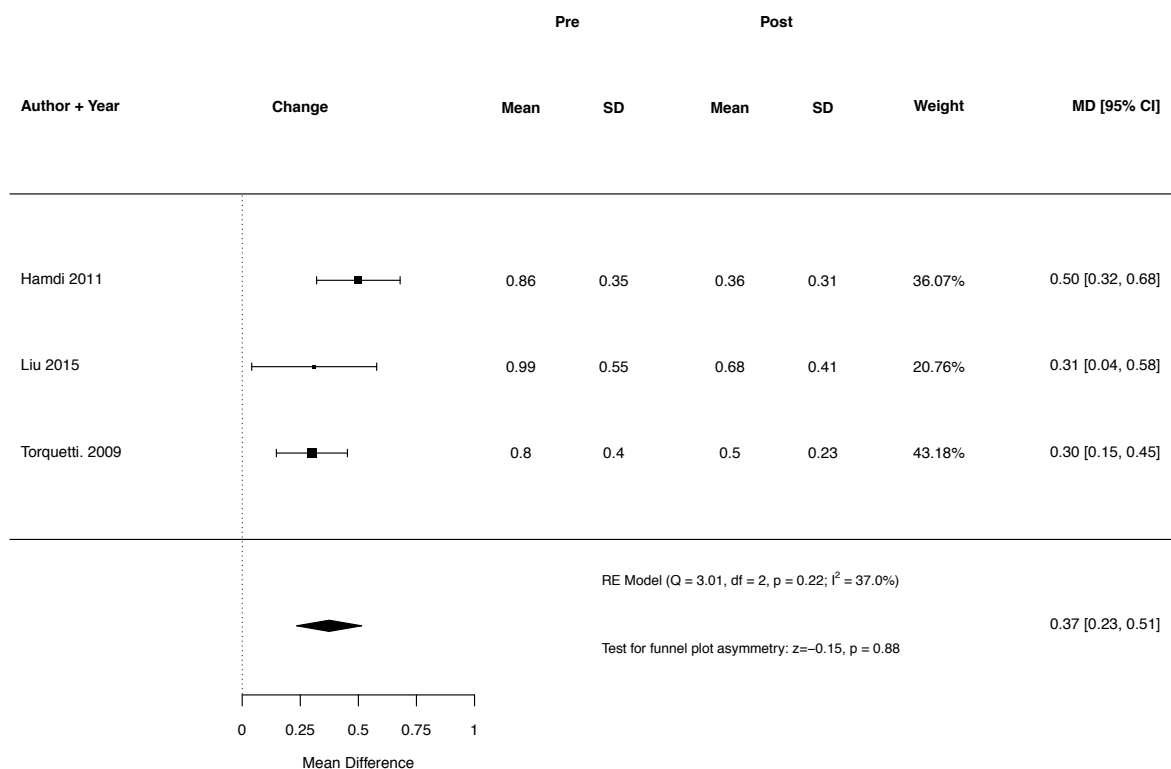


Abbildung 46: Weighted mean difference des Visus sine correctione nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

11.3 Forest Plots zur Veränderung der Refraktion

11.3.1 Forest Plots zur Veränderung der Sphäre

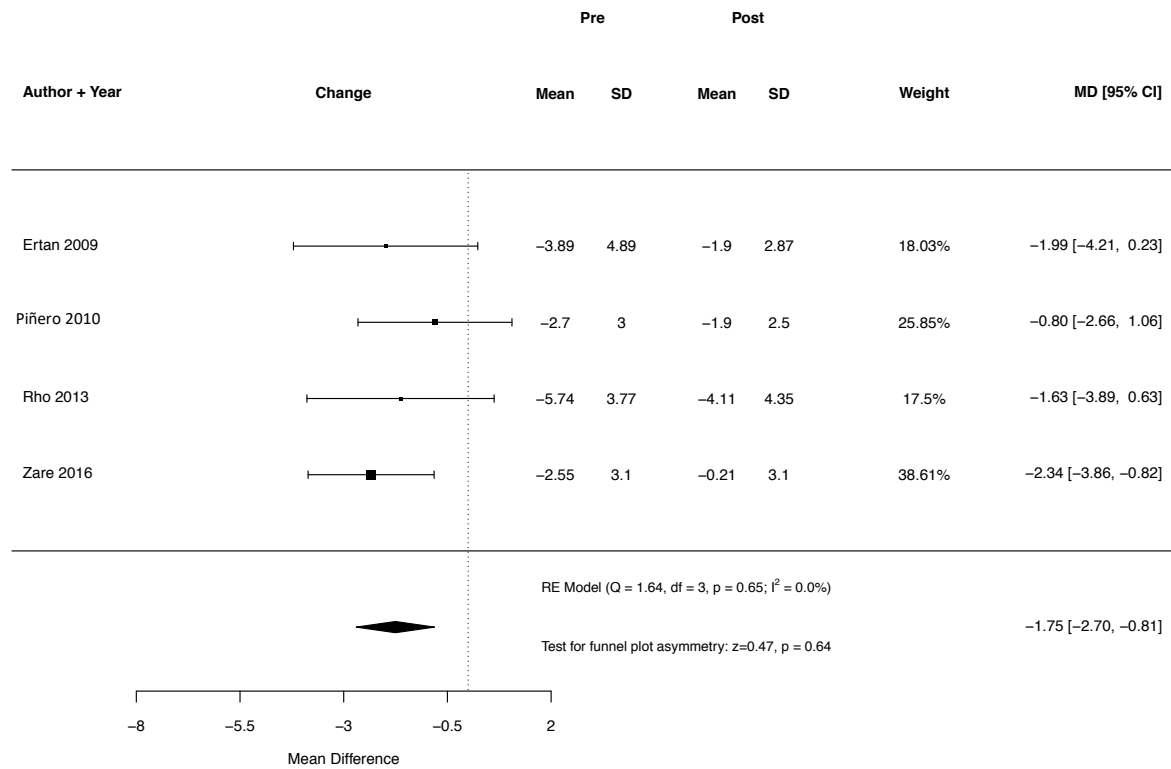


Abbildung 47: Weighted mean difference der Sphäre nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

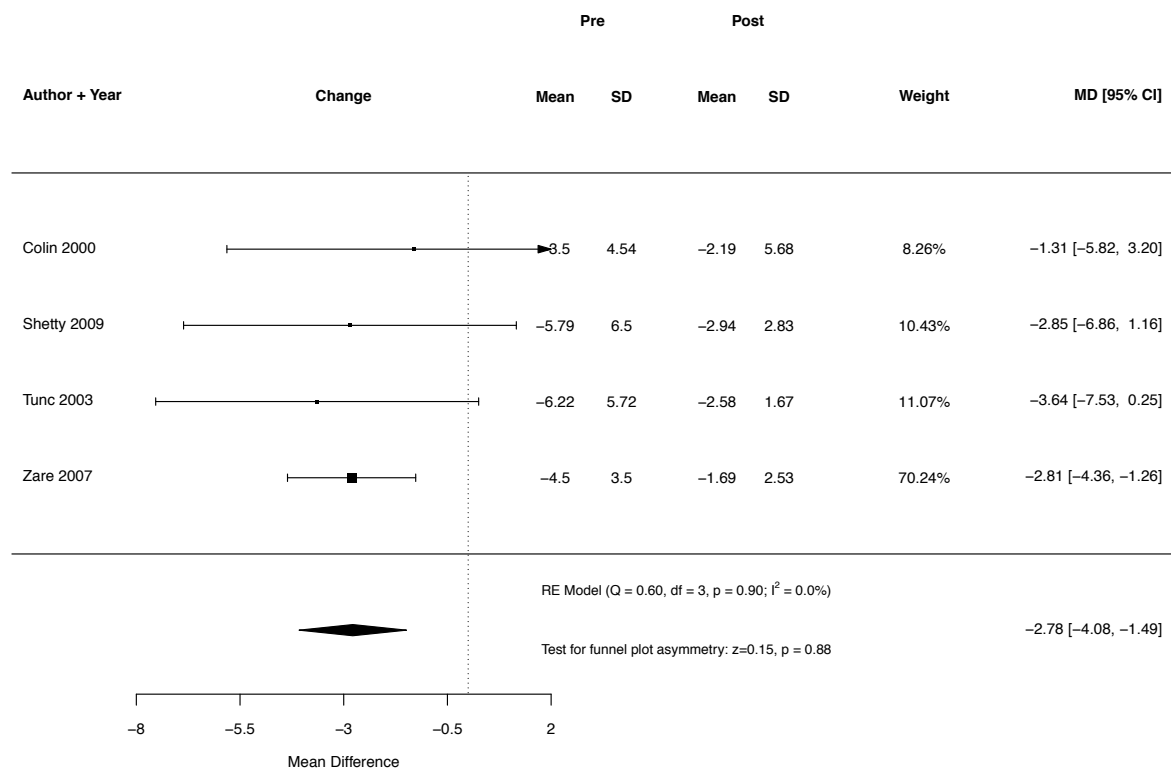


Abbildung 48: Weighted mean difference der Sphäre nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

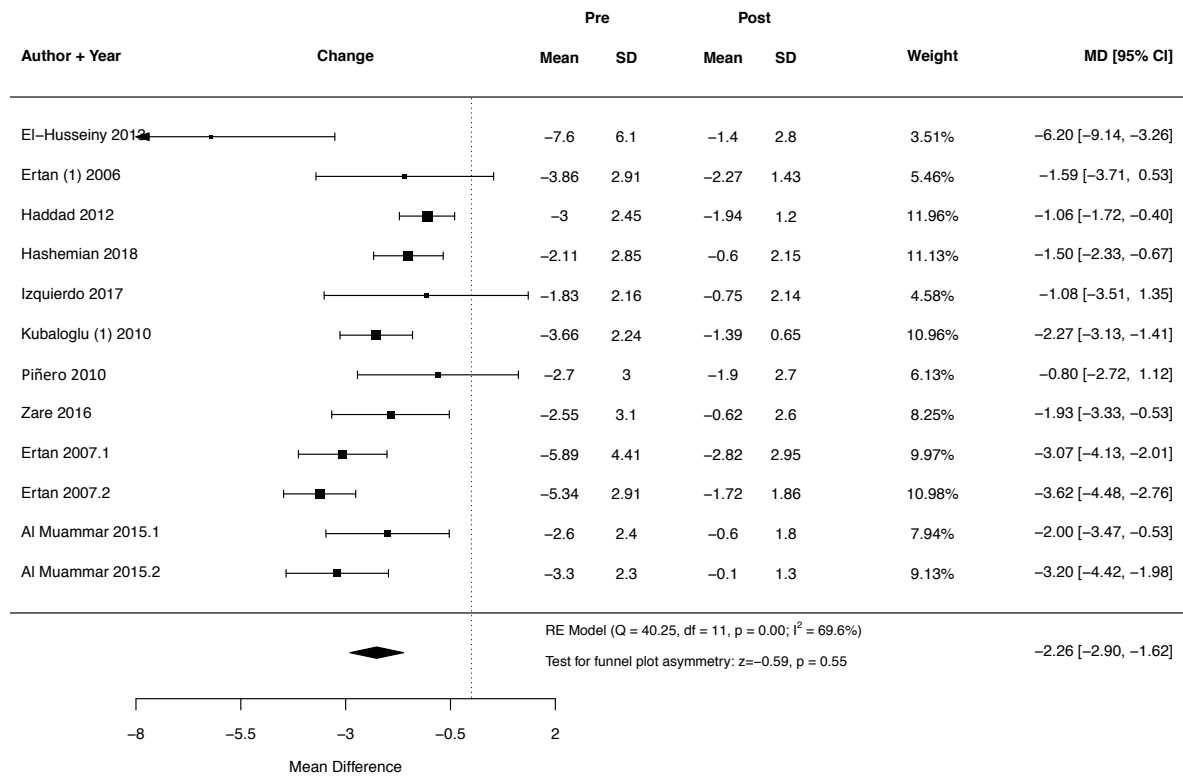


Abbildung 49: Weighted mean difference der Sphäre nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-up

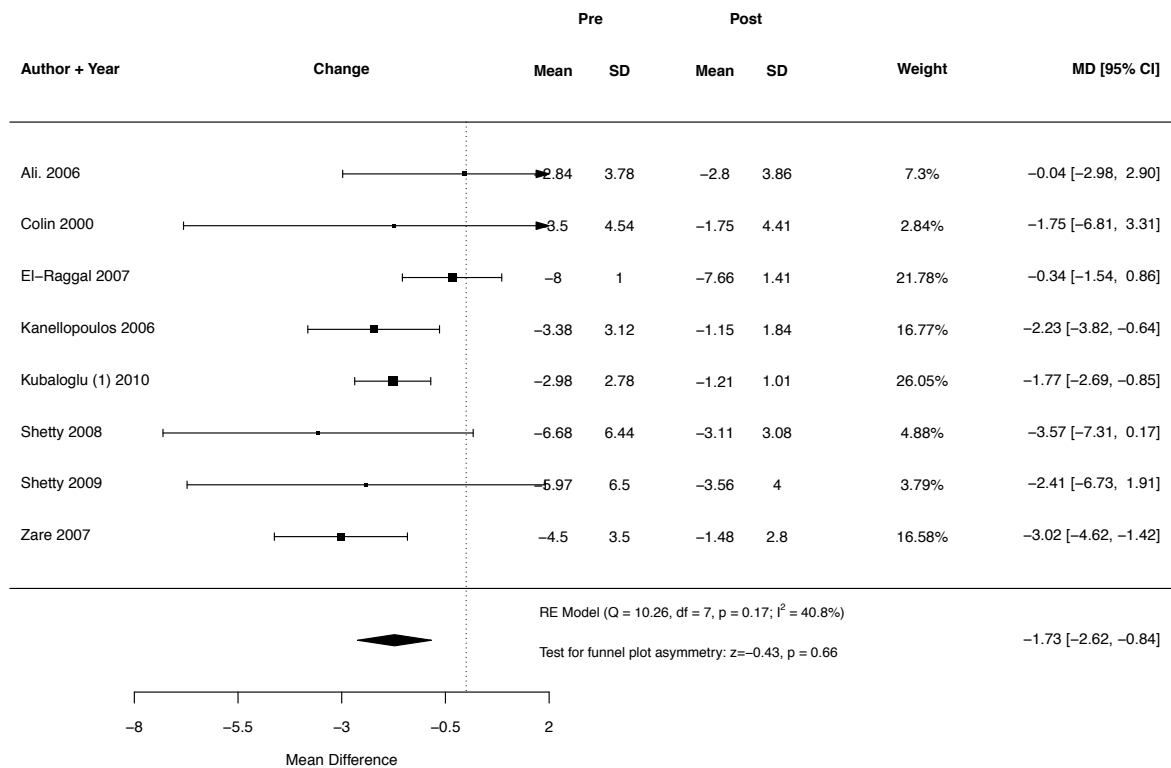


Abbildung 50: Weighted mean difference der Sphäre nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-up

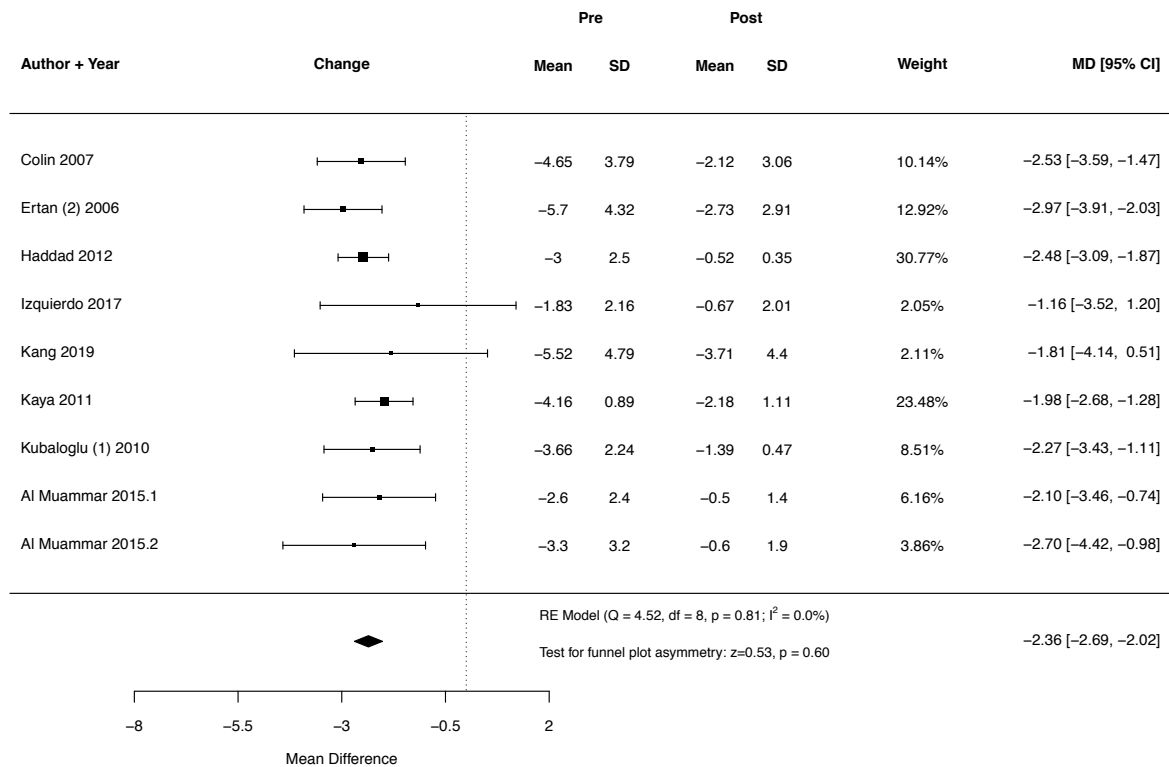


Abbildung 51: Weighted mean difference der Sphäre nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

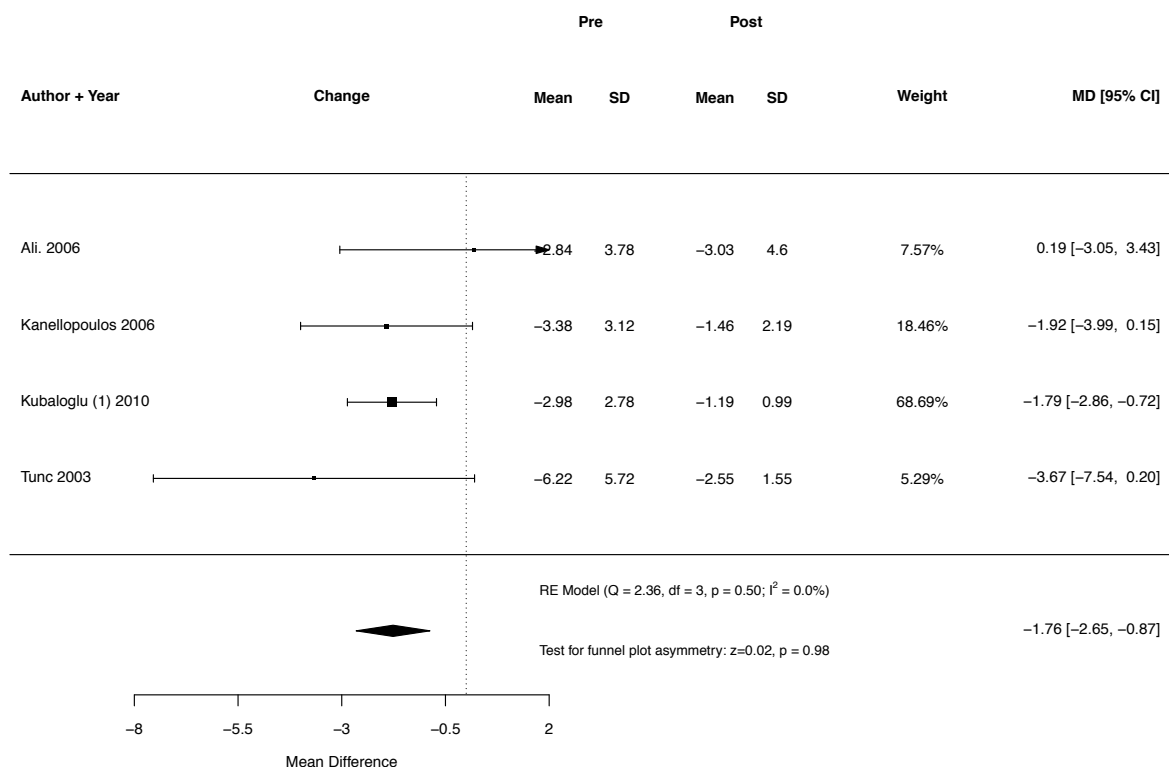


Abbildung 52: Weighted mean difference der Sphäre nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

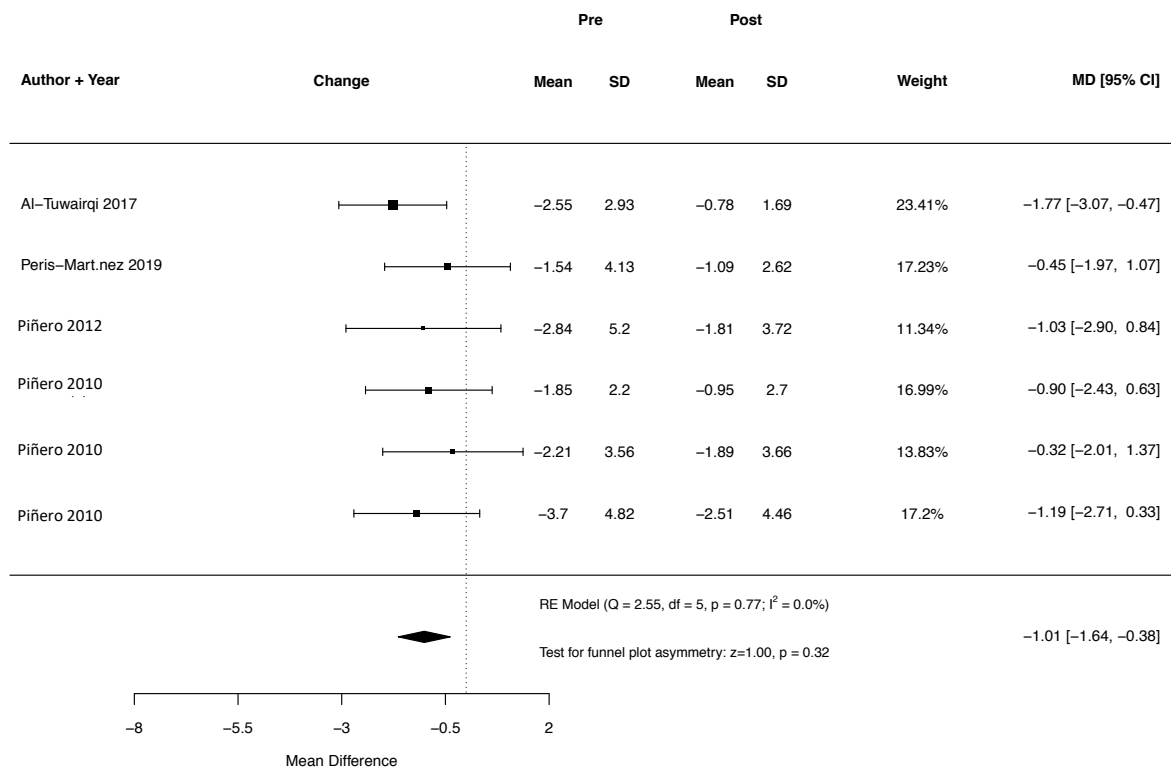


Abbildung 53: Weighted mean difference der Sphäre nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

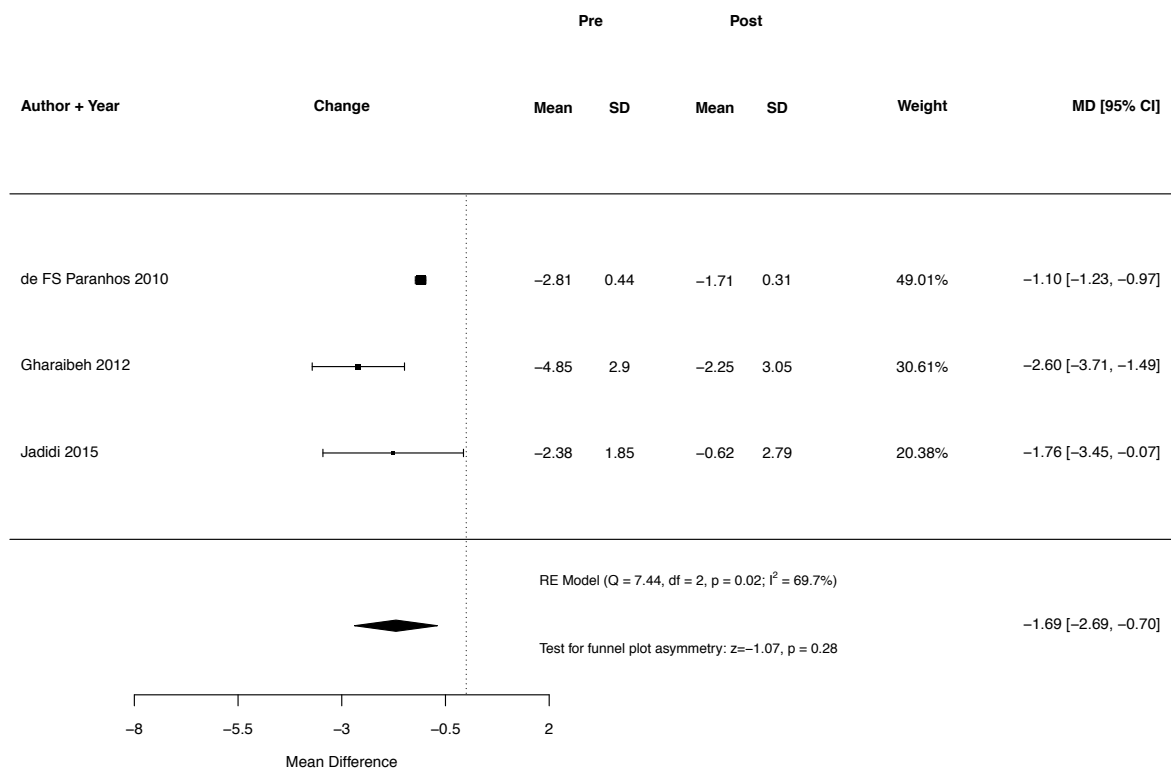


Abbildung 54: Weighted mean difference der Sphäre nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

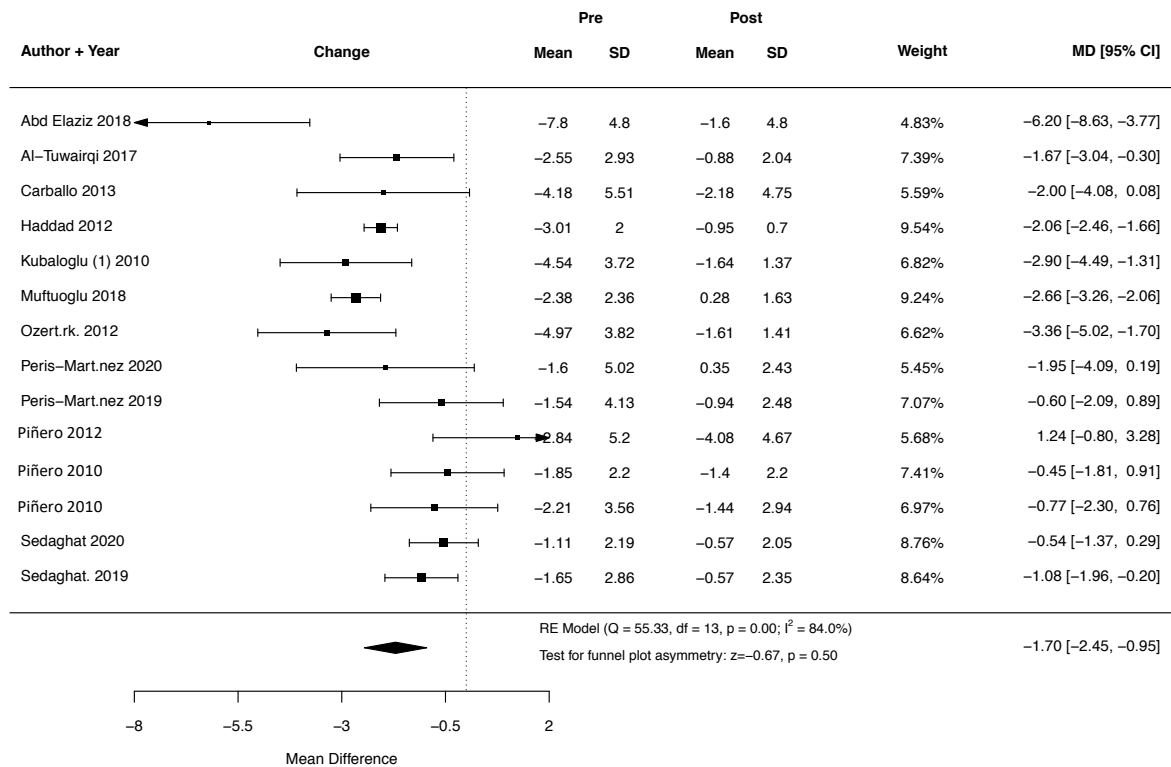


Abbildung 55: Weighted mean difference der Sphäre nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

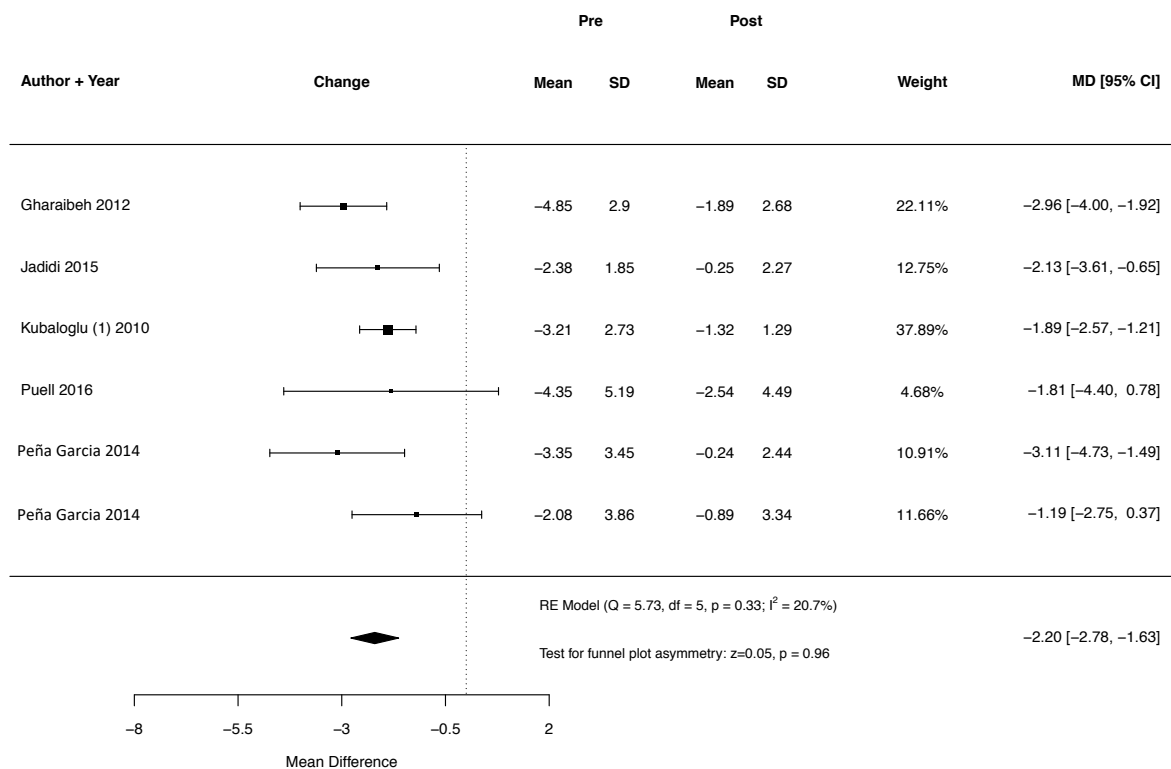


Abbildung 56: Weighted mean difference der Sphäre nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

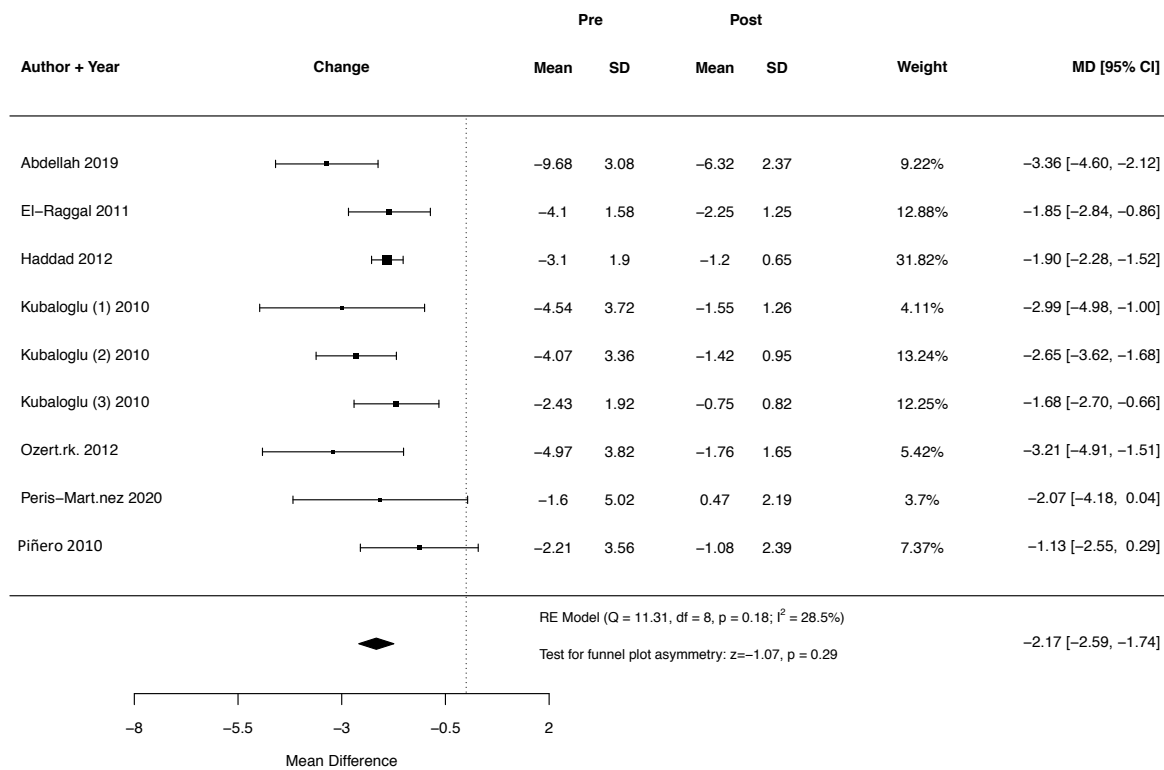


Abbildung 57: Weighted mean difference der Sphäre nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

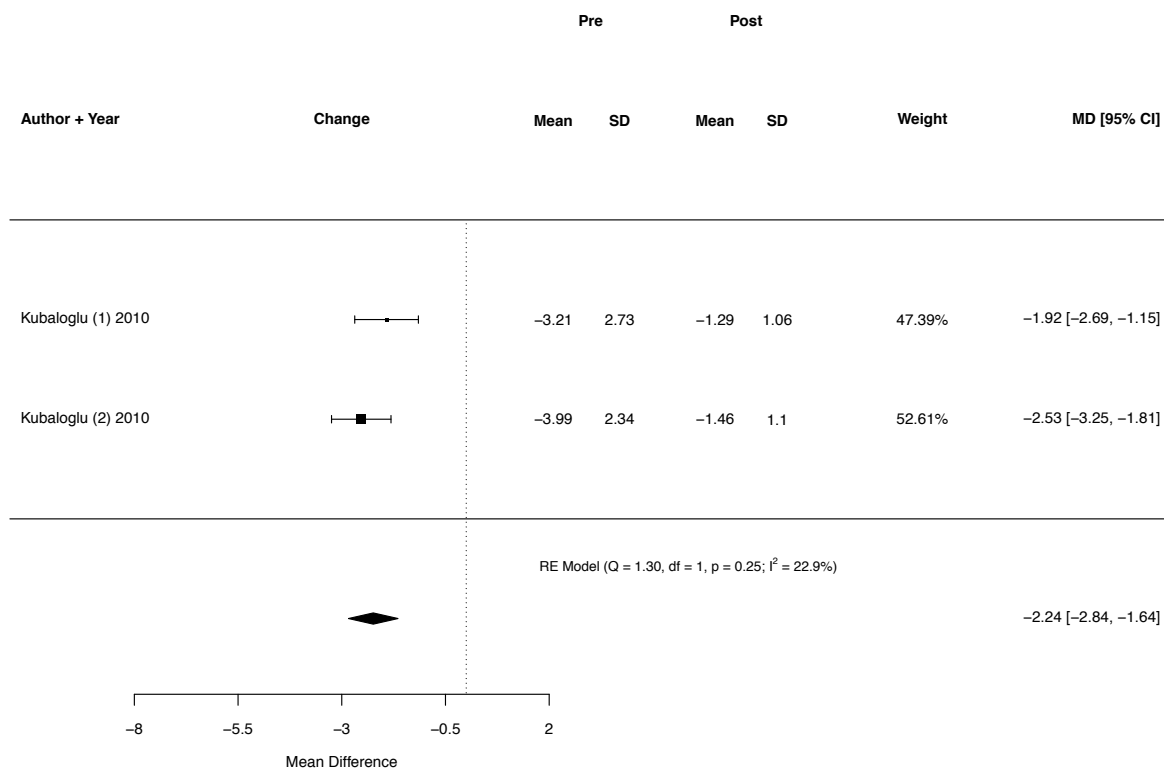


Abbildung 58: Weighted mean difference der Sphäre nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

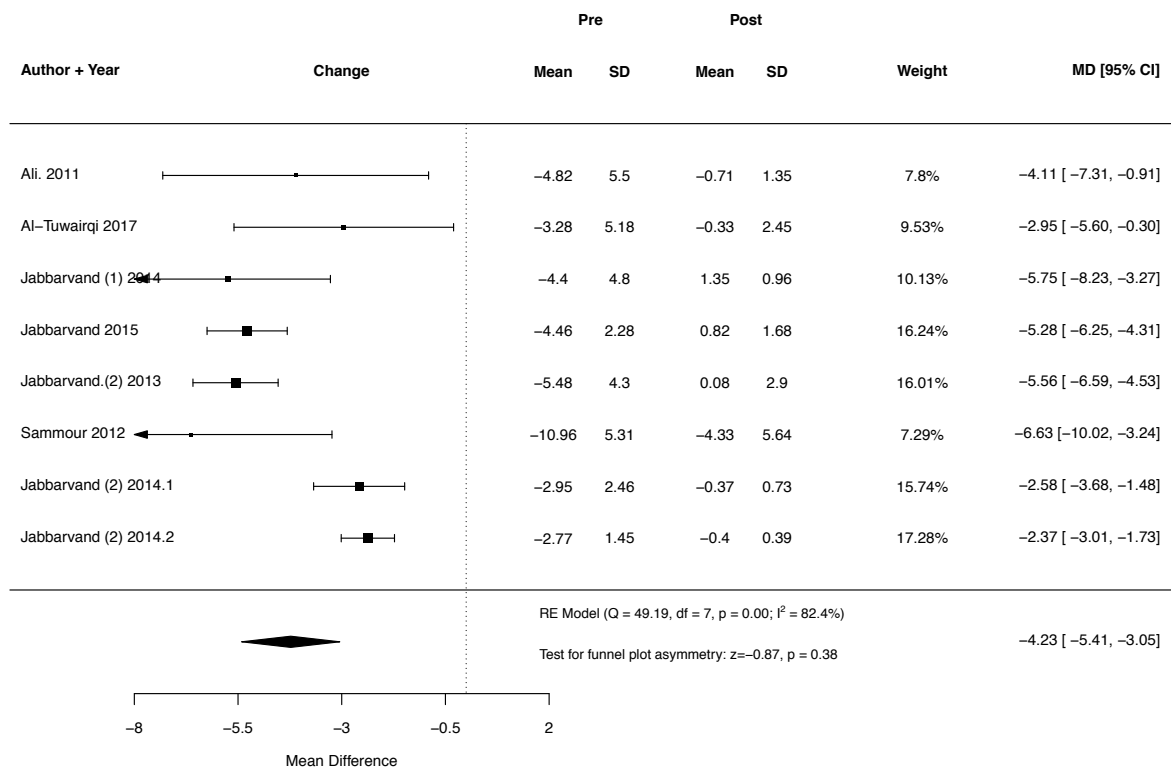


Abbildung 59: Weighted mean difference der Sphäre nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

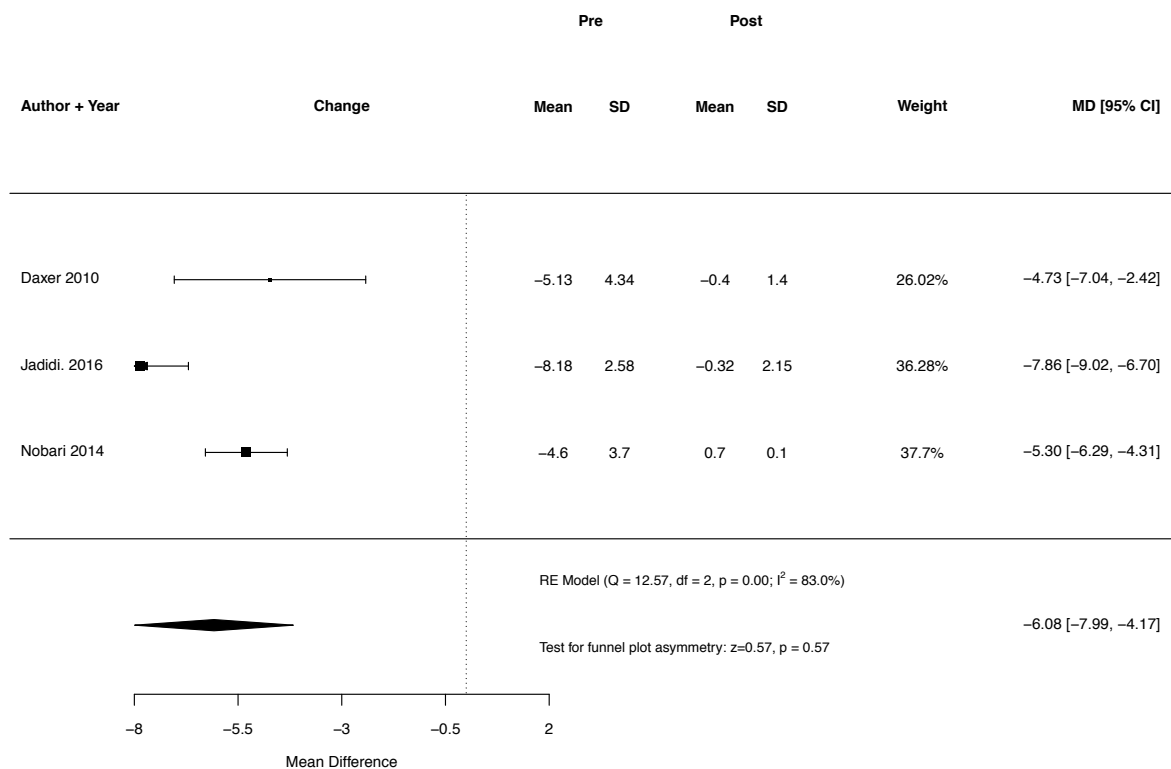


Abbildung 60: Weighted mean difference der Sphäre nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

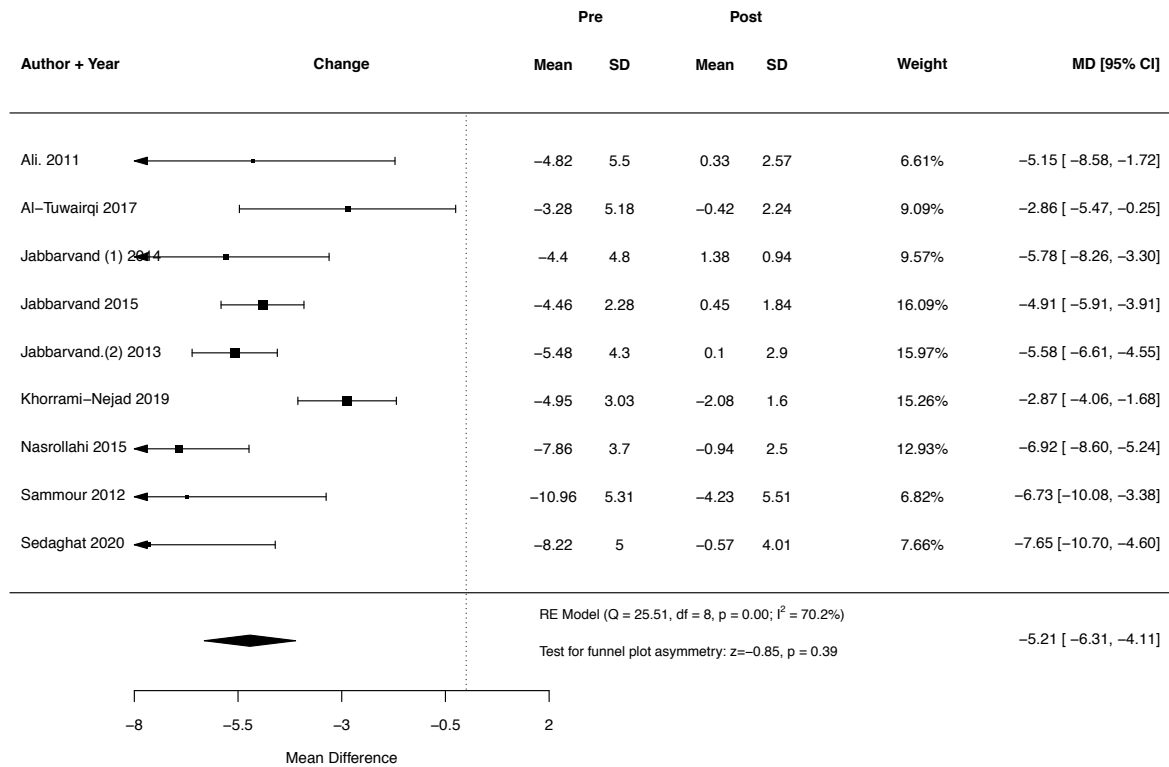


Abbildung 61: Weighted mean difference der Sphäre nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

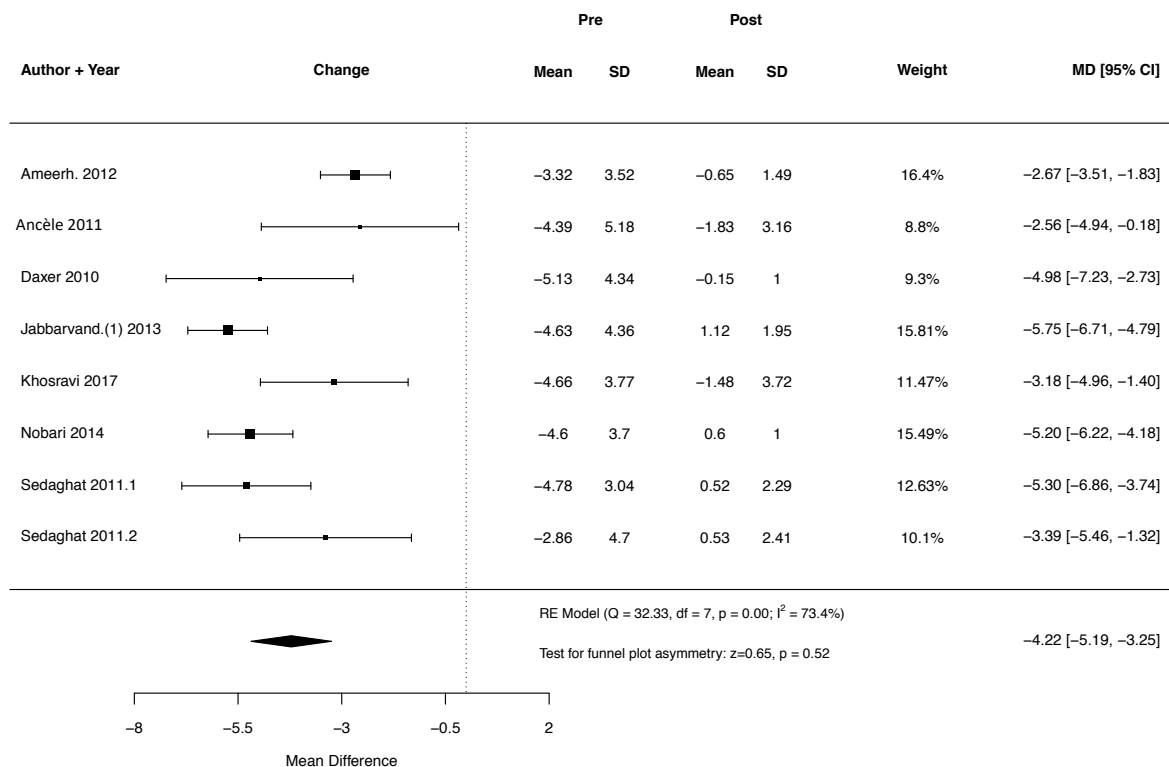


Abbildung 62: Weighted mean difference der Sphäre nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

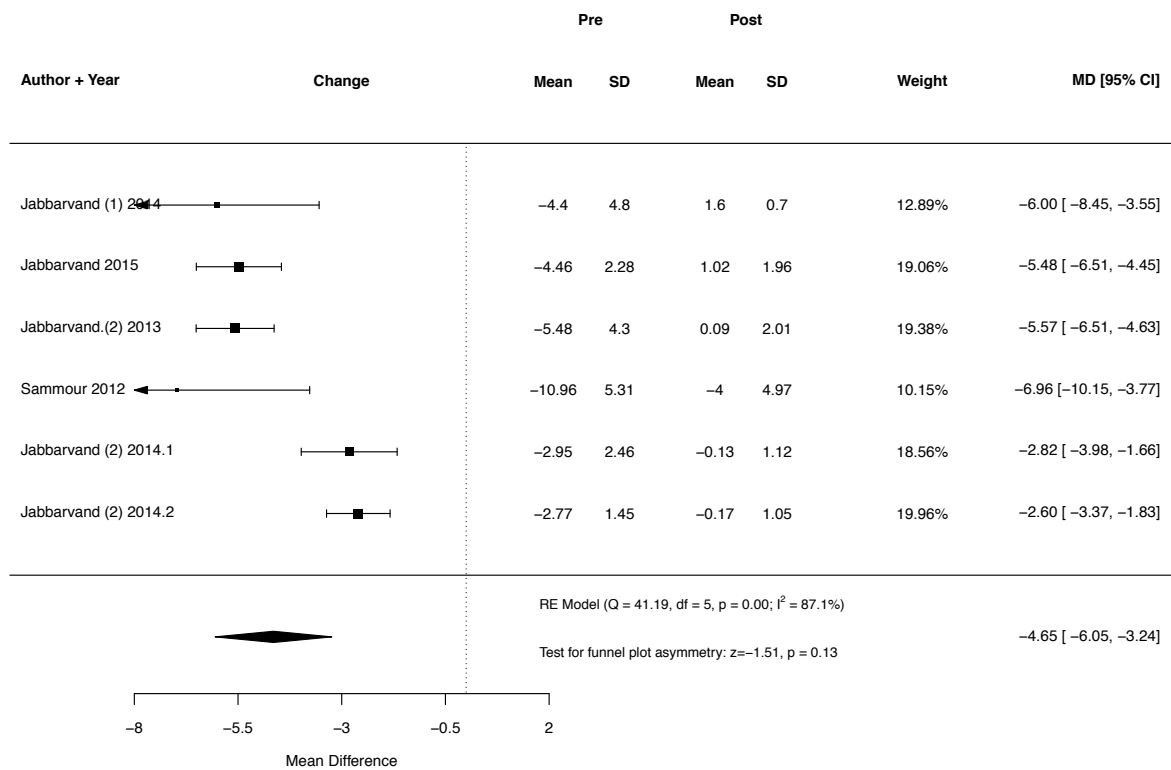


Abbildung 63: Weighted mean difference der Sphäre nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

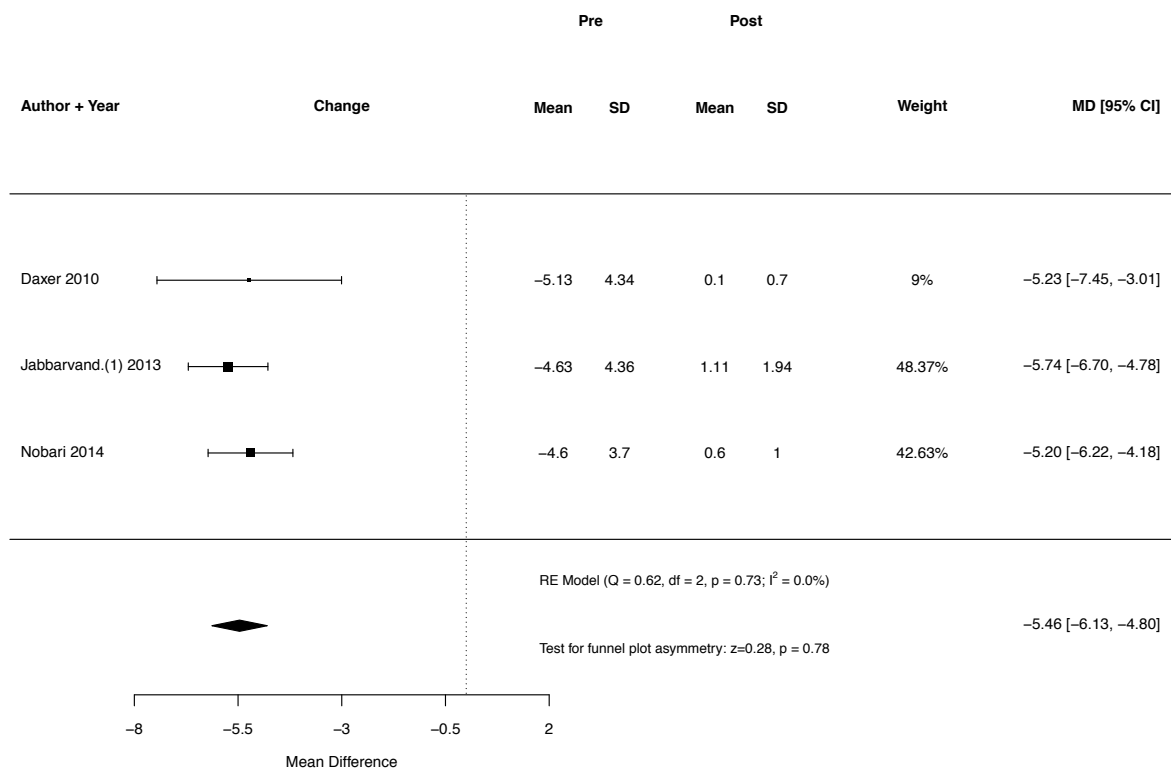


Abbildung 64: Weighted mean difference der Sphäre nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

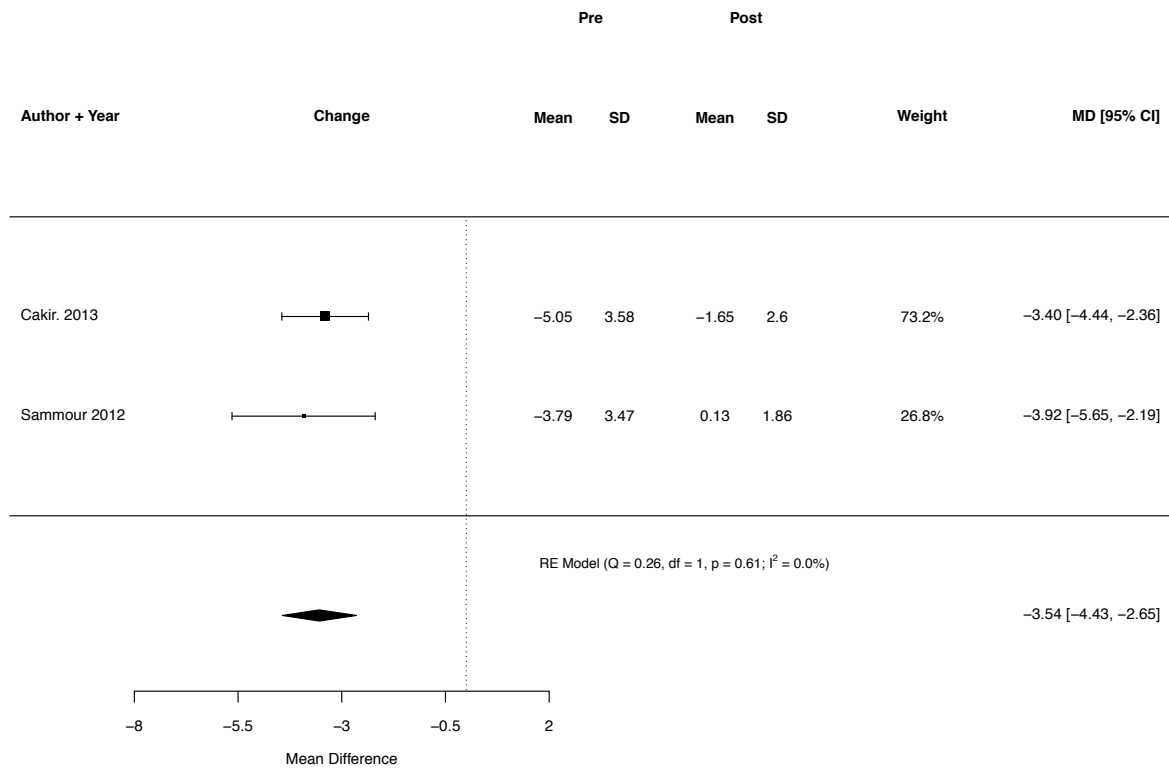


Abbildung 65: Weighted mean difference der Sphäre nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

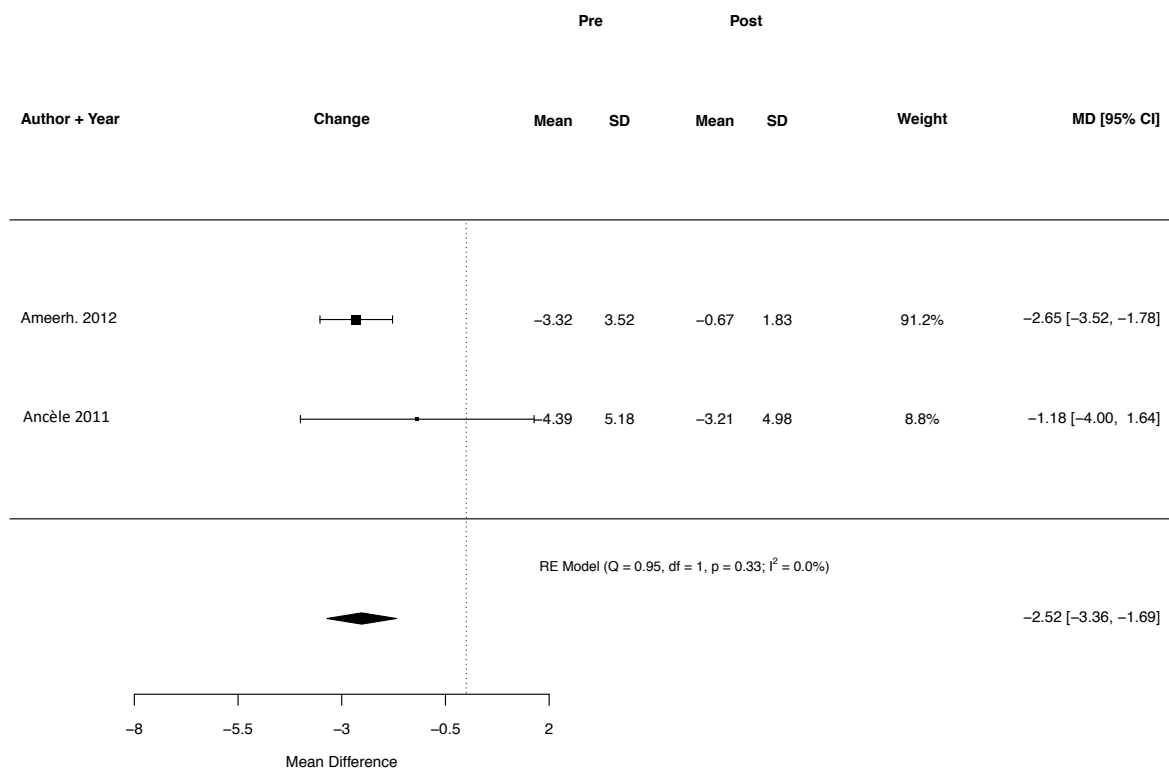


Abbildung 66: Weighted mean difference der Sphäre nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

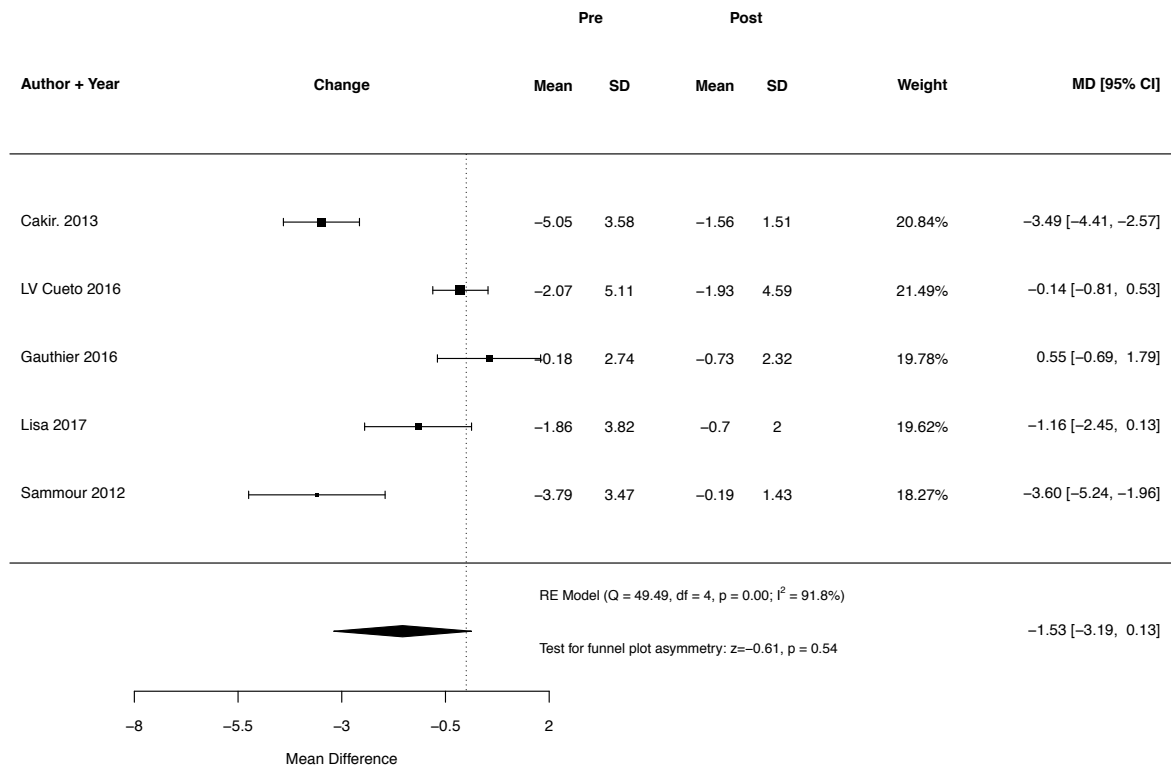


Abbildung 67: Weighted mean difference der Sphäre nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

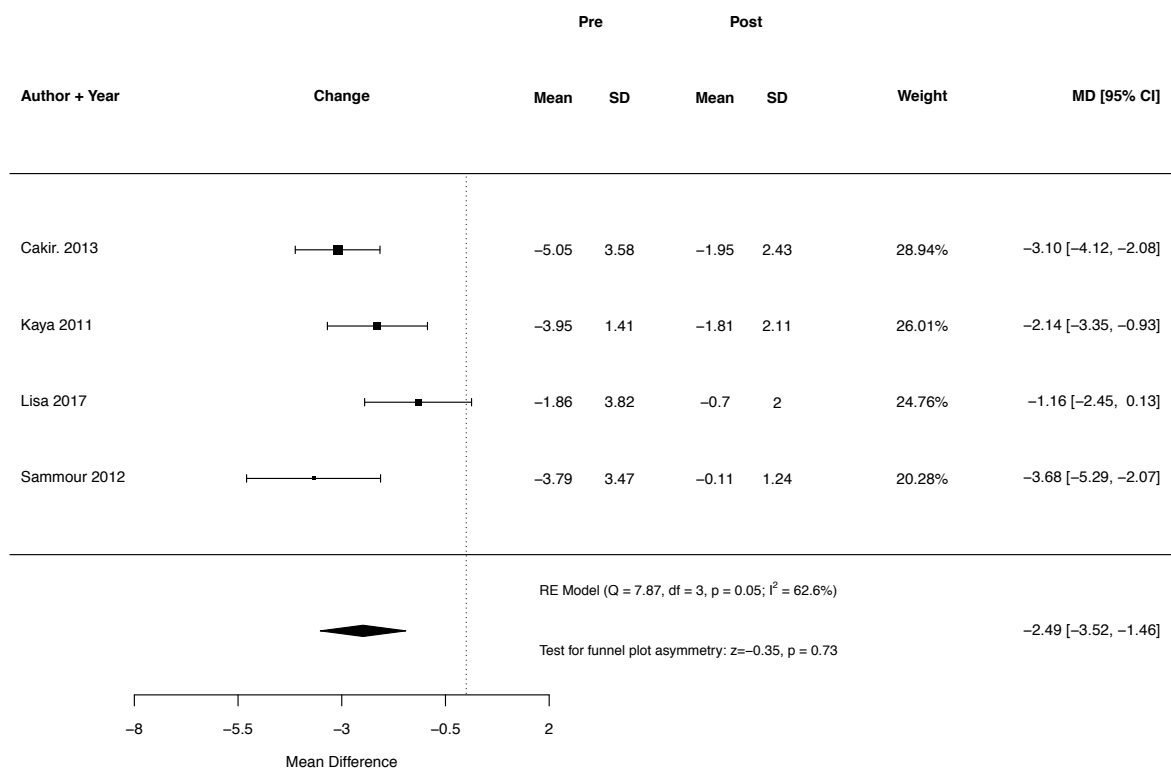


Abbildung 68: Weighted mean difference der Sphäre nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

11.3.2 Forest Plots zur Veränderung des Zylinders

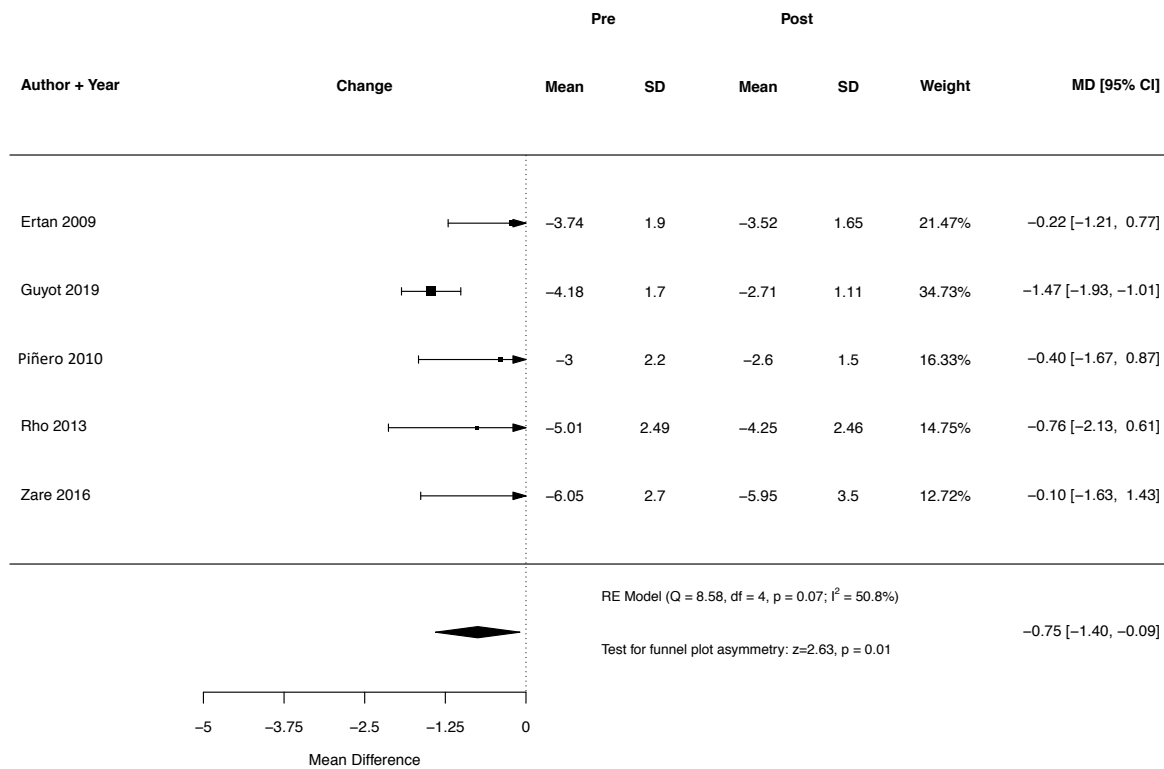


Abbildung 69: Weighted mean difference des Zylinders nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

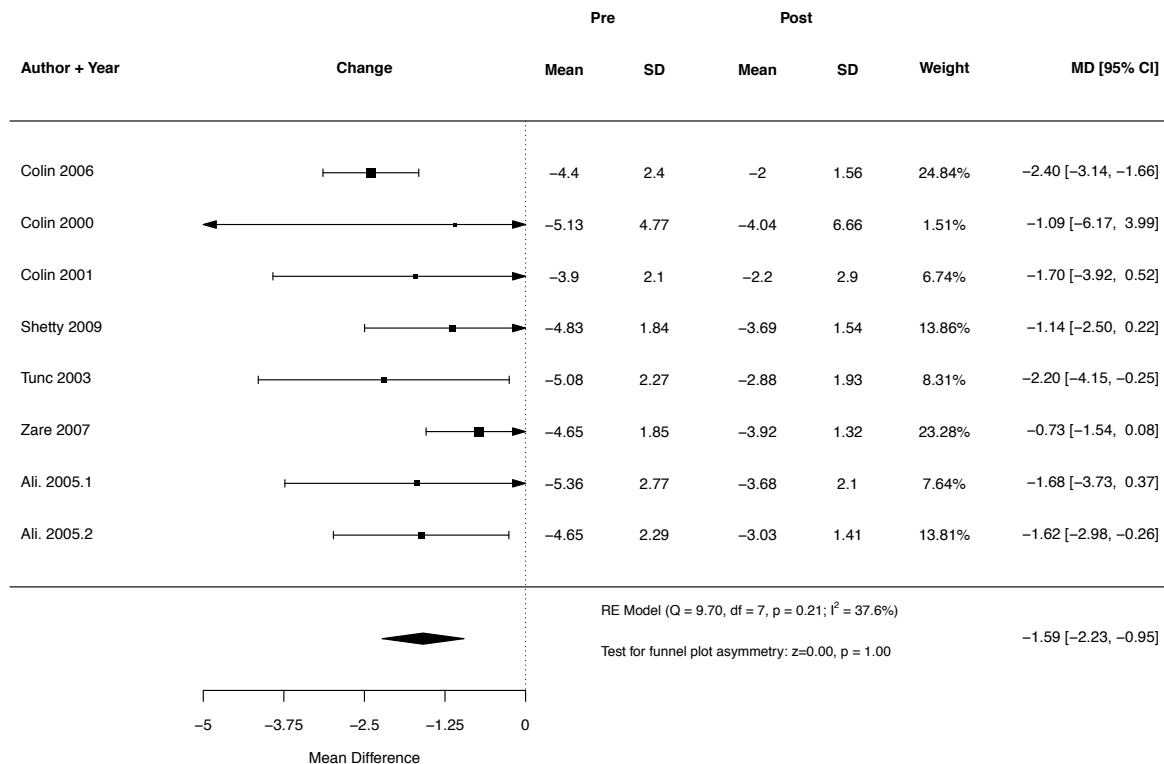


Abbildung 70: Weighted mean difference des Zylinders nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

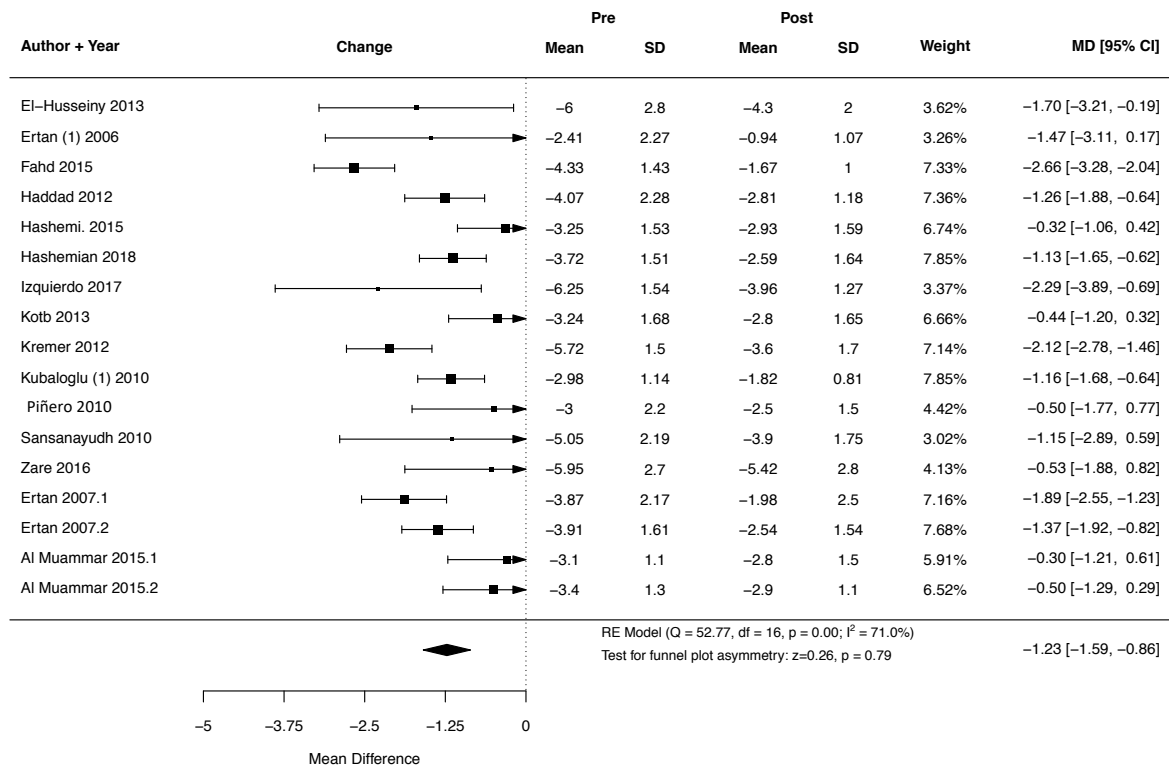


Abbildung 71: Weighted mean difference des Zylinders nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

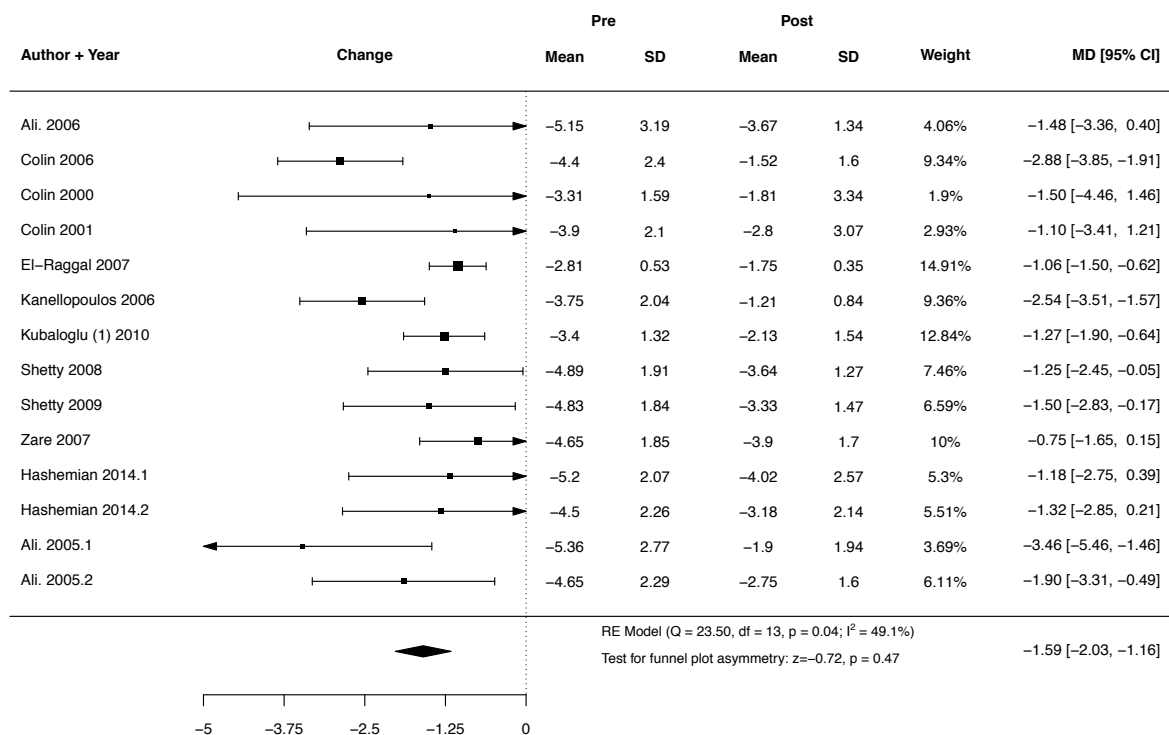


Abbildung 72: Weighted mean difference des Zylinders nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

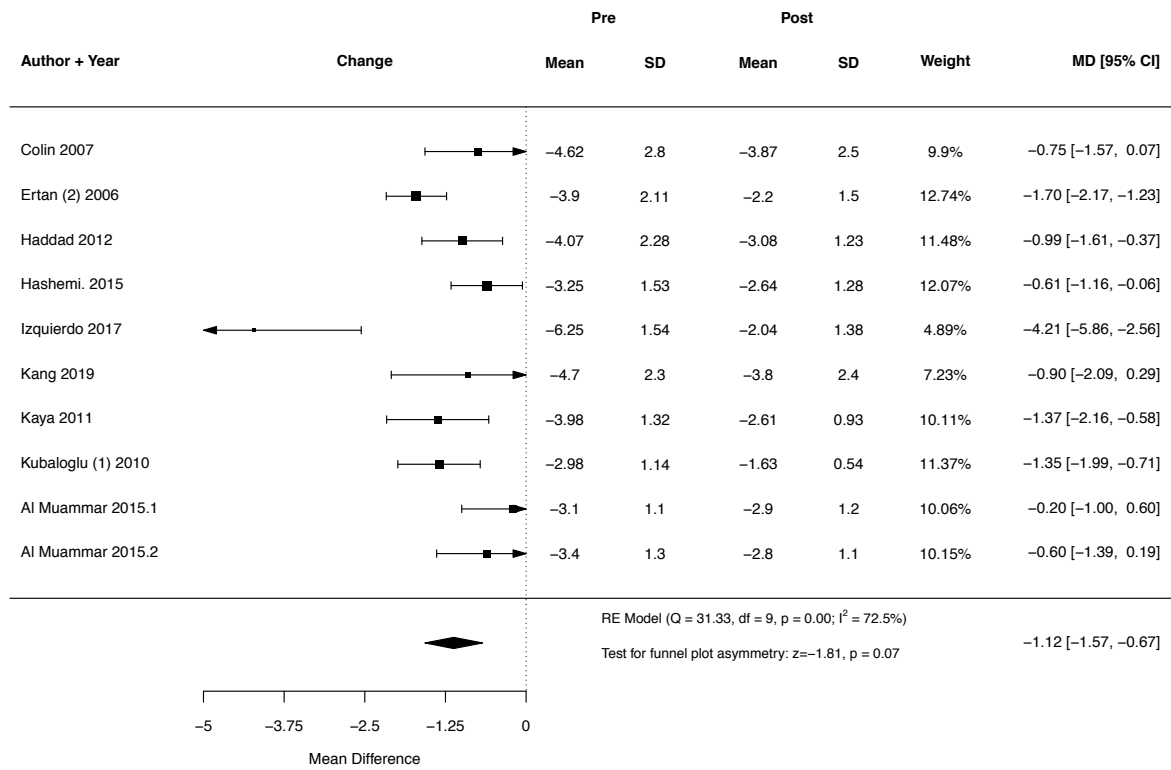


Abbildung 73: Weighted mean difference des Zylinders nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

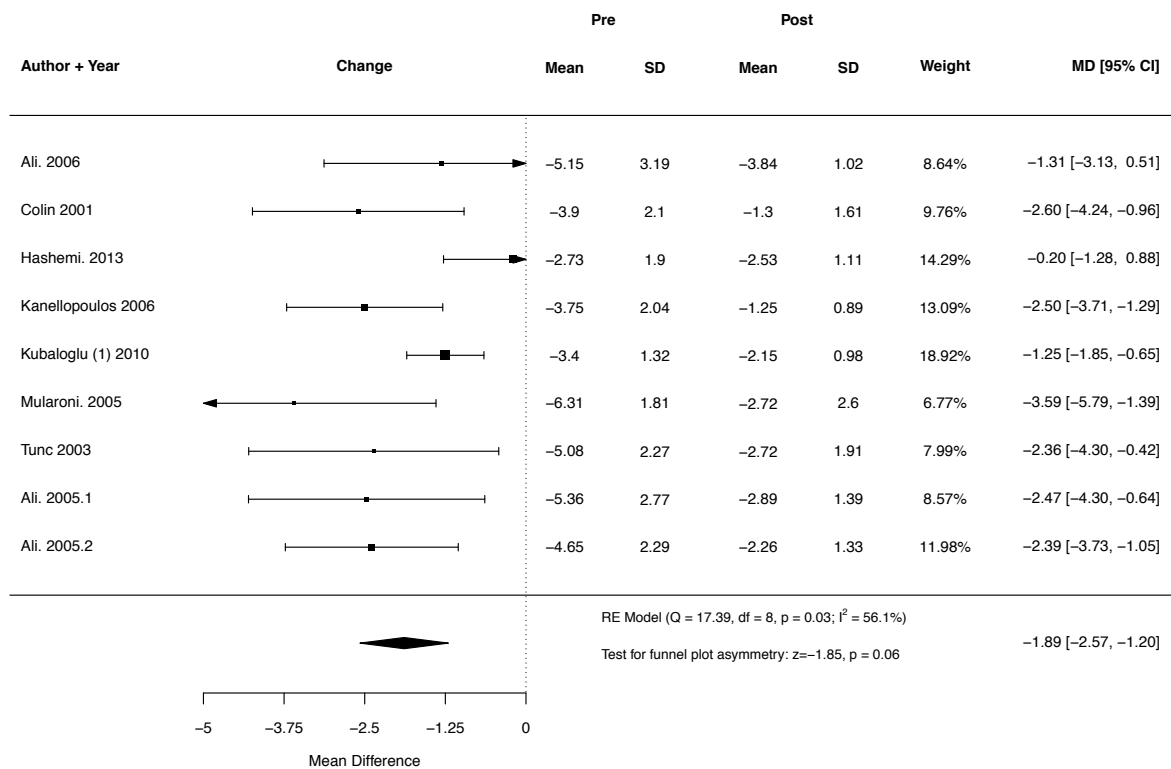


Abbildung 74: Weighted mean difference des Zylinders nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

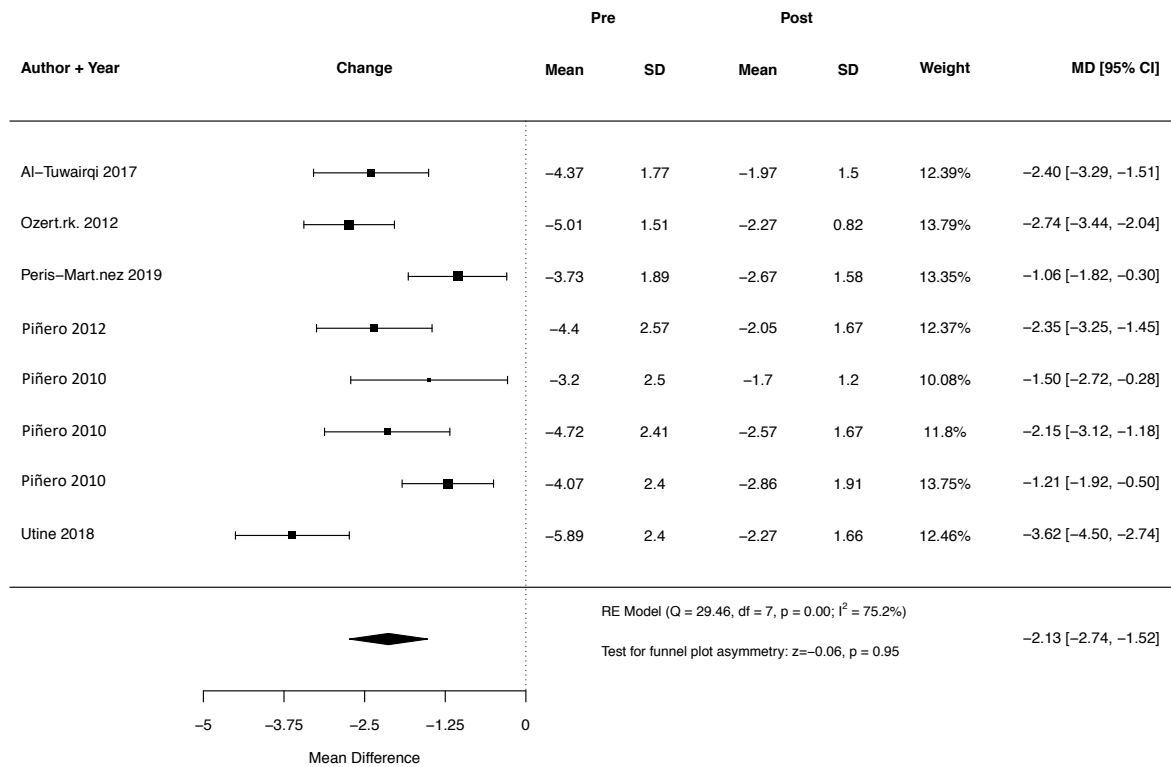


Abbildung 75: Weighted mean difference des Zylinders nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers s zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

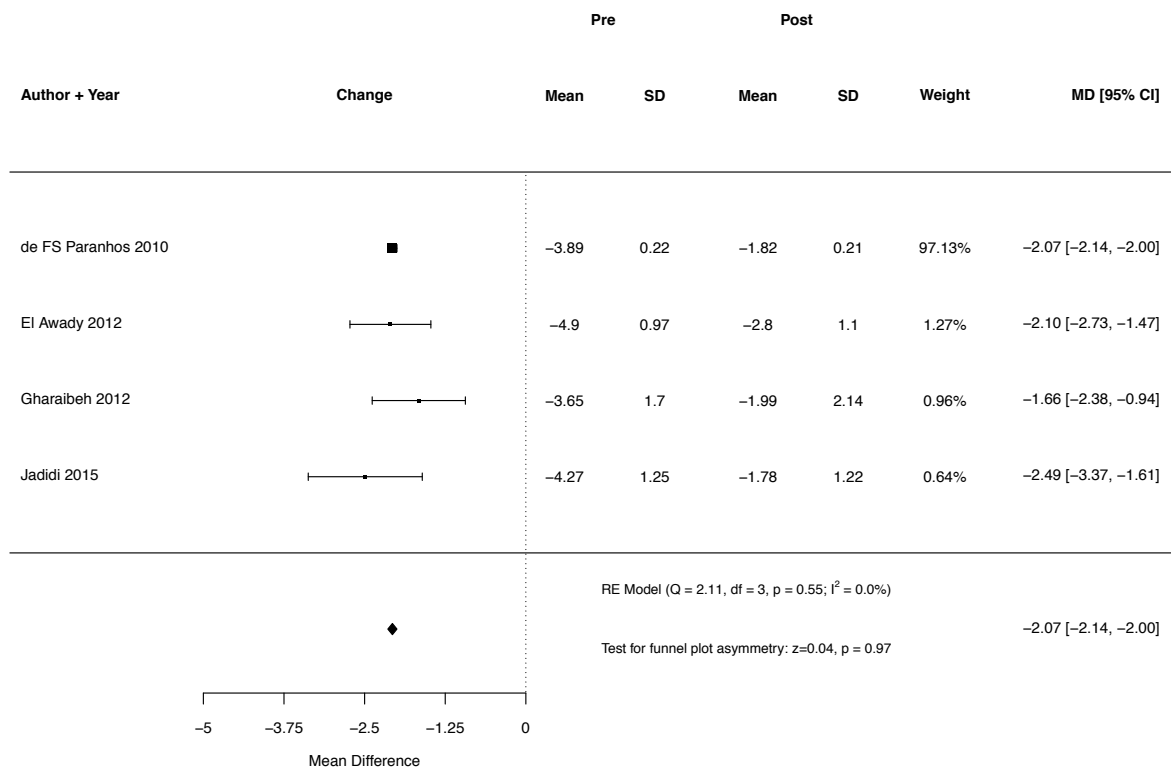


Abbildung 76: Weighted mean difference des Zylinders nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

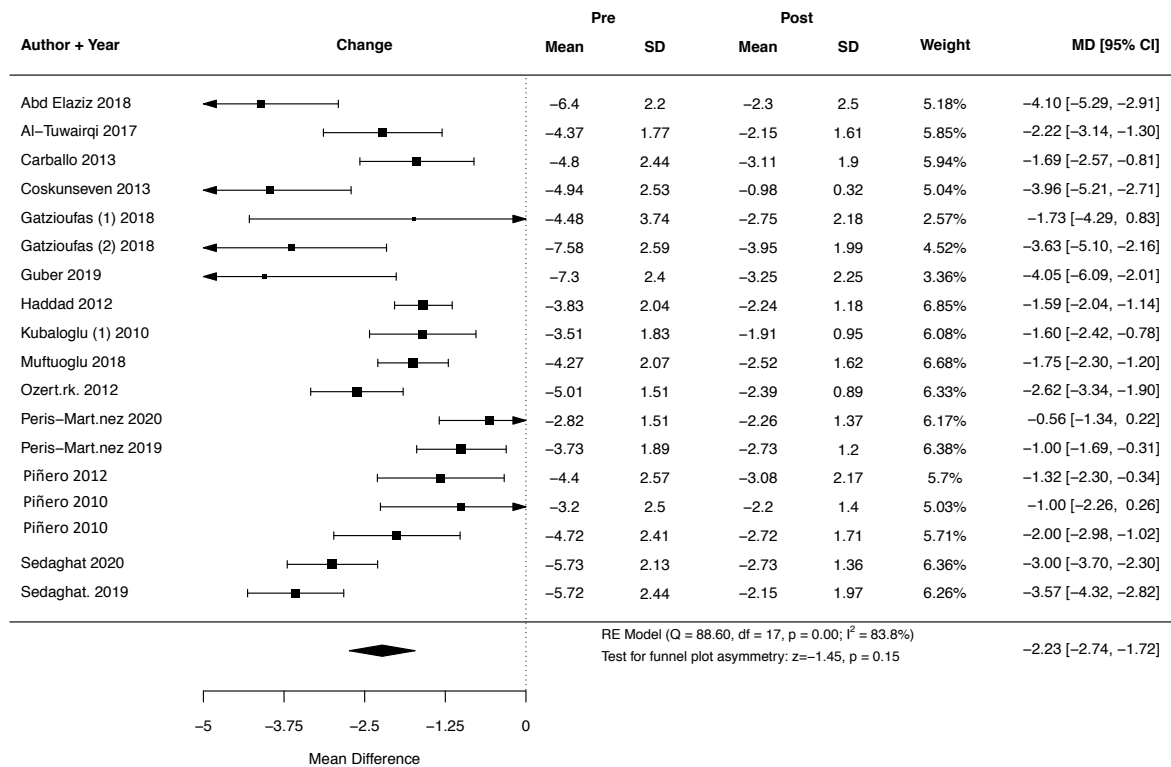


Abbildung 77: Weighted mean difference des Zylinders nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

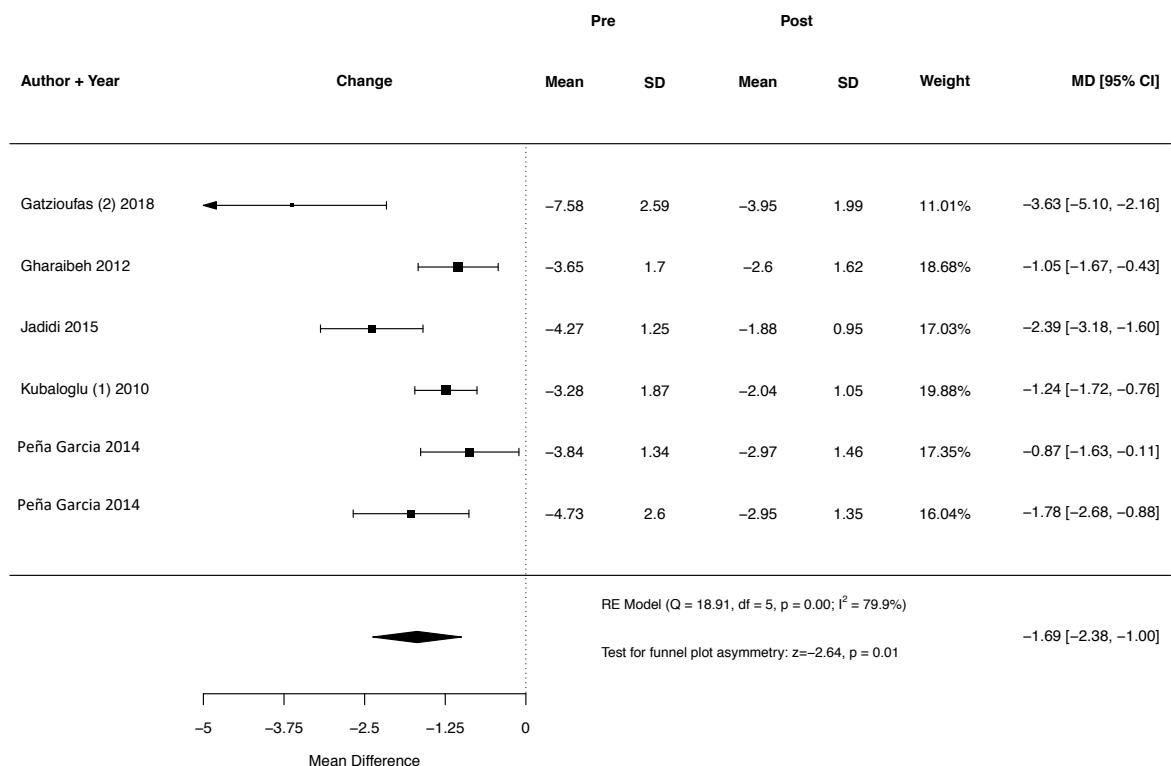


Abbildung 78: Weighted mean difference des Zylinders nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

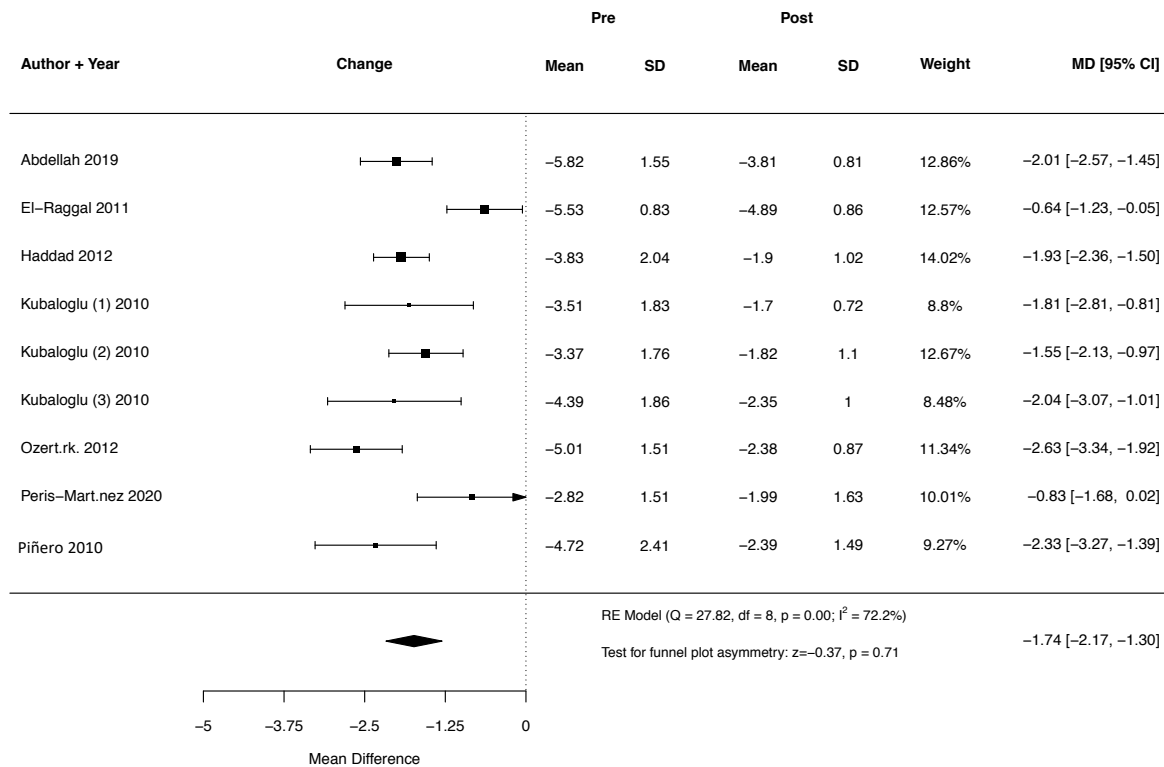


Abbildung 79: Weighted mean difference des Zylinders nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers s zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

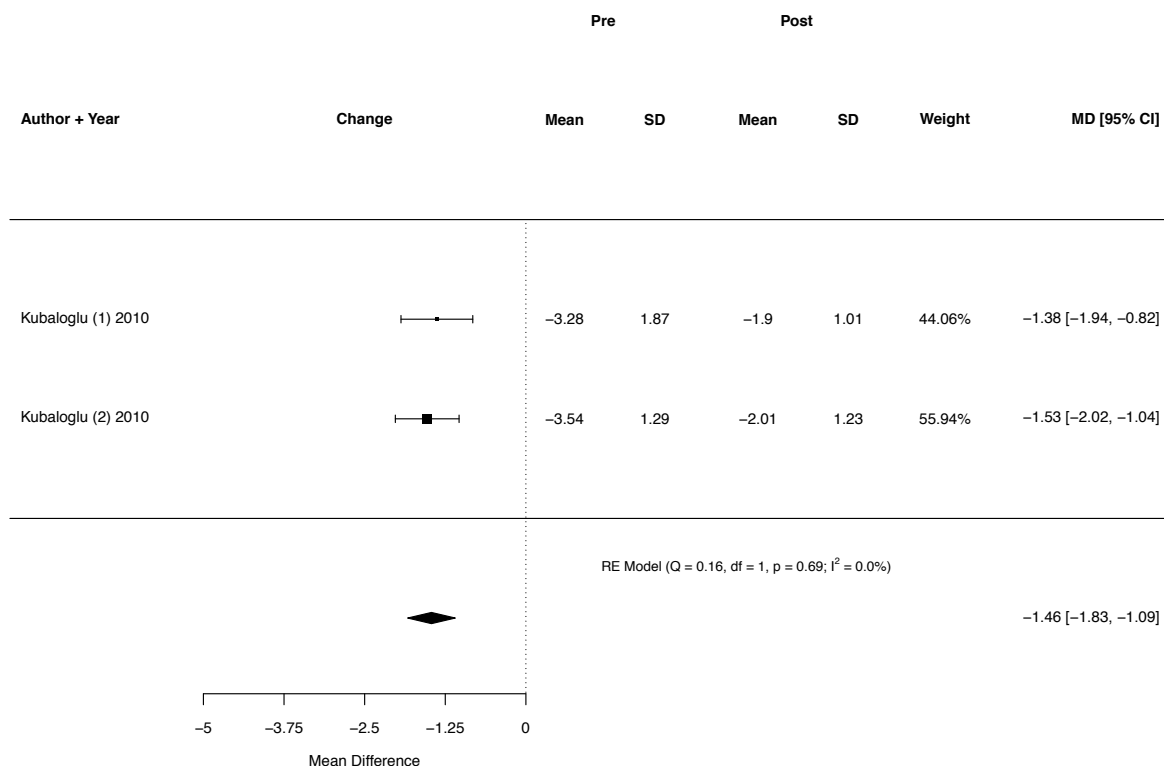


Abbildung 80: Weighted mean difference des Zylinders nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

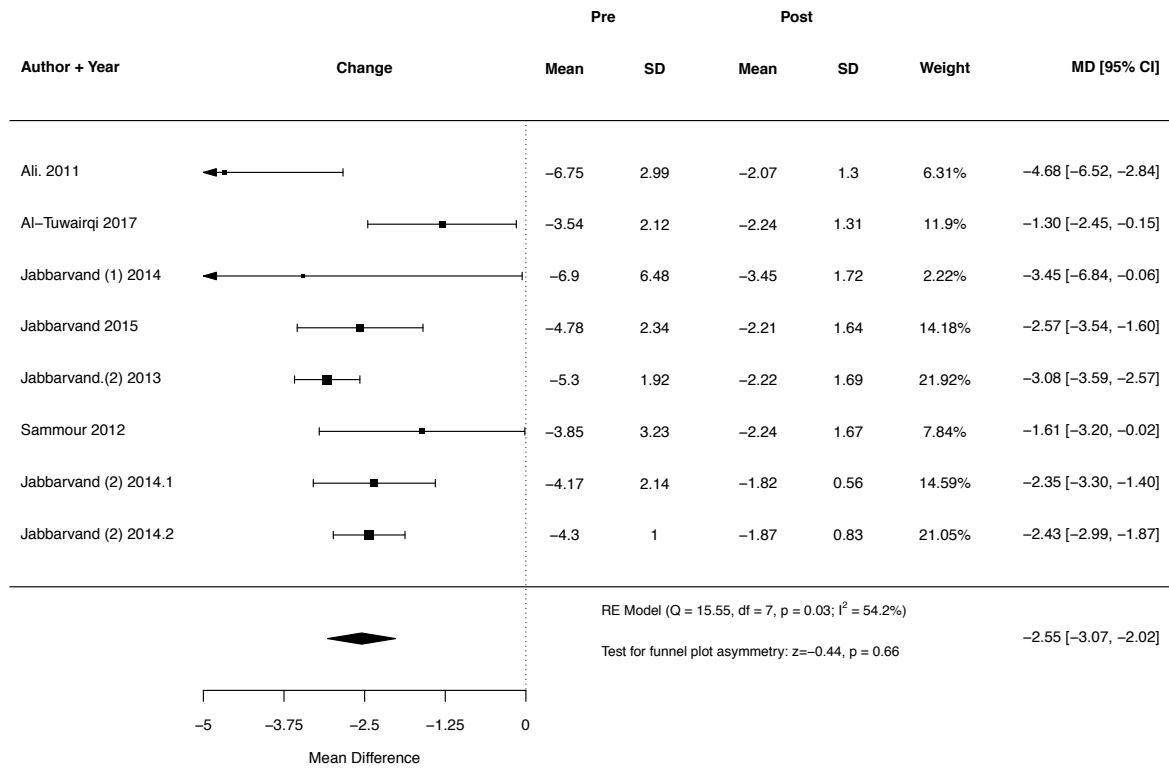


Abbildung 81: Weighted mean difference des Zylinders nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

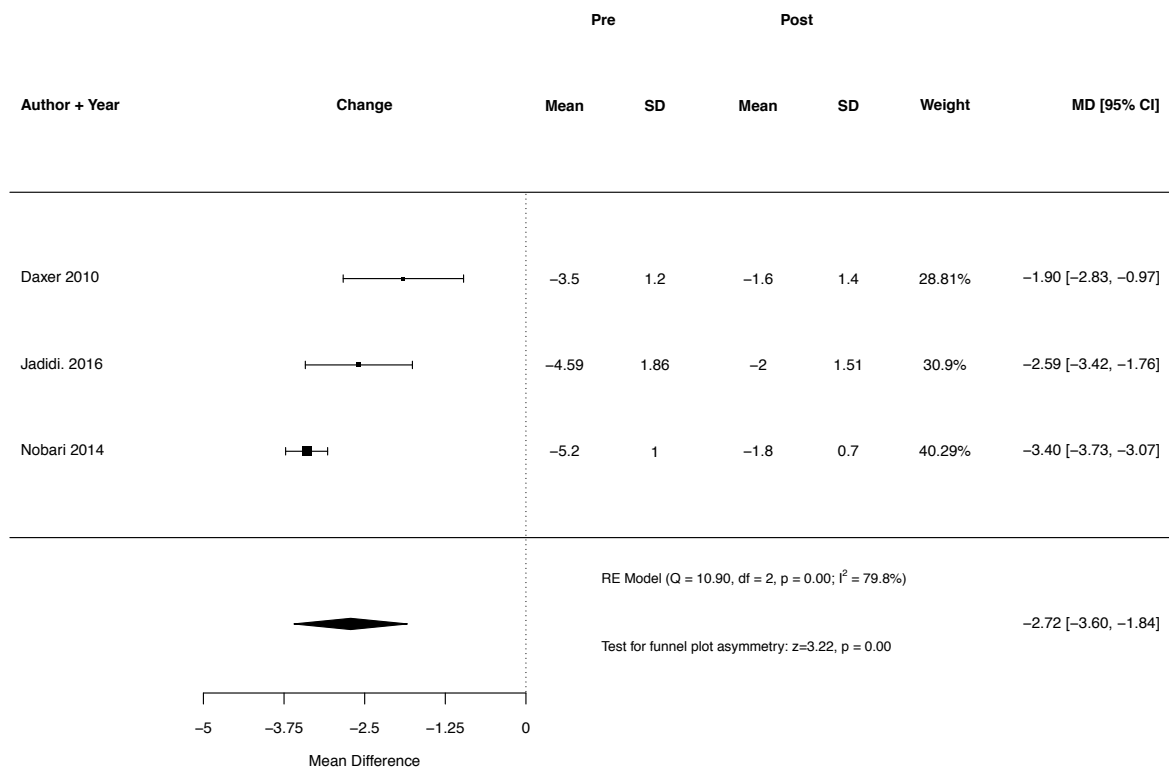


Abbildung 82: Weighted mean difference des Zylinders nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

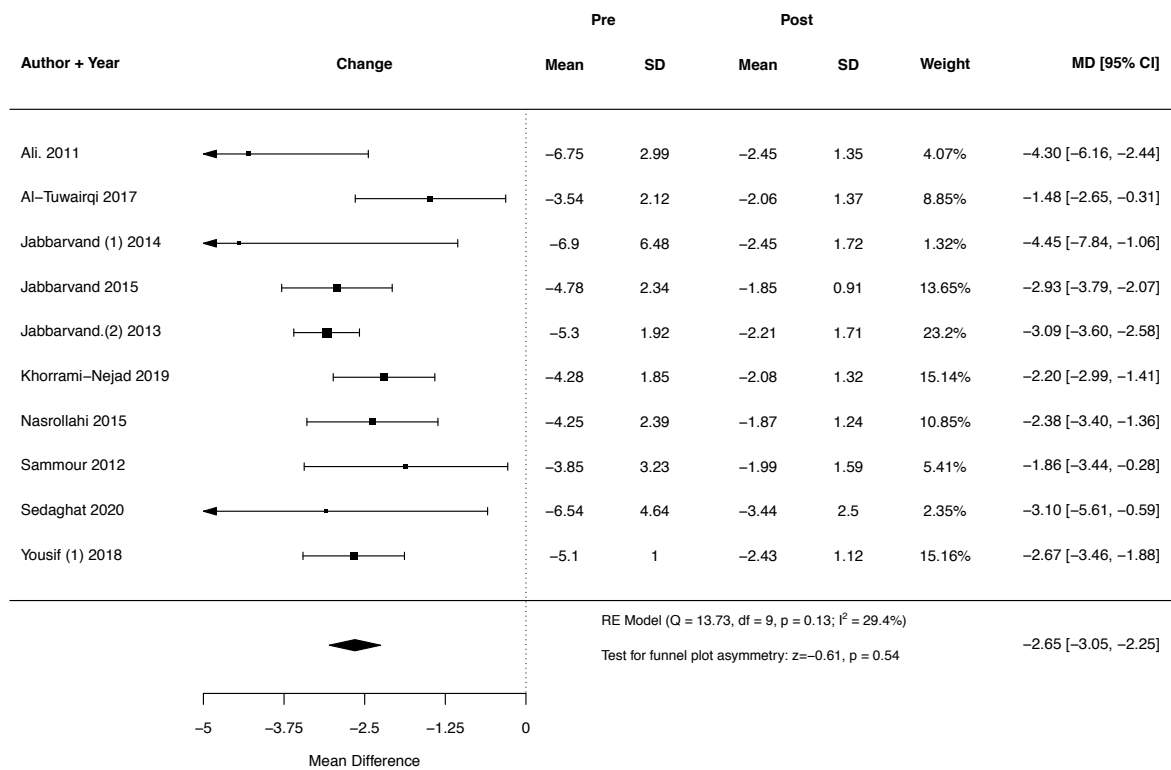


Abbildung 83: Weighted mean difference des Zylinders nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

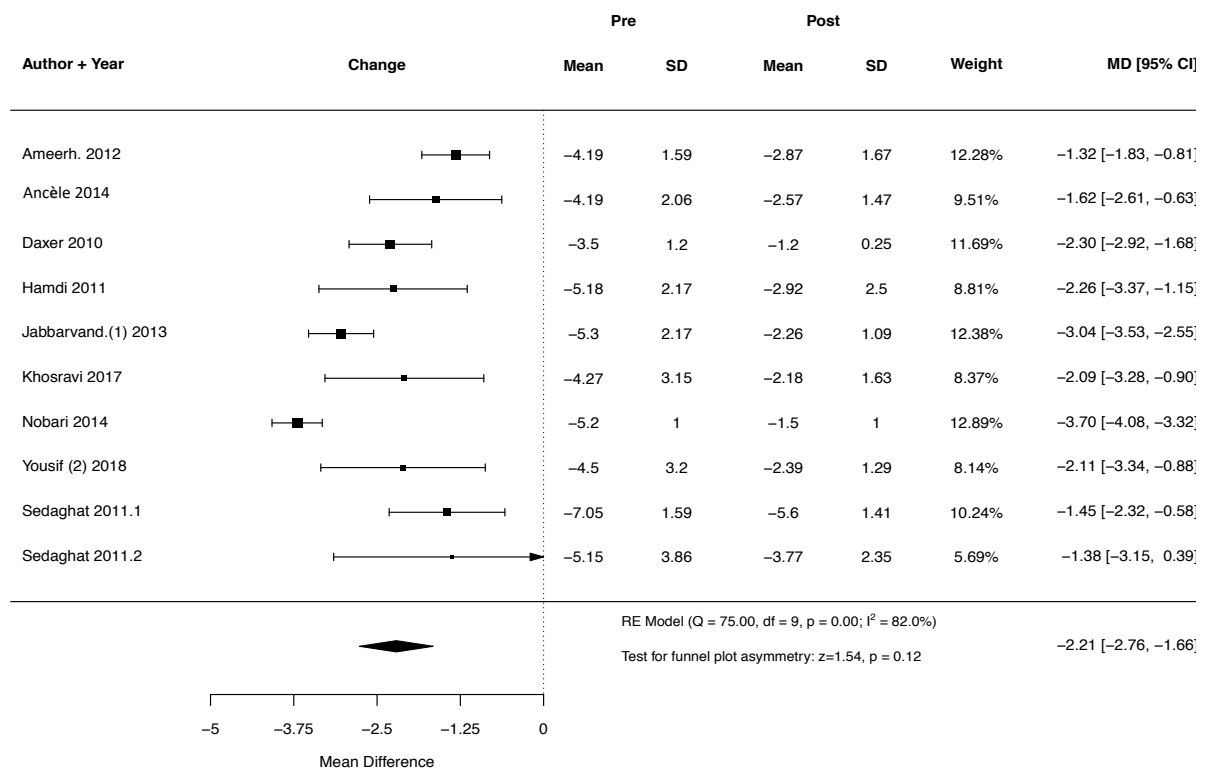


Abbildung 84: Weighted mean difference des Zylinders nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

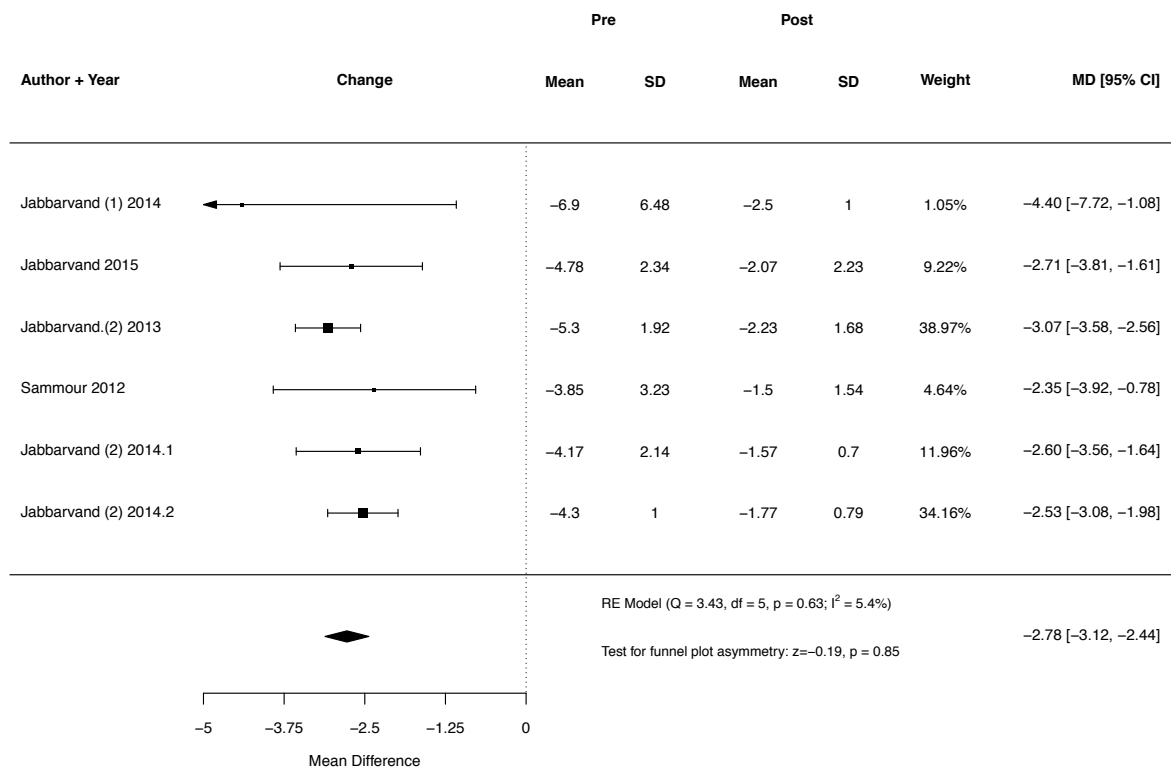


Abbildung 85: Weighted mean difference des Zylinders nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

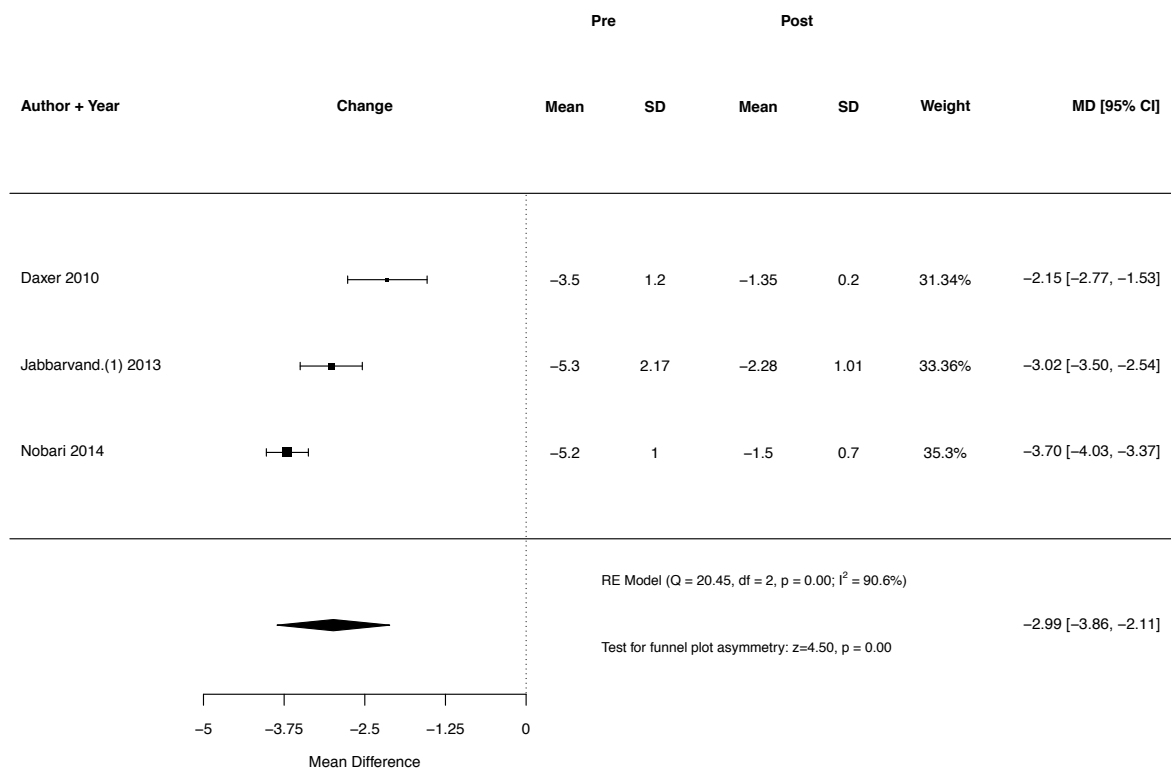


Abbildung 86: Weighted mean difference des Zylinders nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

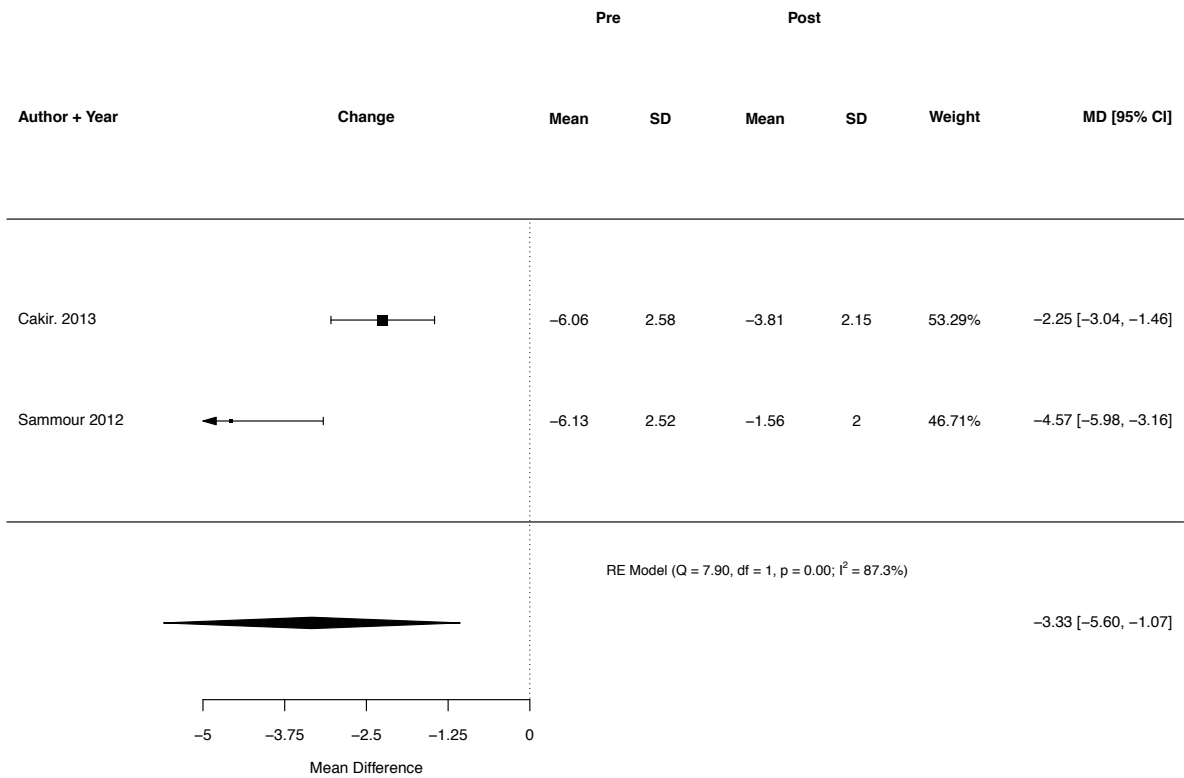


Abbildung 87: Weighted mean difference des Zylinders nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

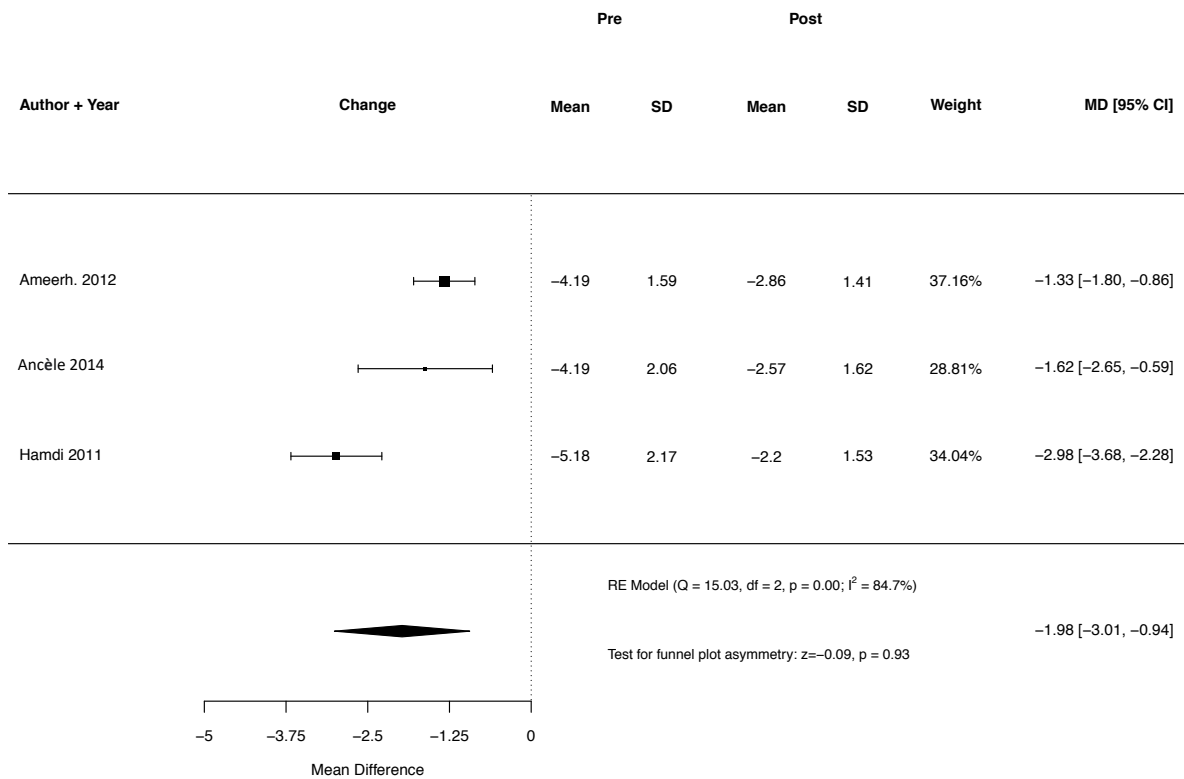


Abbildung 88: Weighted mean difference des Zylinders nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

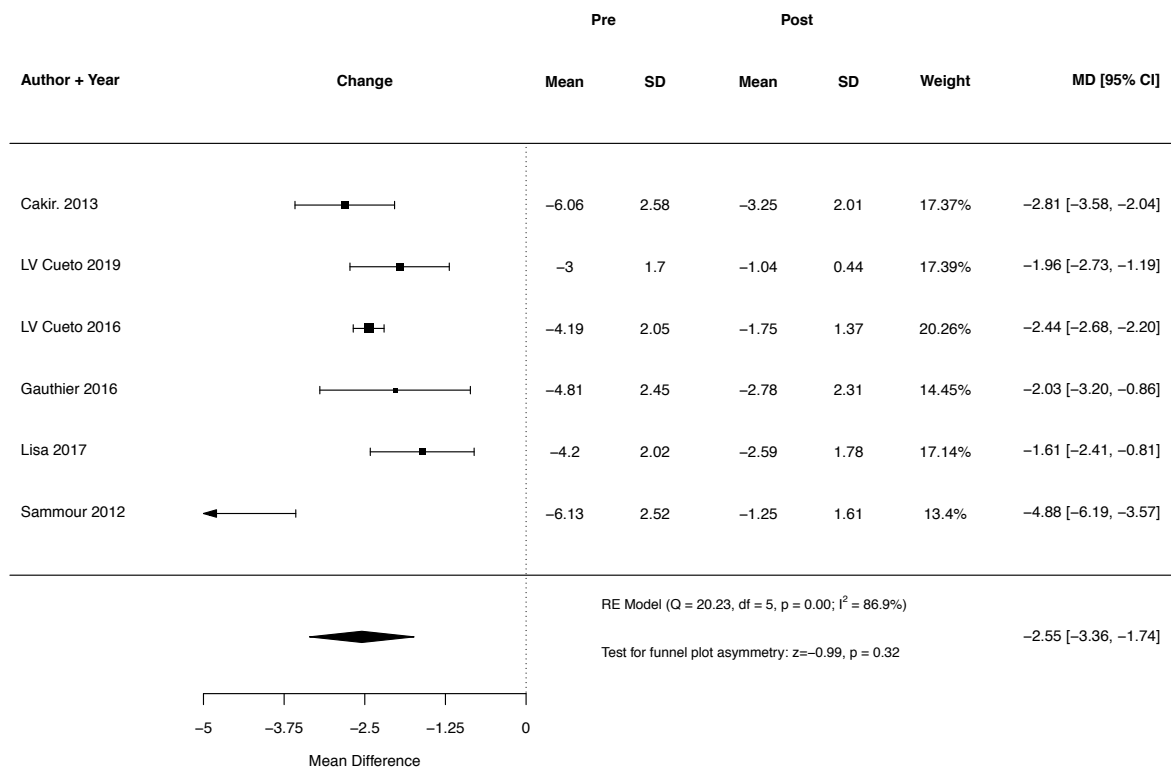


Abbildung 89: Weighted mean difference des Zylinders nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

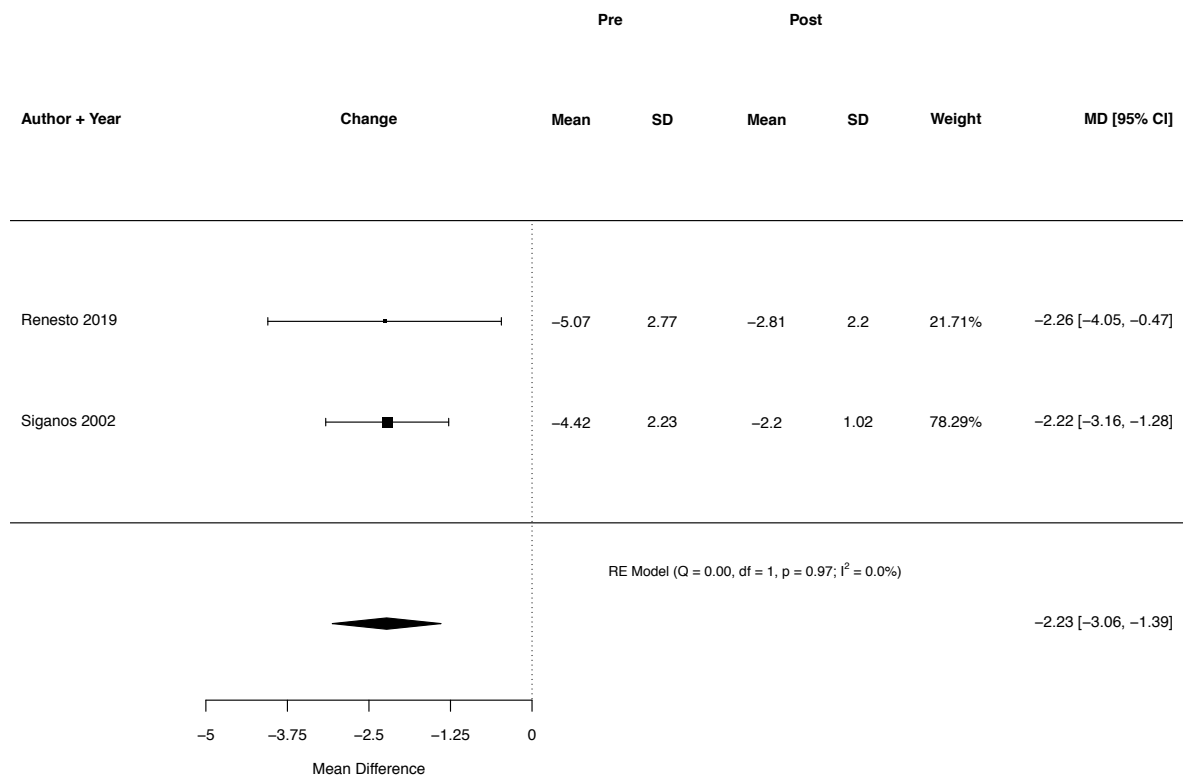


Abbildung 90: Weighted mean difference des Zylinders nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

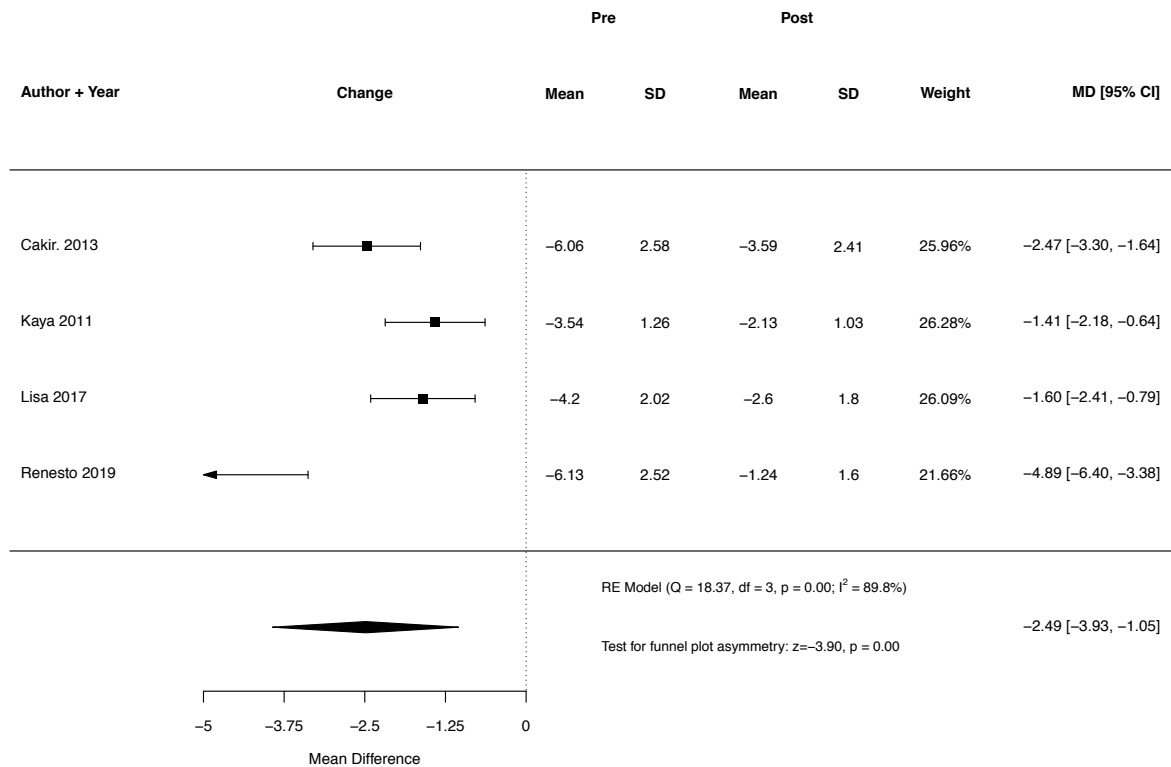


Abbildung 91: Weighted mean difference des Zylinders nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

11.3.3 Forest Plots zur Veränderung des SE

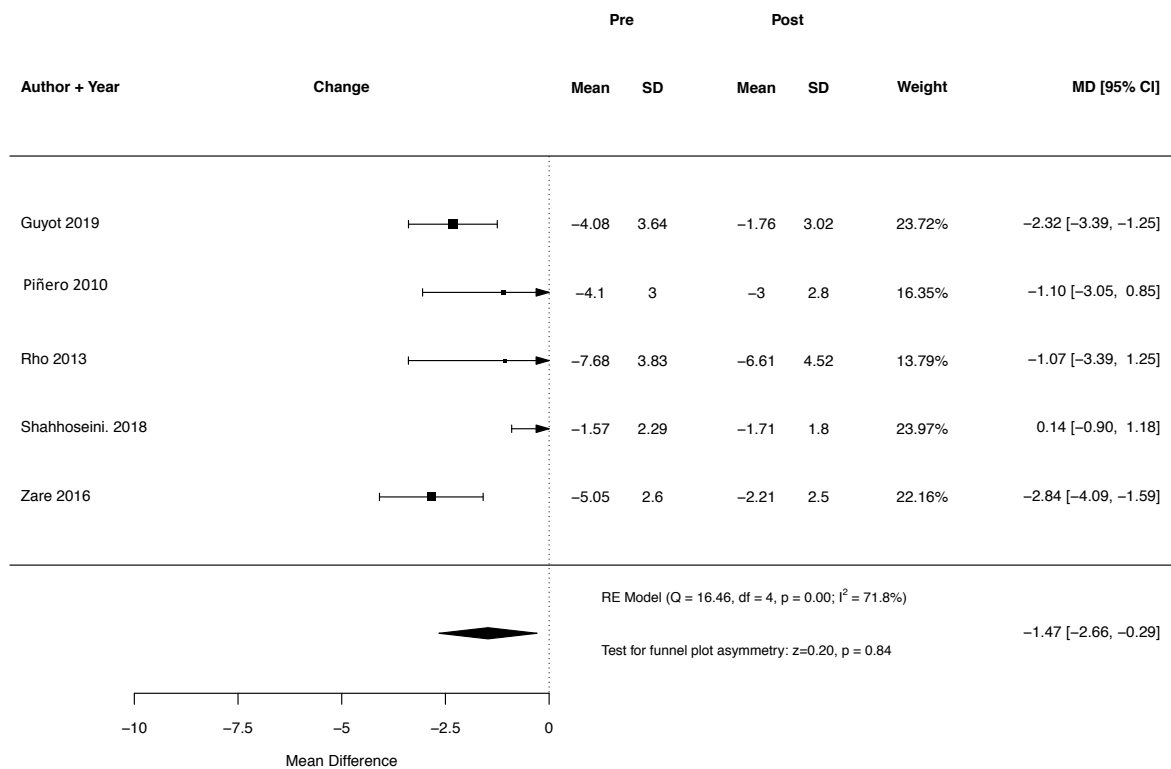


Abbildung 92: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalent nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

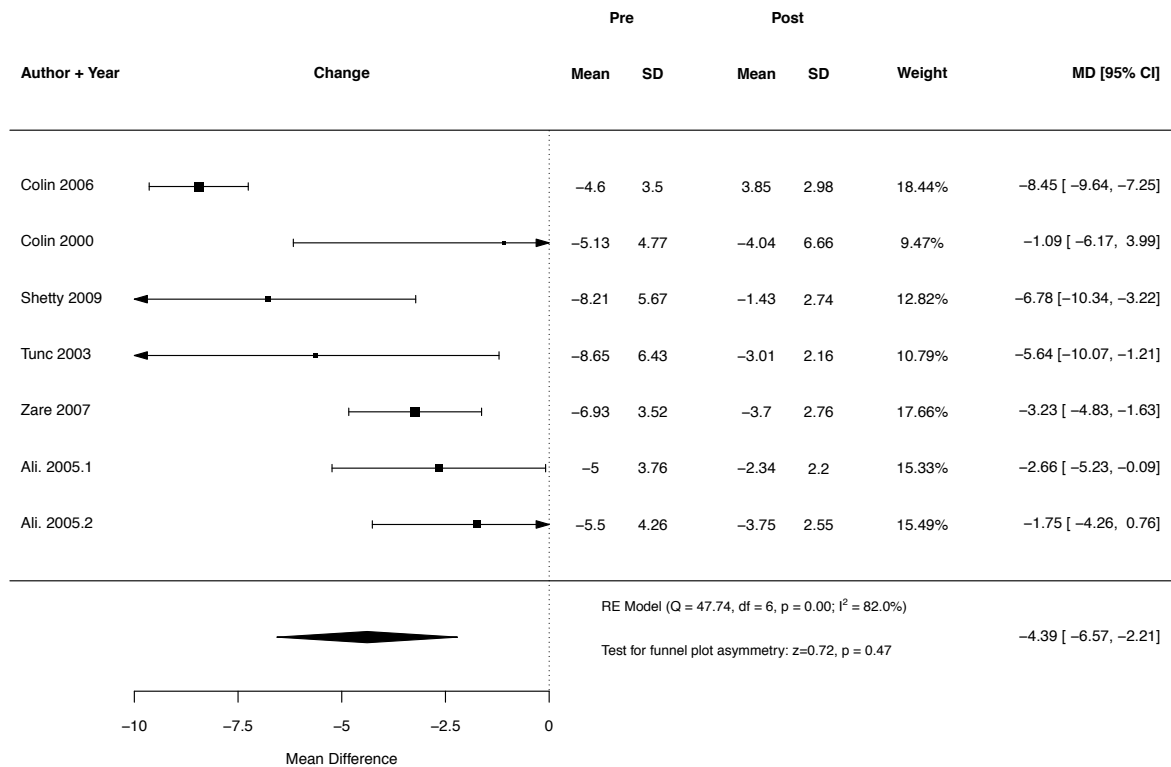


Abbildung 93: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

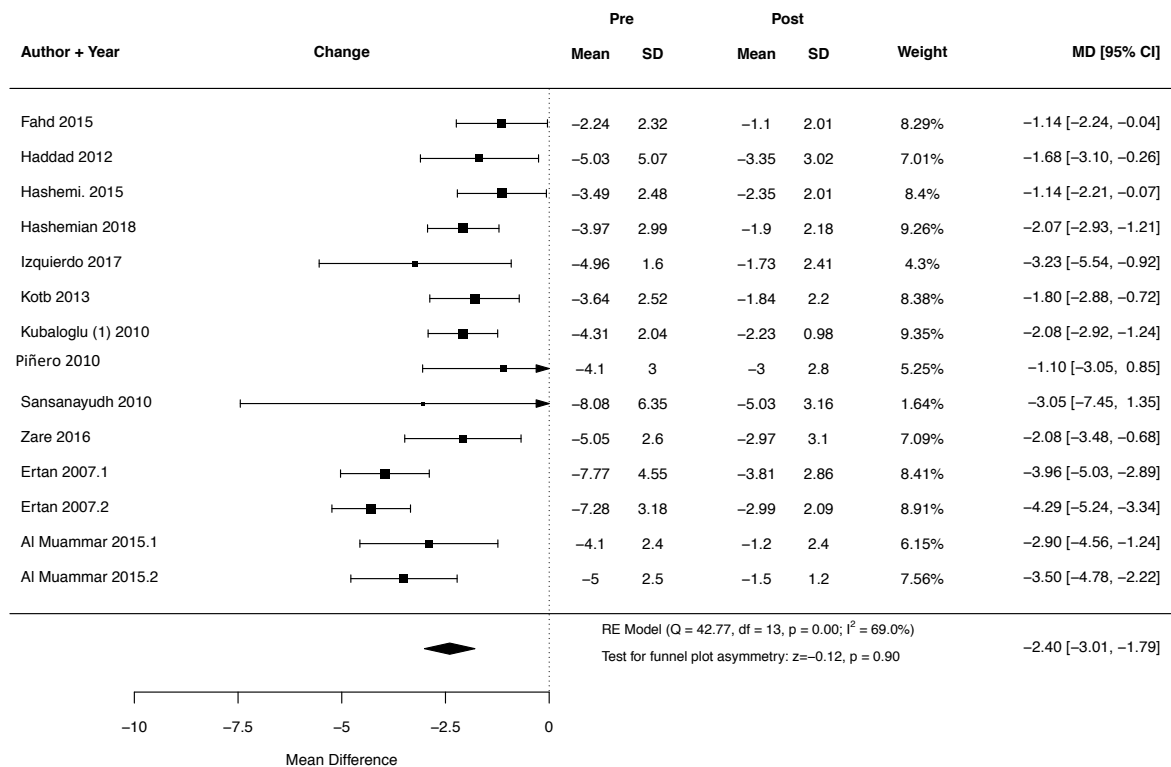


Abbildung 94: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

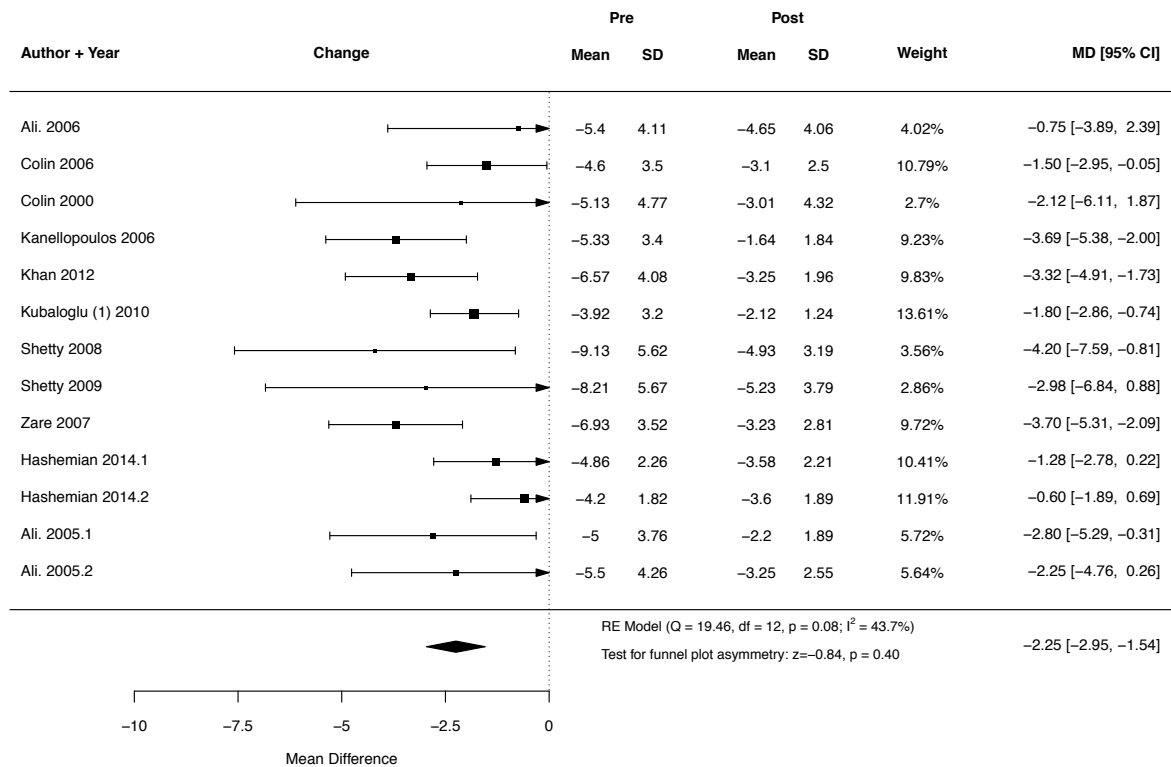


Abbildung 95: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

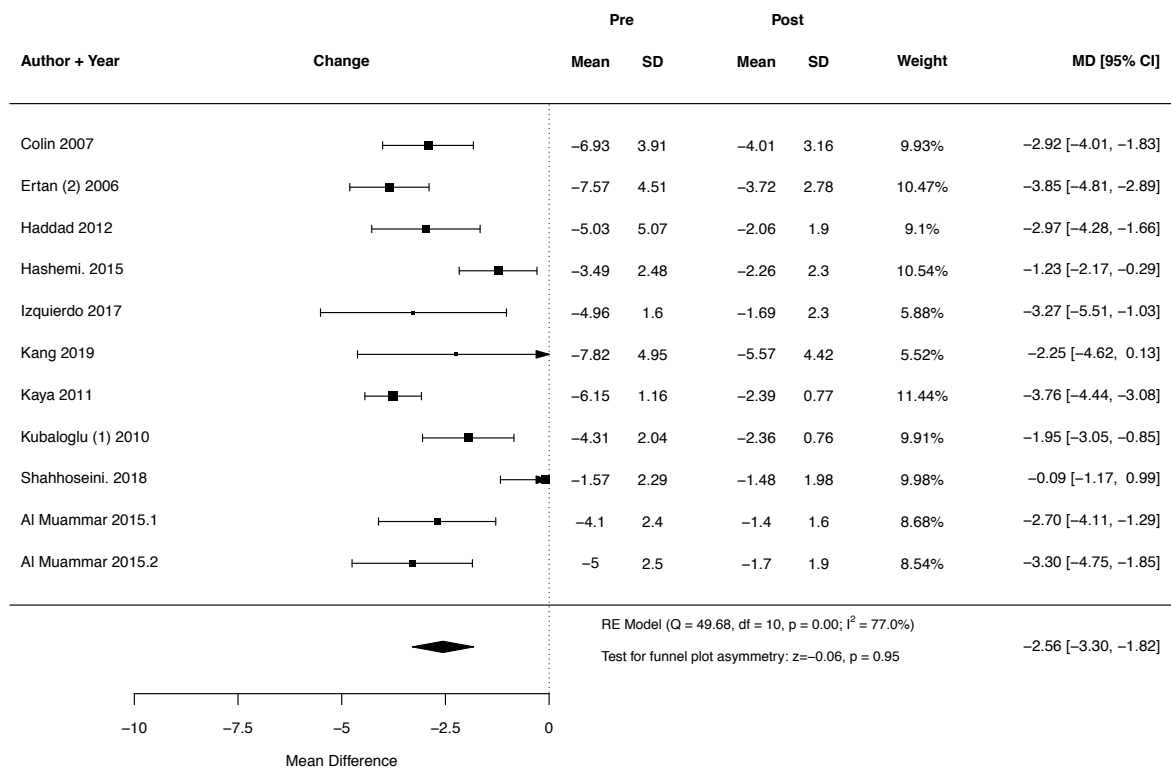


Abbildung 96: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

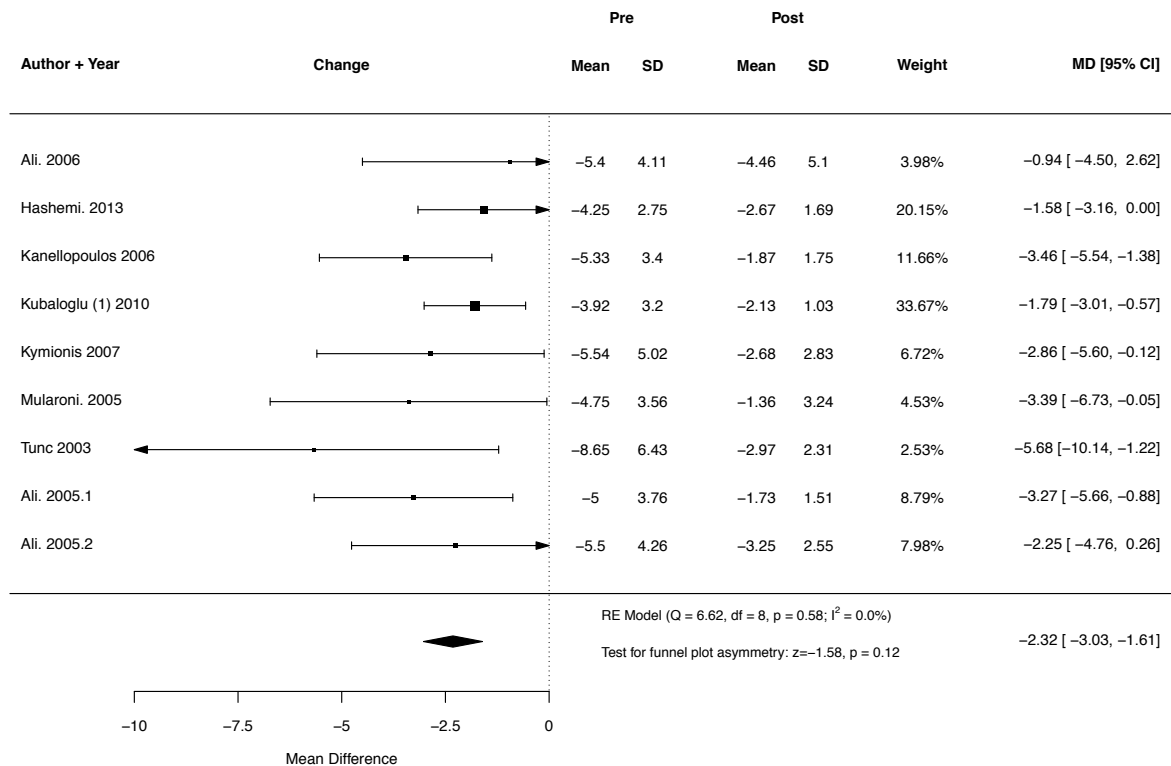


Abbildung 97: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

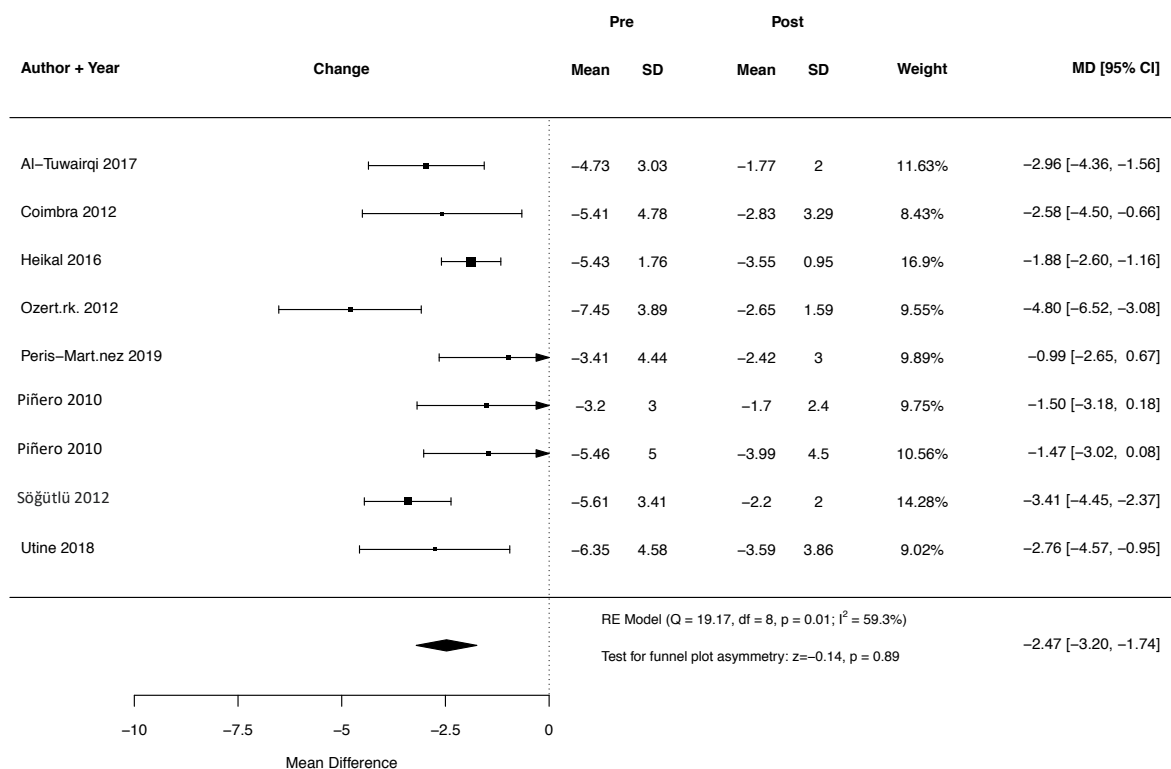


Abbildung 98: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

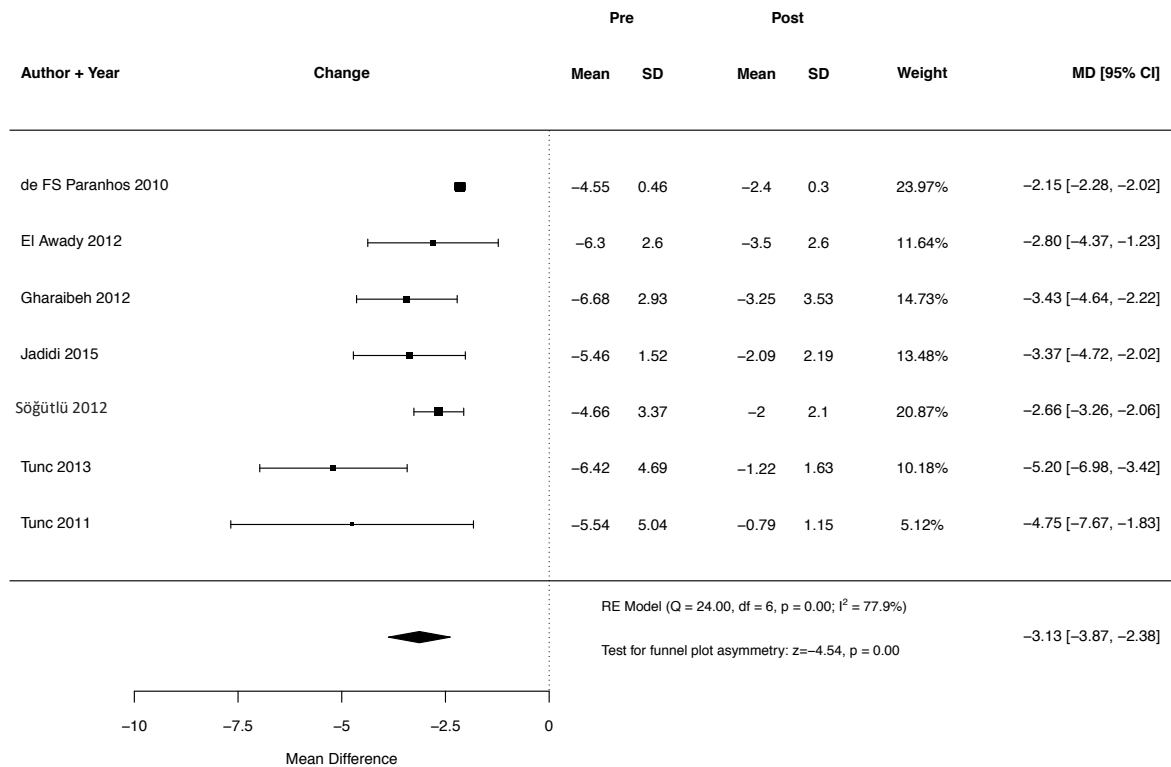


Abbildung 99: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

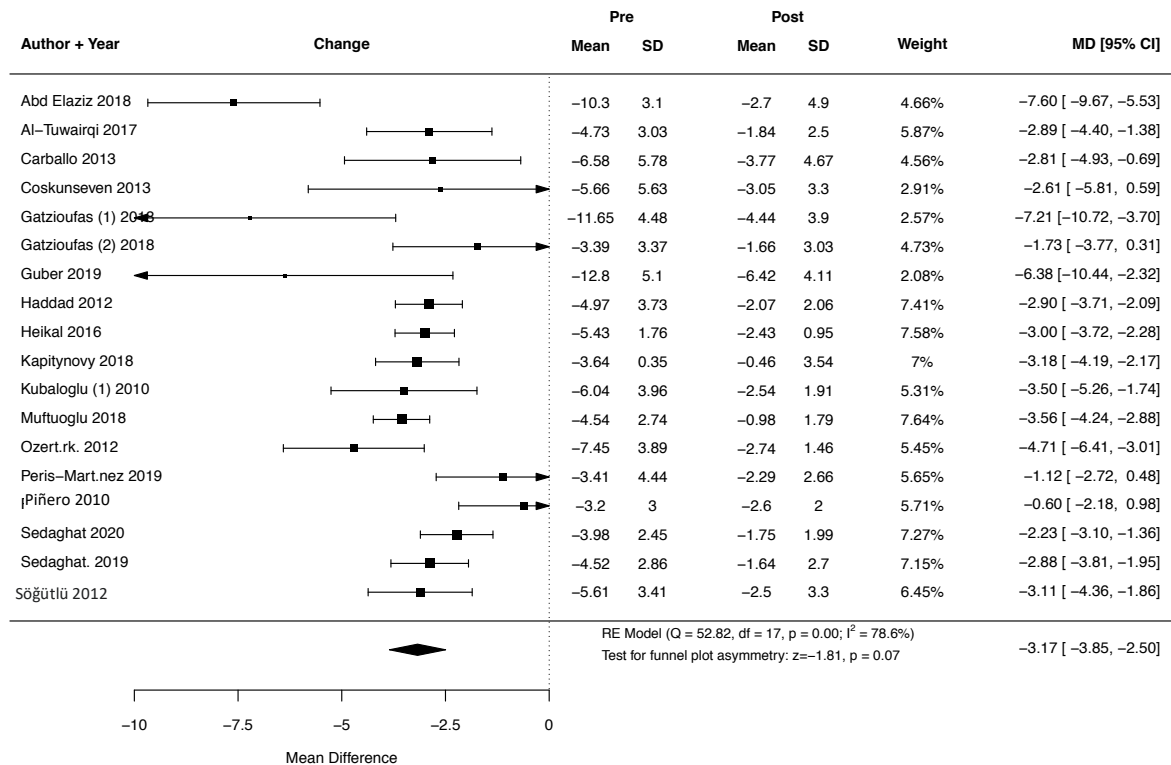


Abbildung 100: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

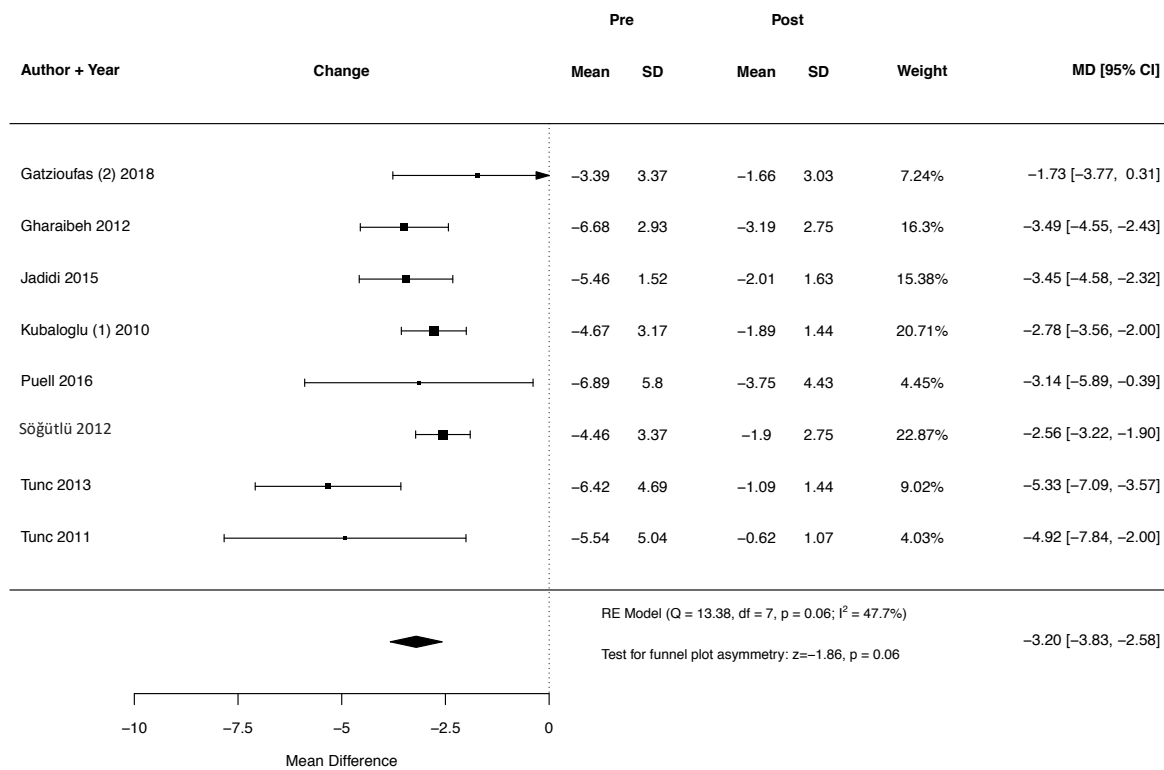


Abbildung 101: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

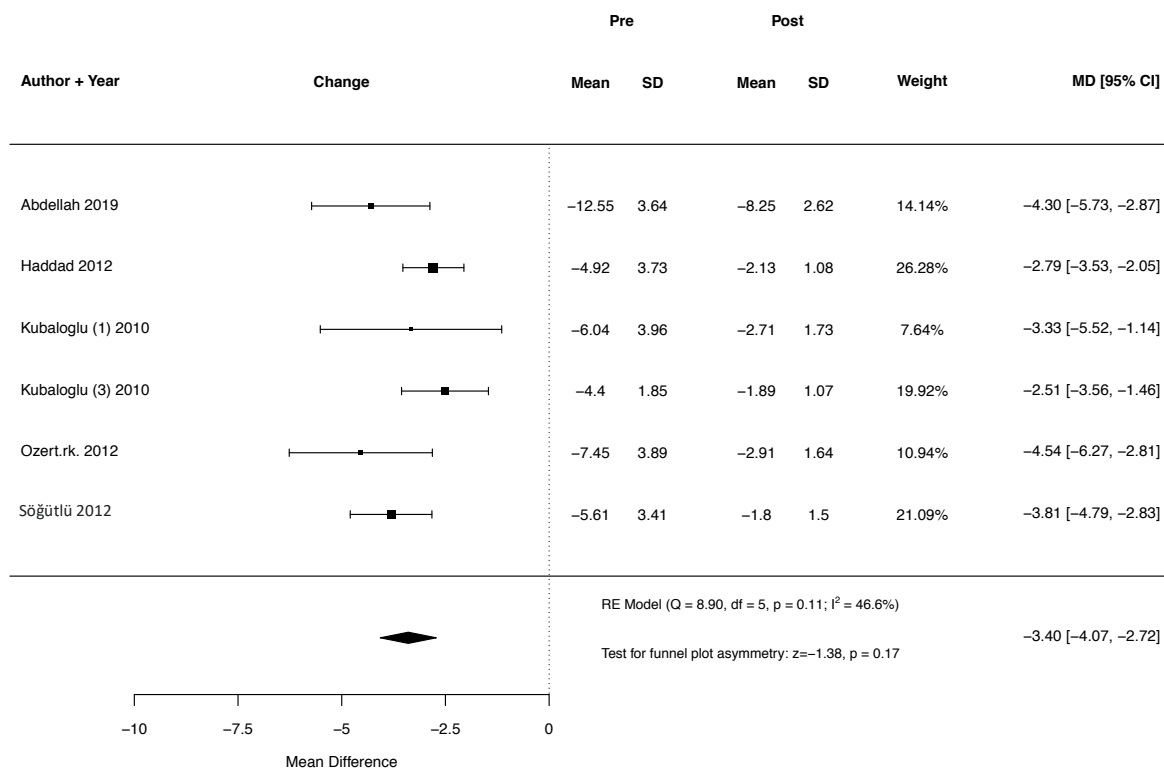


Abbildung 102: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

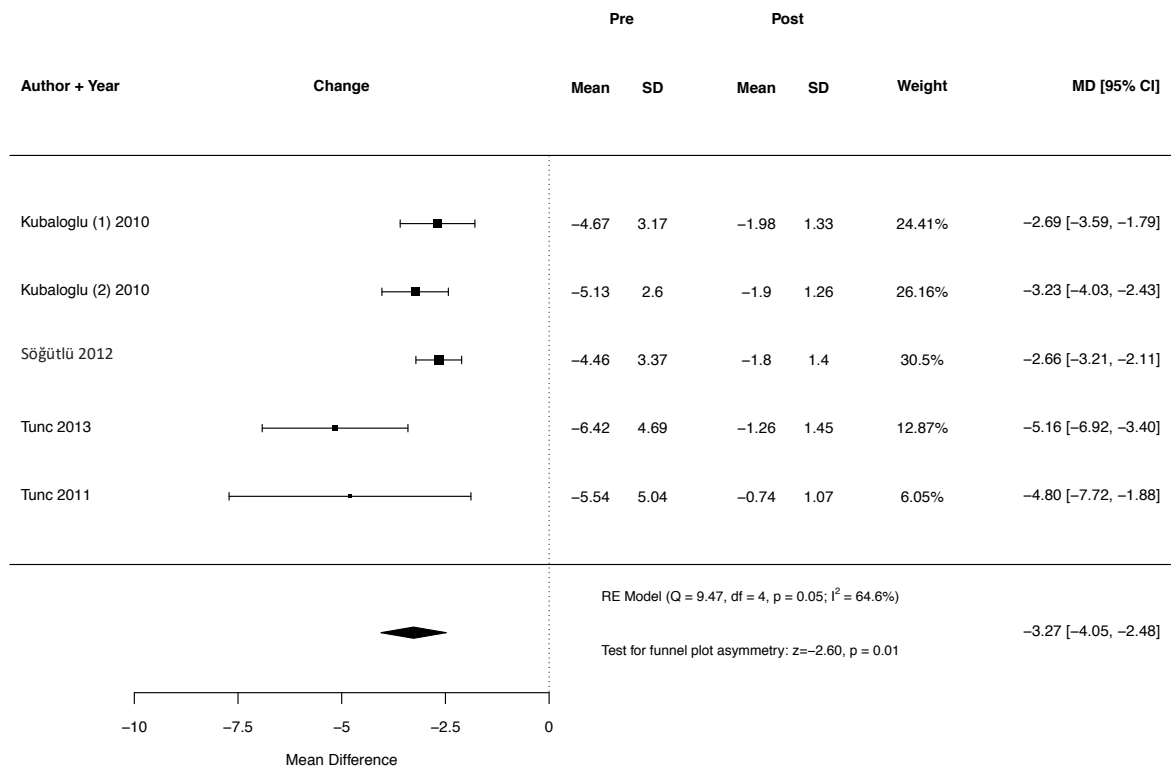


Abbildung 103: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

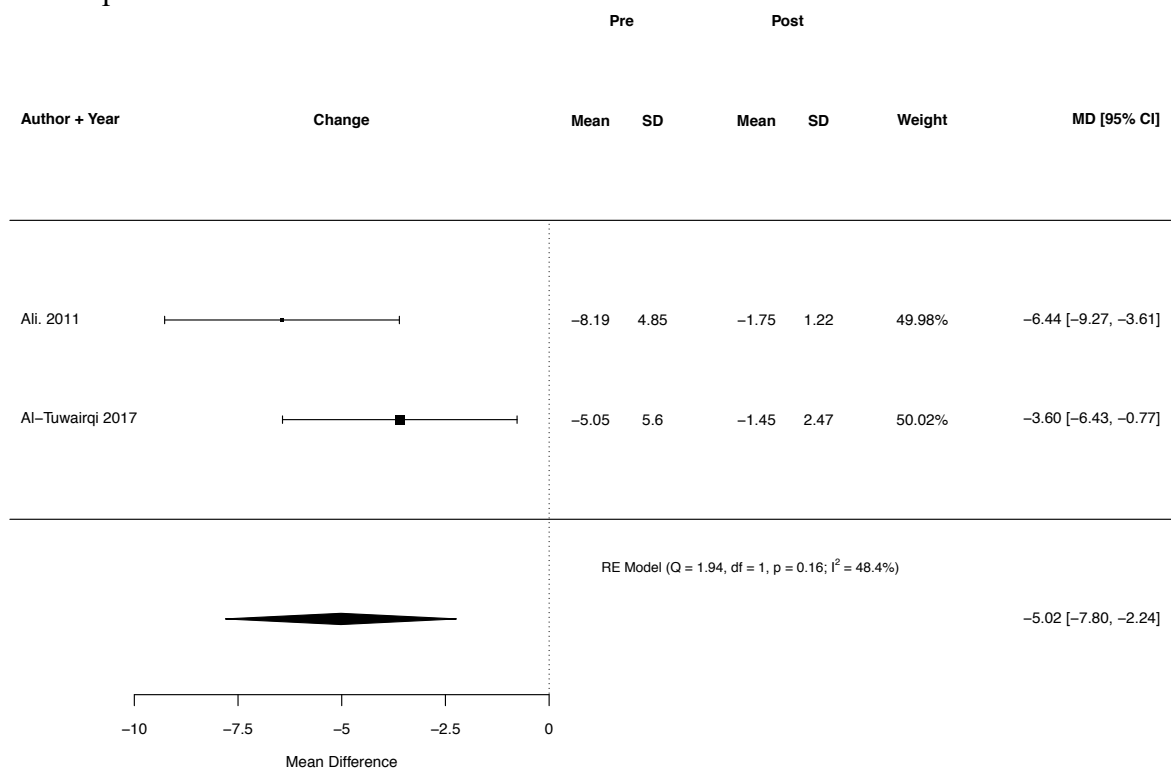


Abbildung 104: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

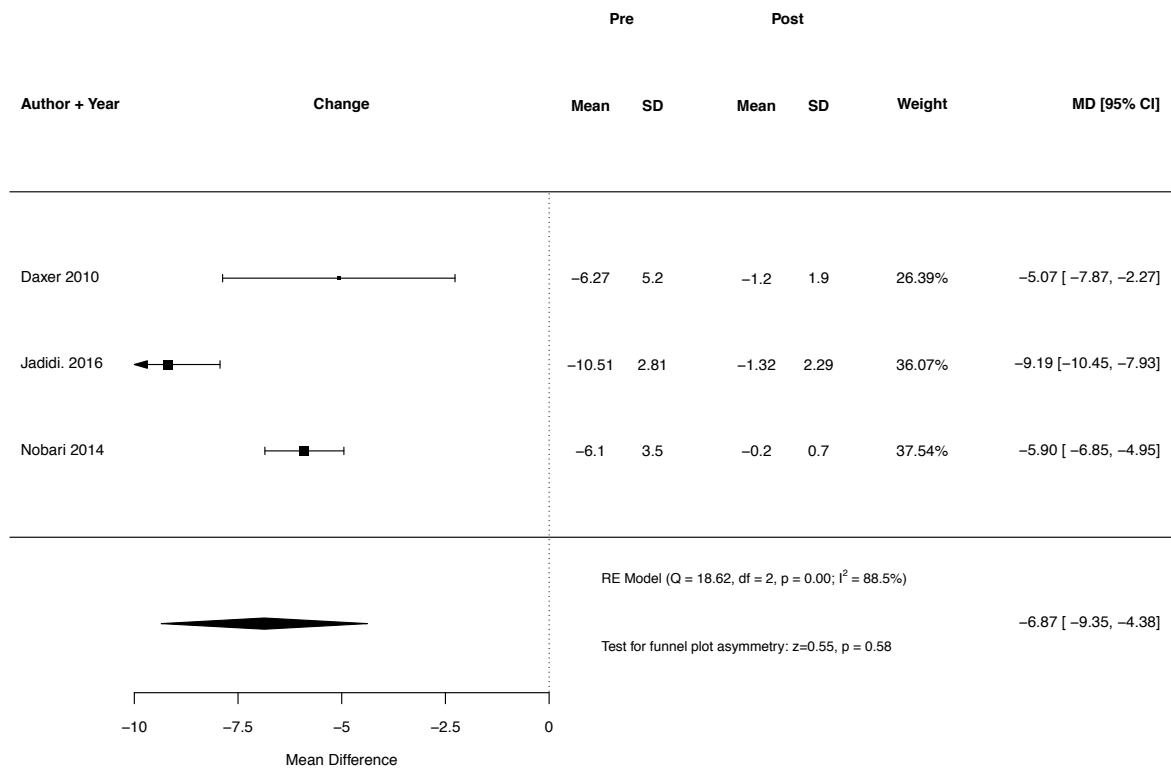


Abbildung 105: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

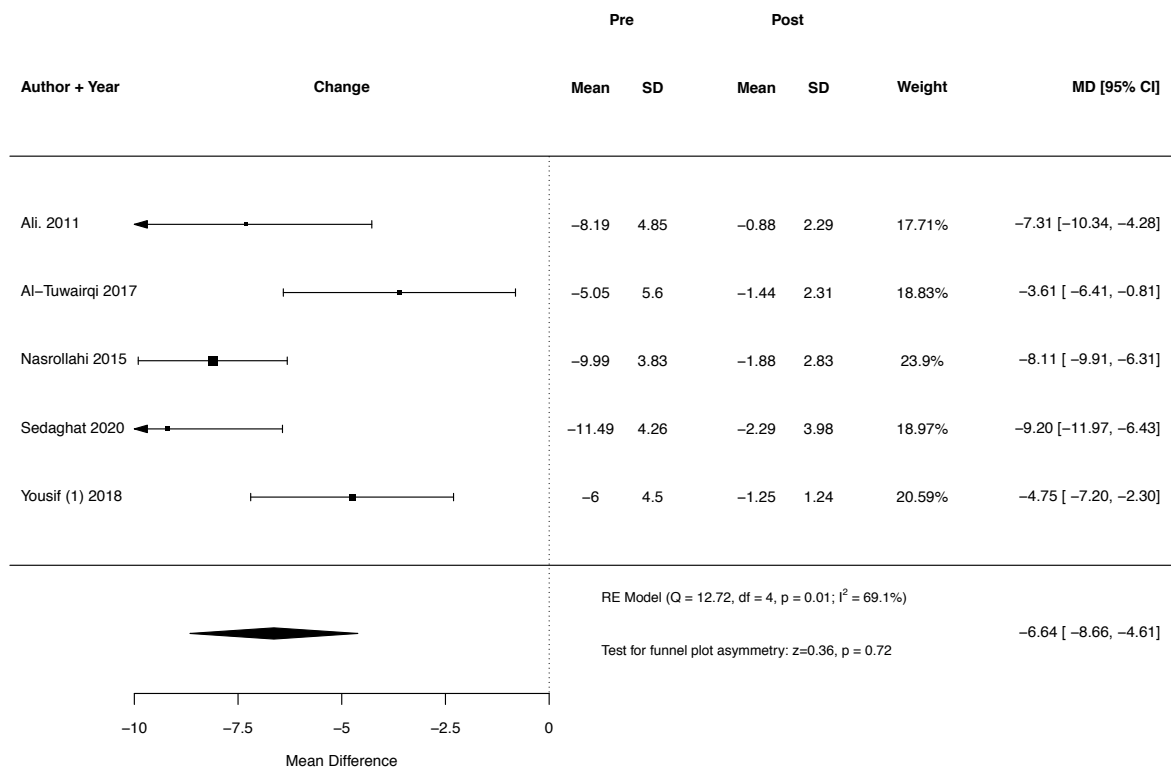


Abbildung 106: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

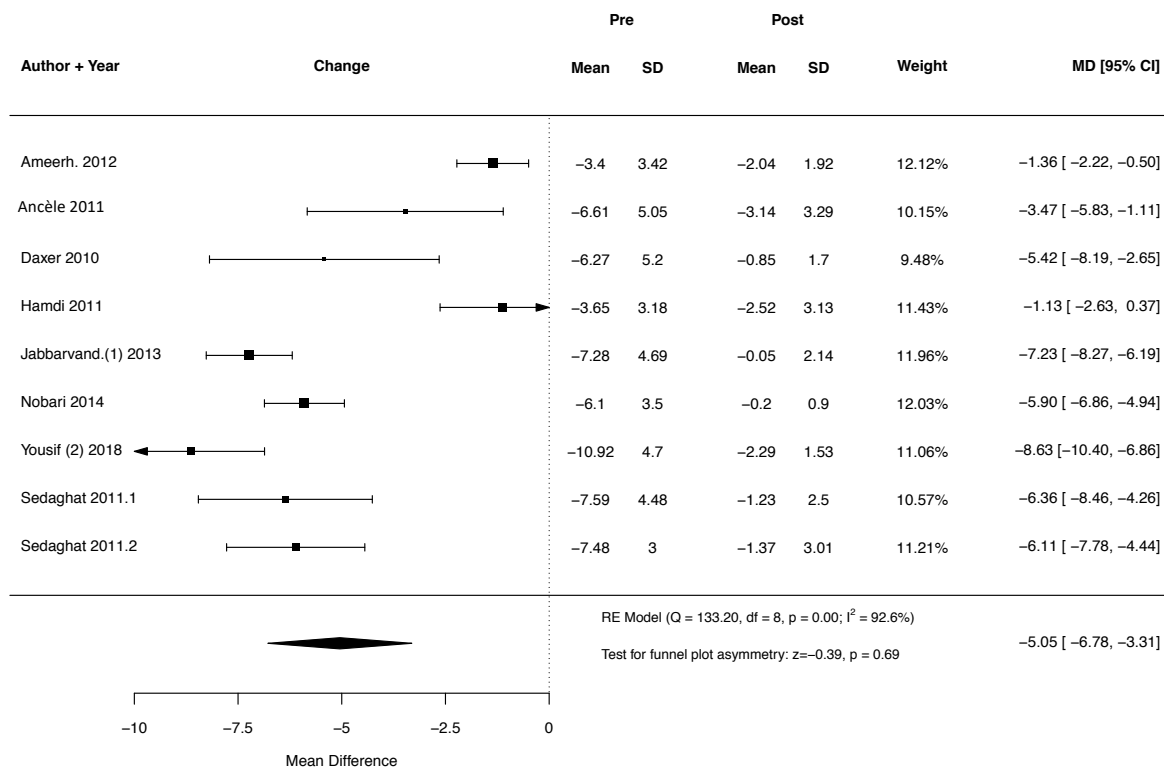


Abbildung 107: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

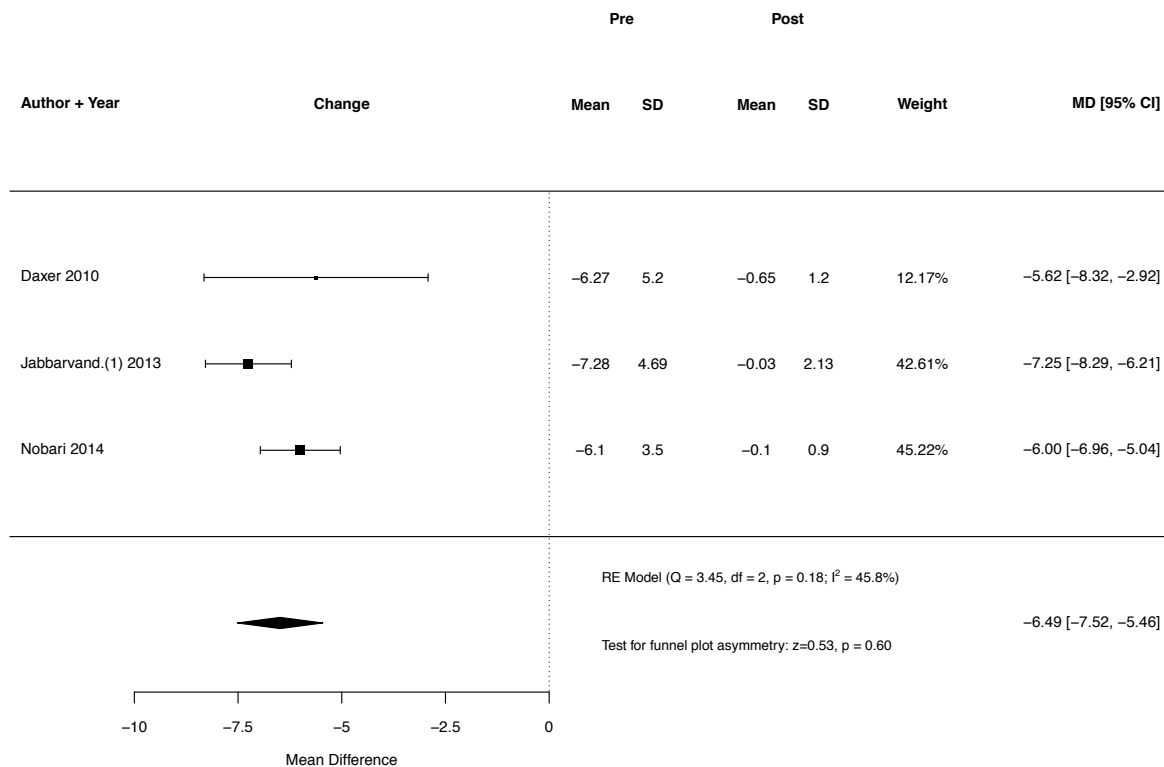


Abbildung 108: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

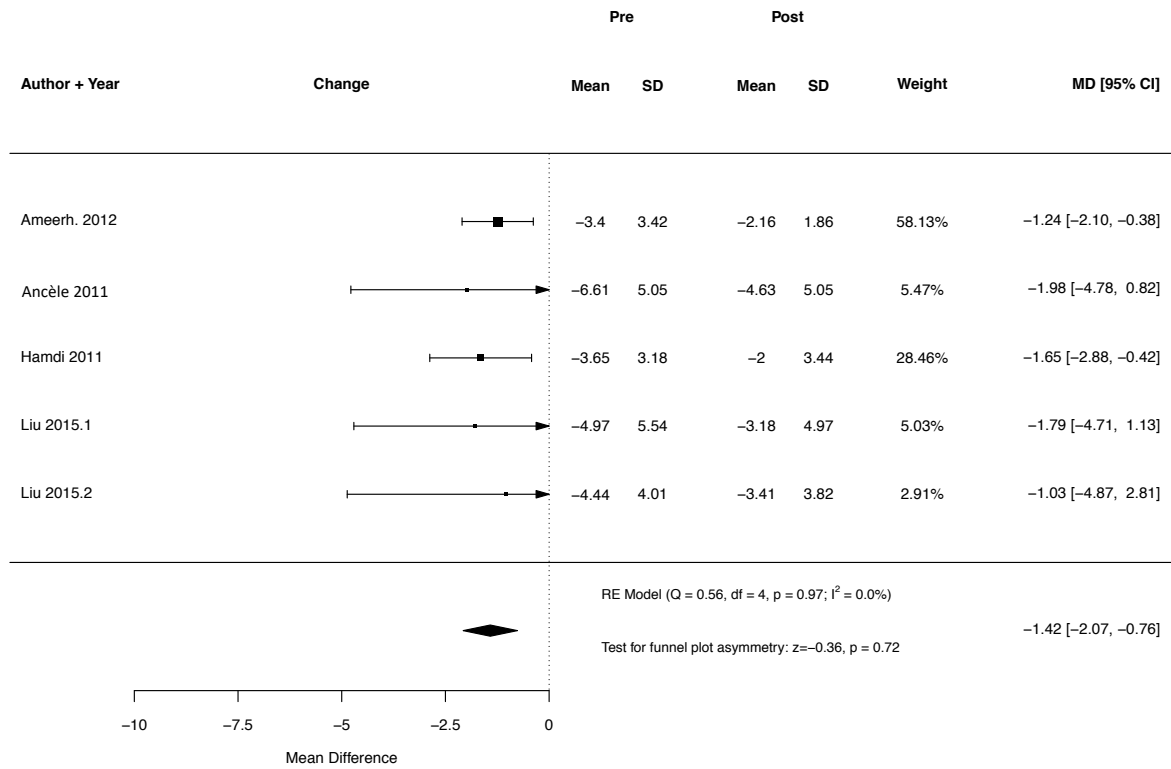


Abbildung 109: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

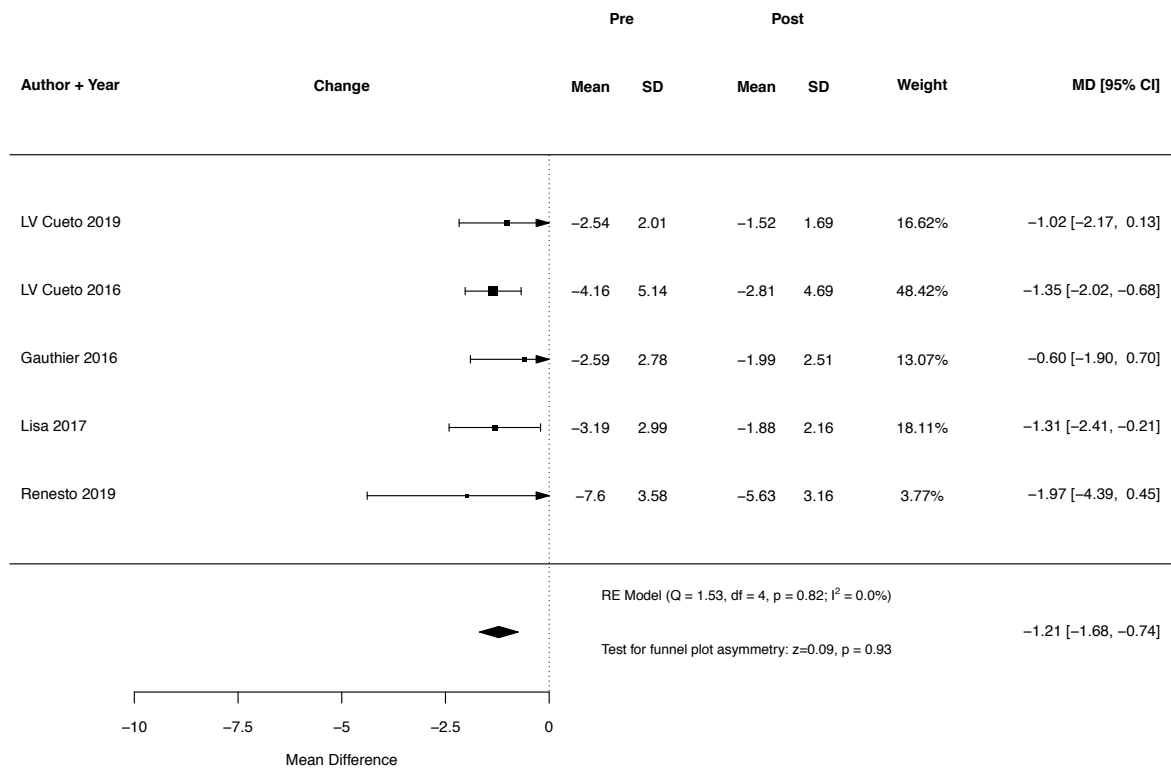


Abbildung 110: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

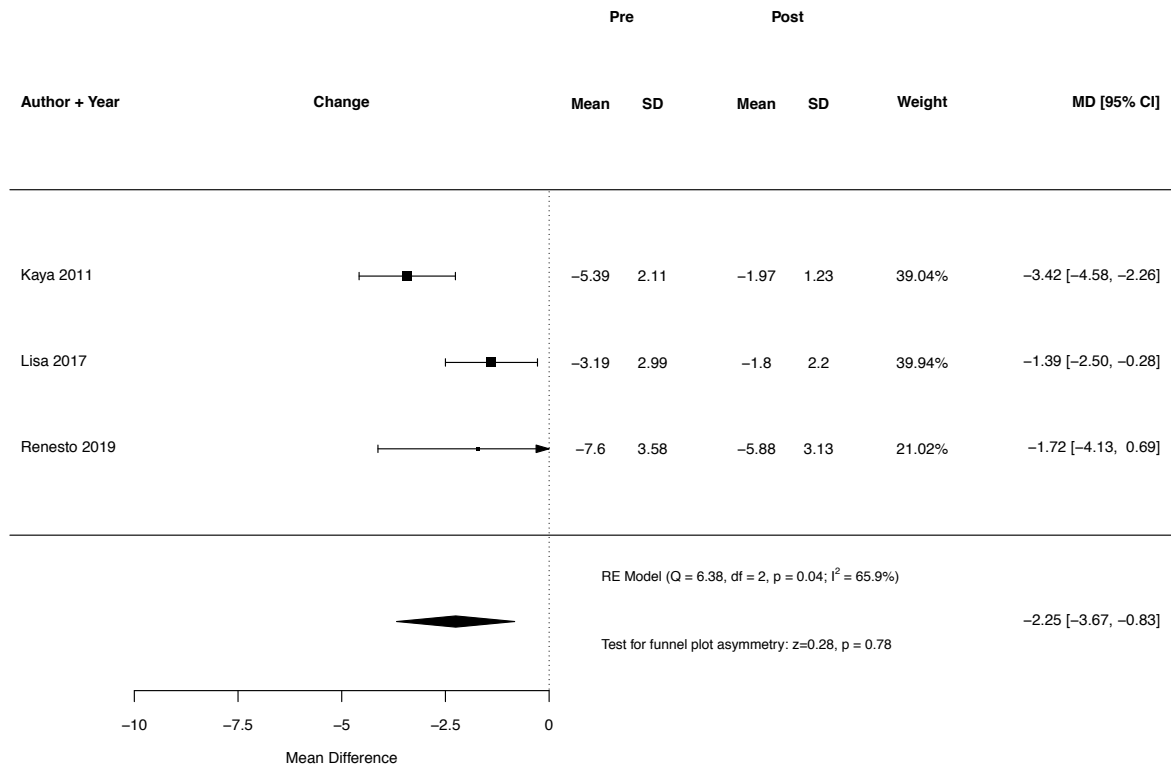


Abbildung 11: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

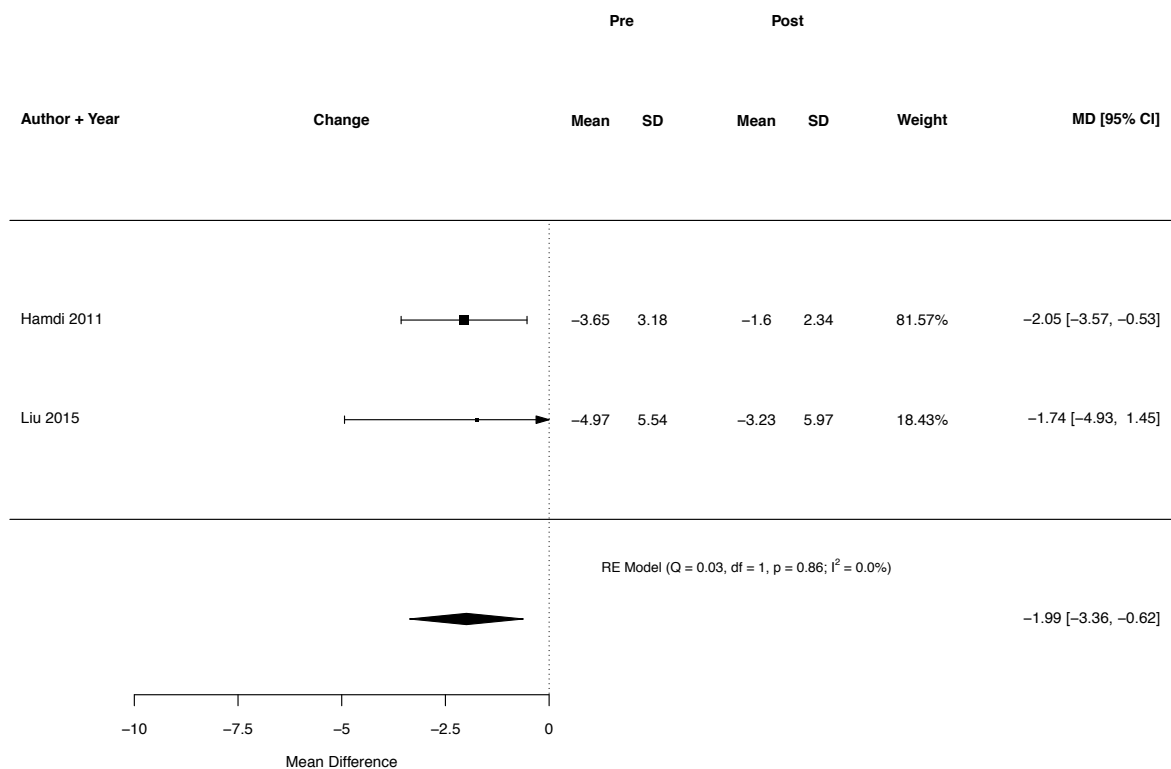


Abbildung 12: Weighted mean difference des Sphärisches Äquivalents nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

11.4 Forest Plots zur Veränderung der Keratometrie

11.4.1 Forest Plots zur Veränderung des steilen Keratometriewertes

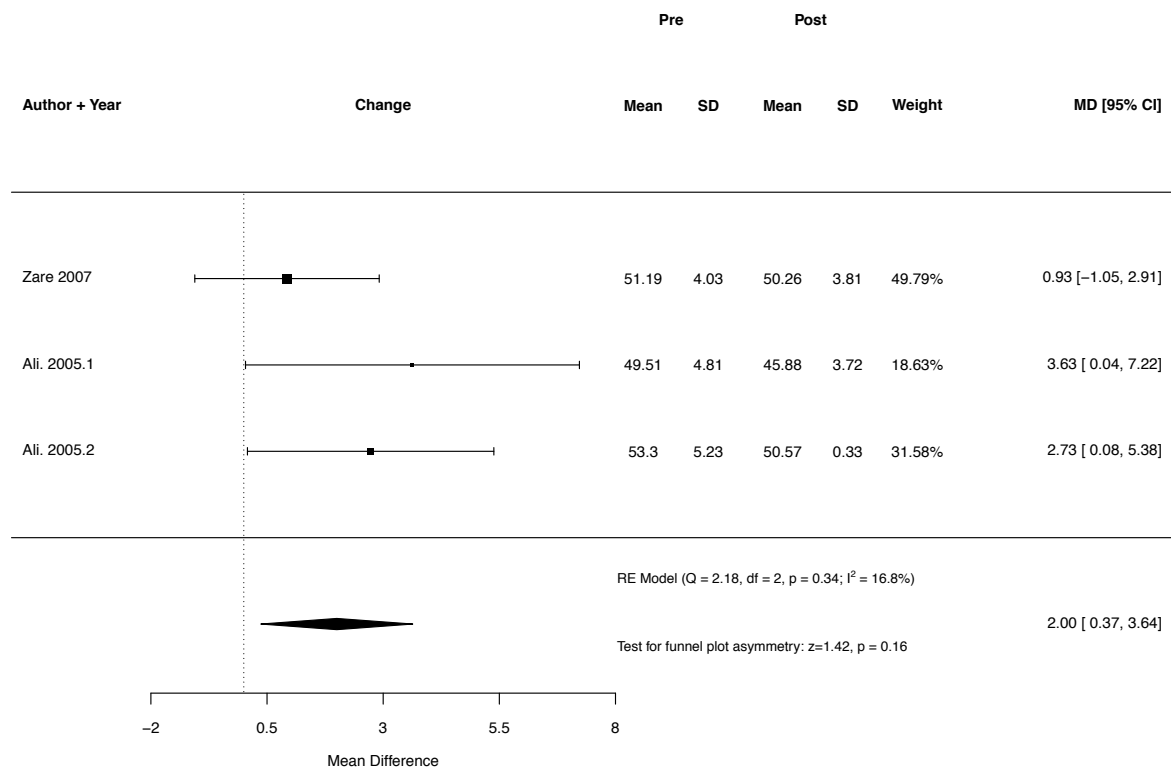


Abbildung 113: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

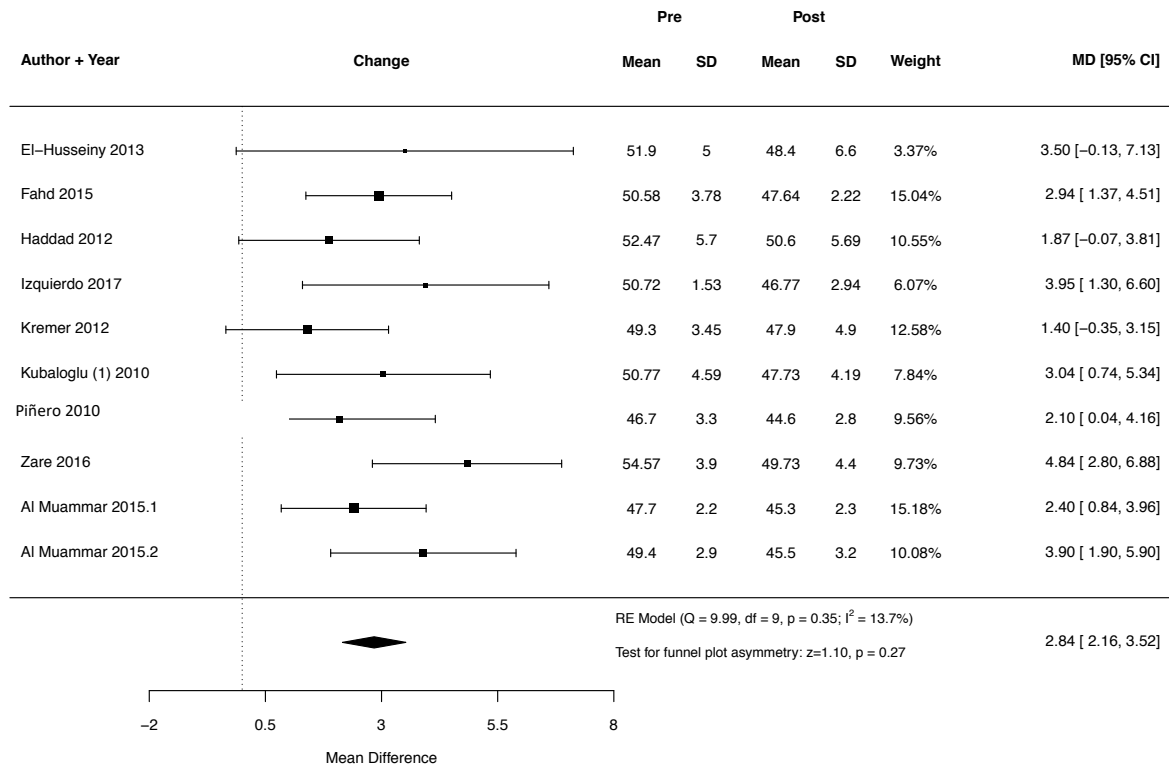


Abbildung 114: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

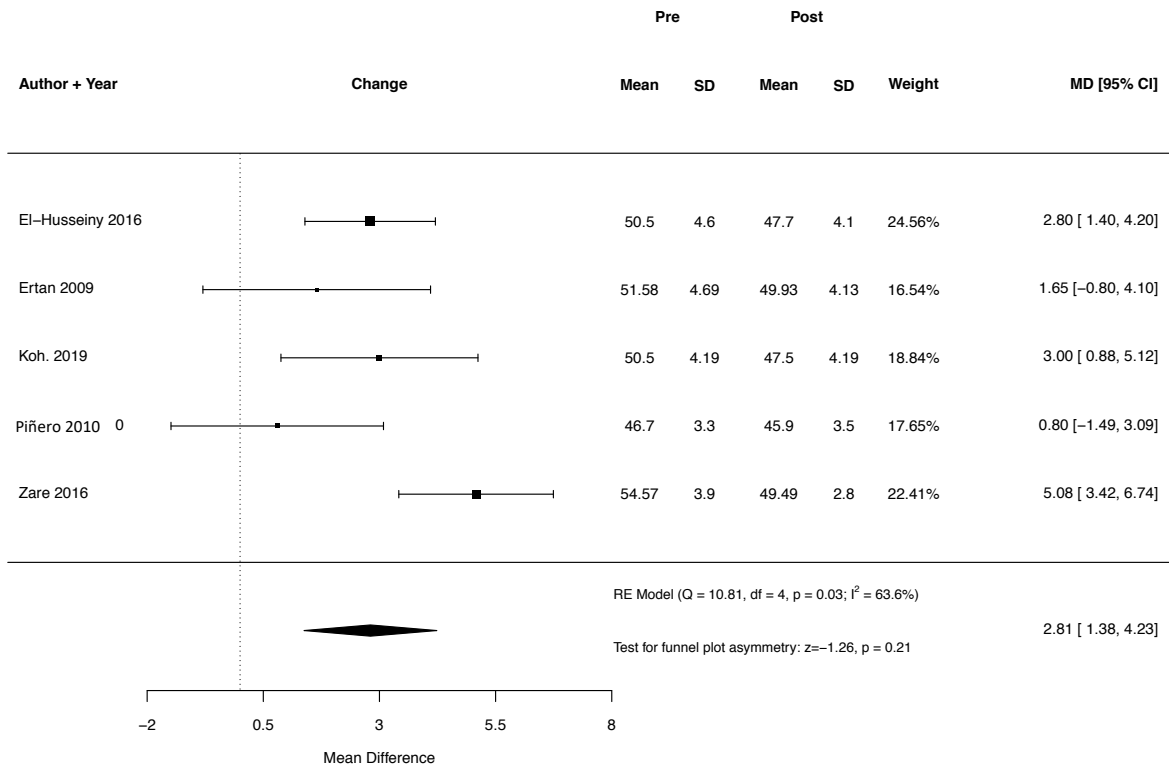


Abbildung 115: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

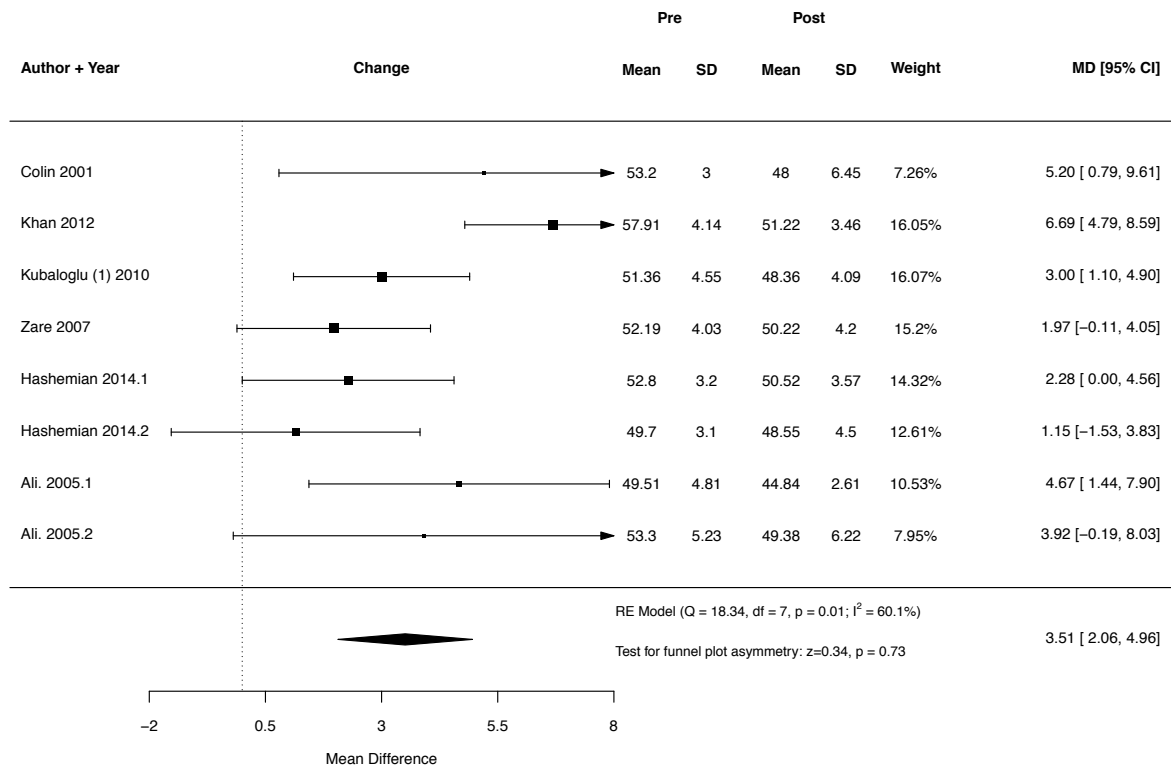


Abbildung 116: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK -Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

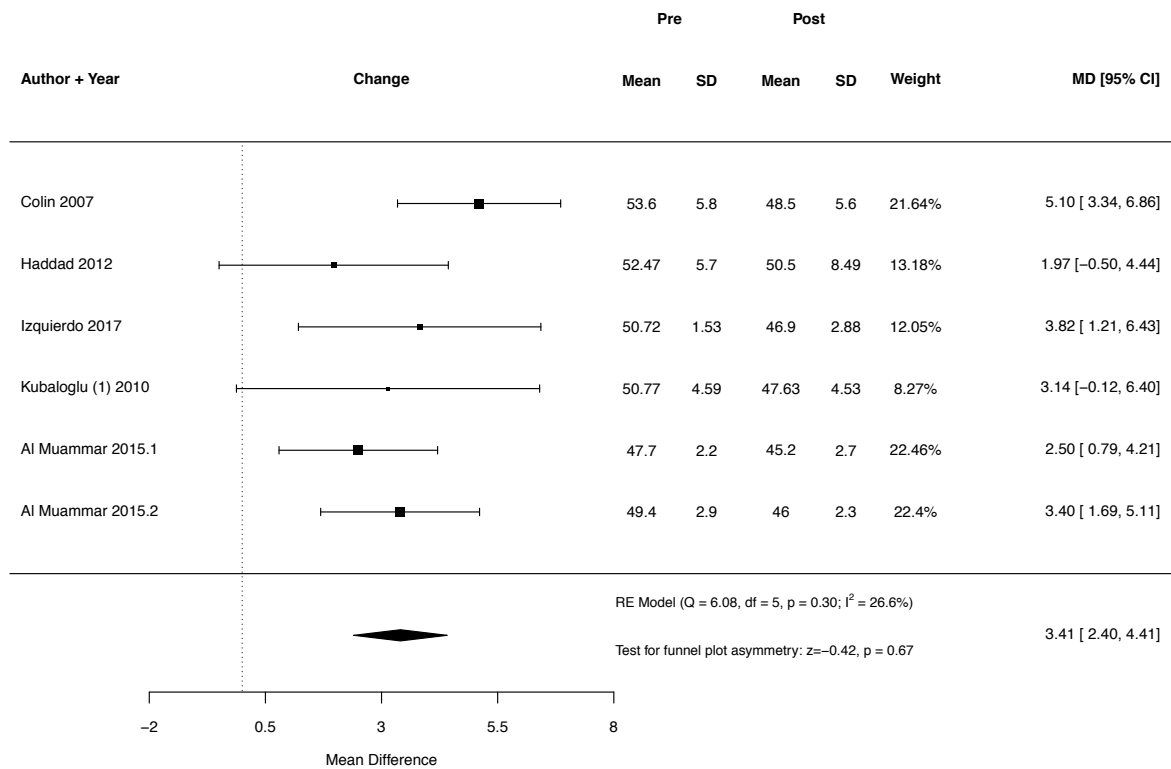


Abbildung 117: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

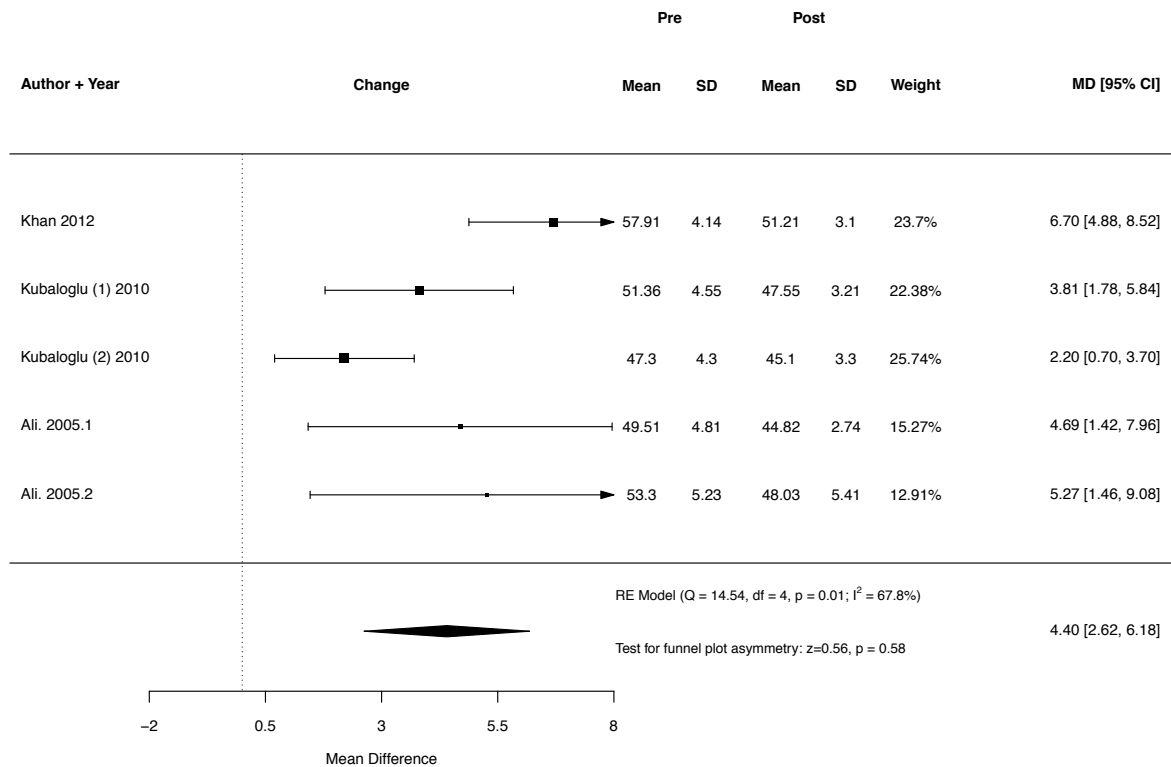


Abbildung 118: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

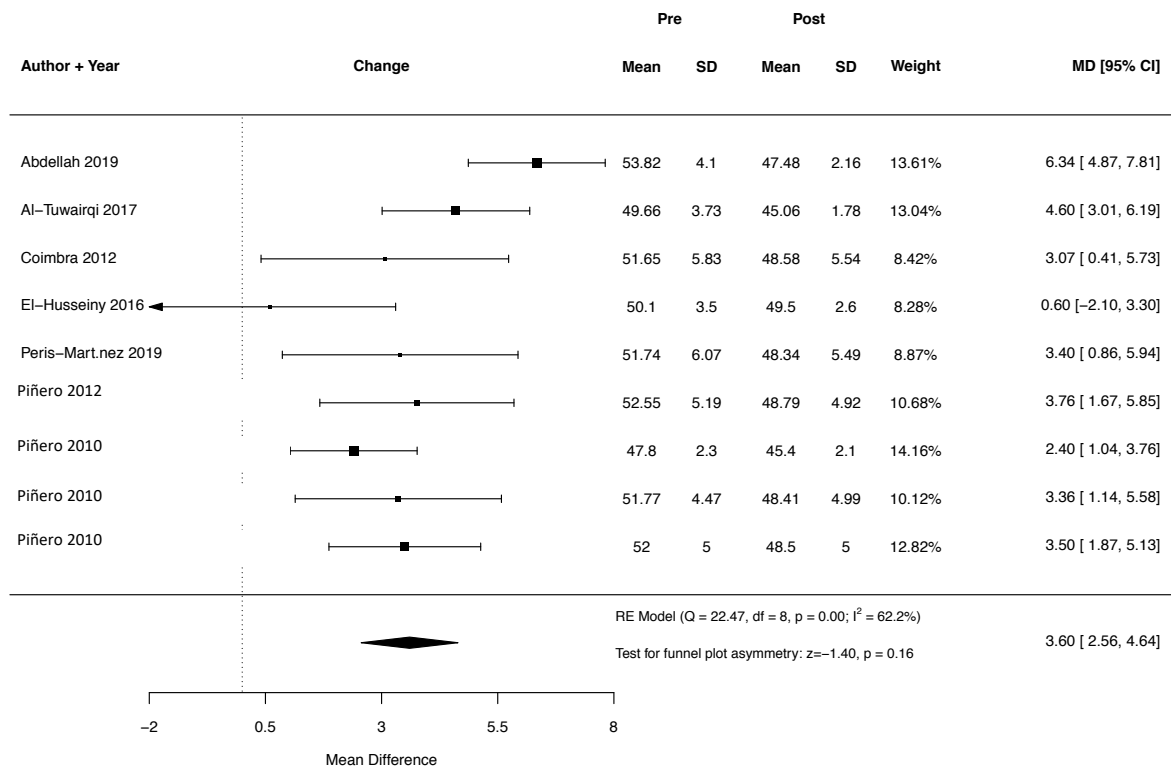


Abbildung 119: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

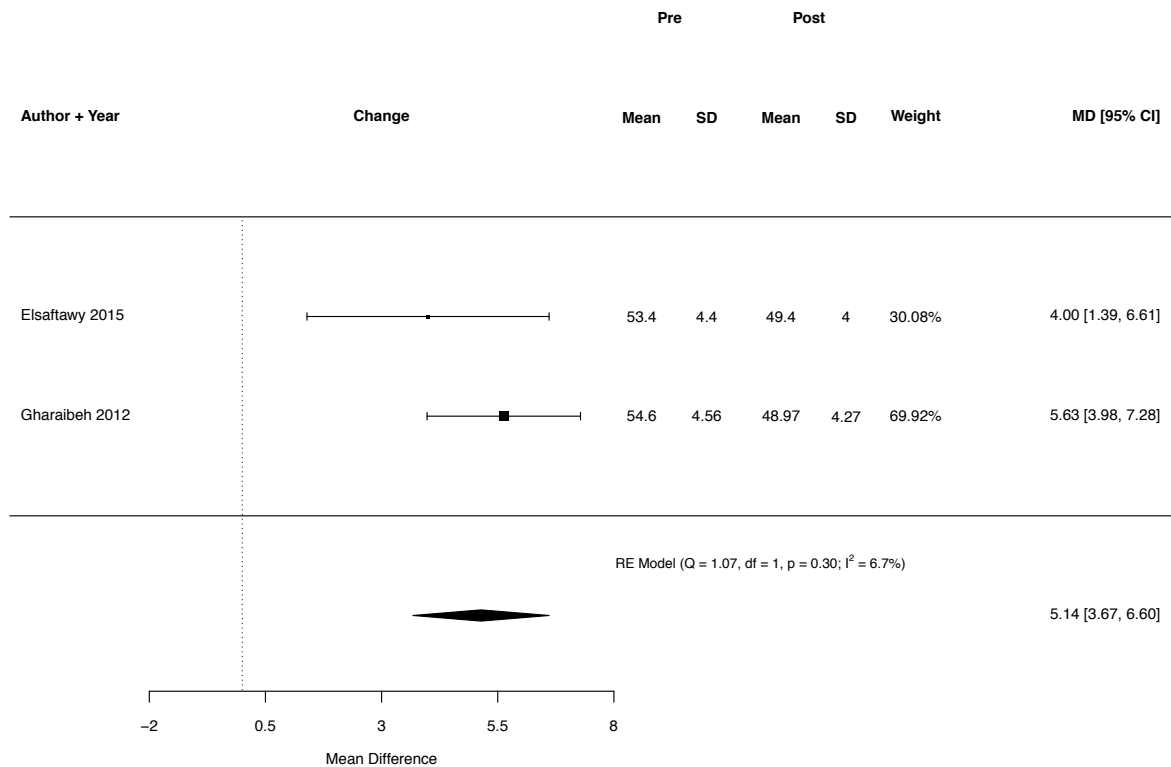


Abbildung 120: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

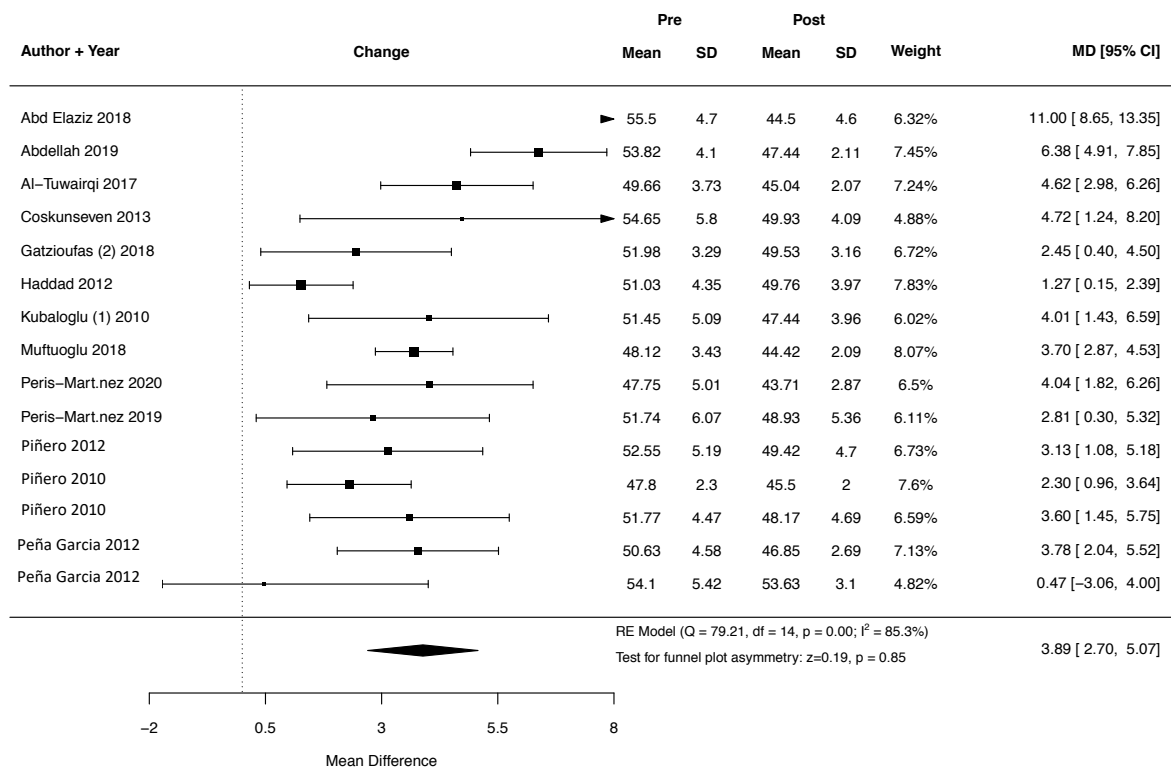


Abbildung 121: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

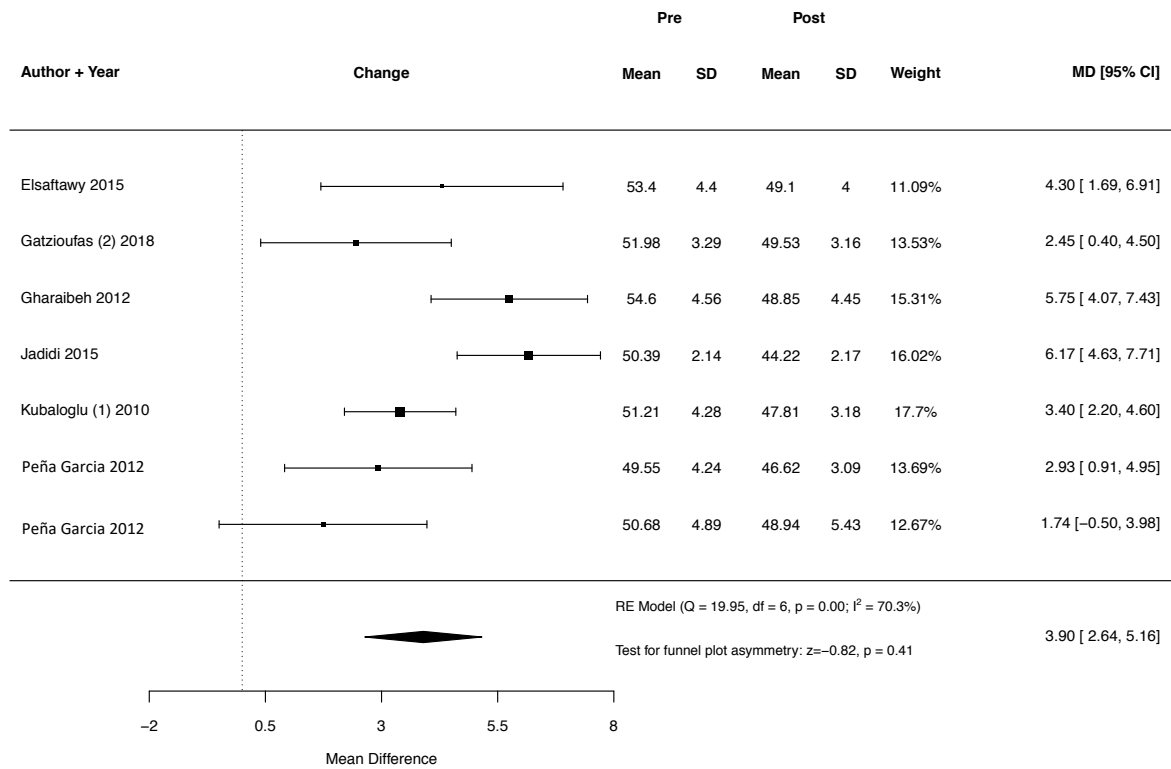


Abbildung 122: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

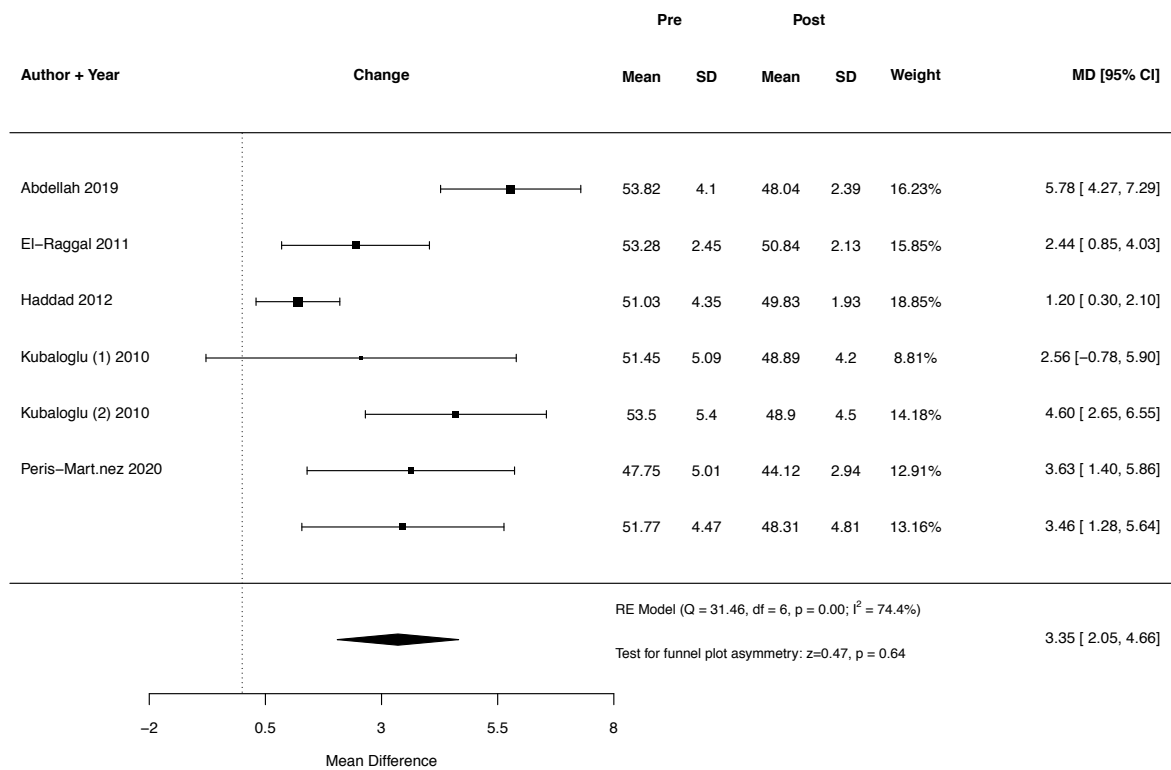


Abbildung 123: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

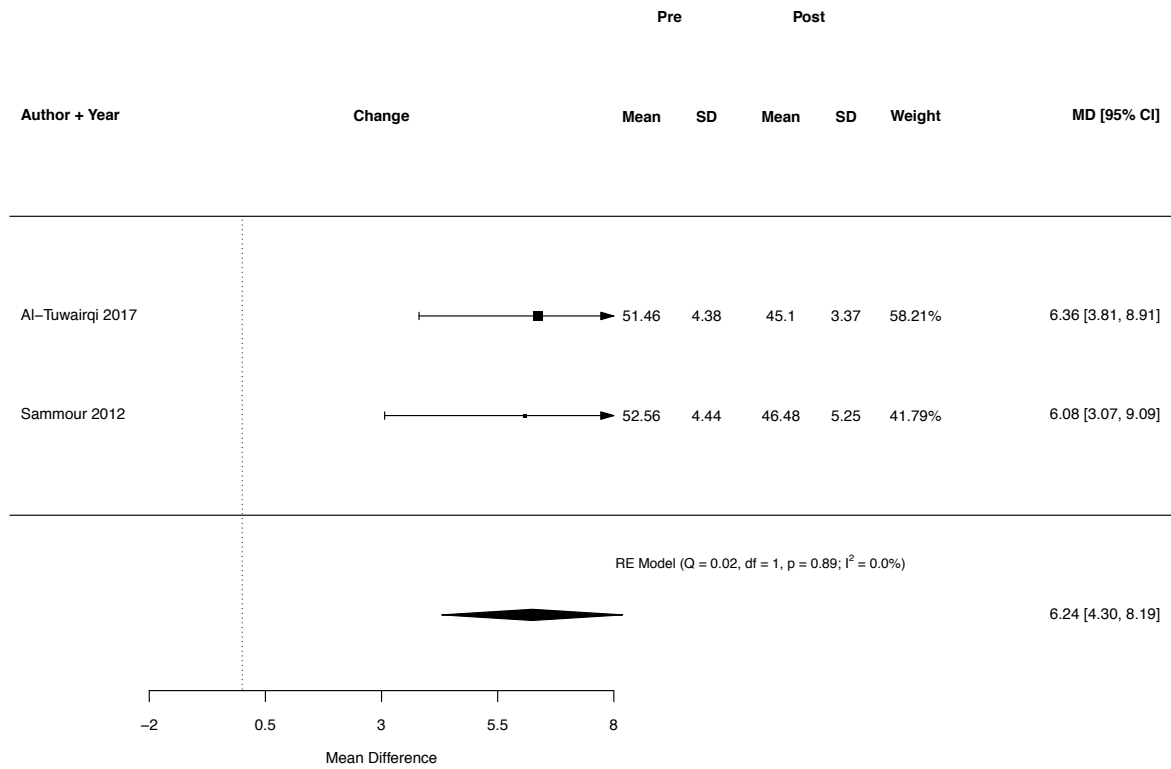


Abbildung 124: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

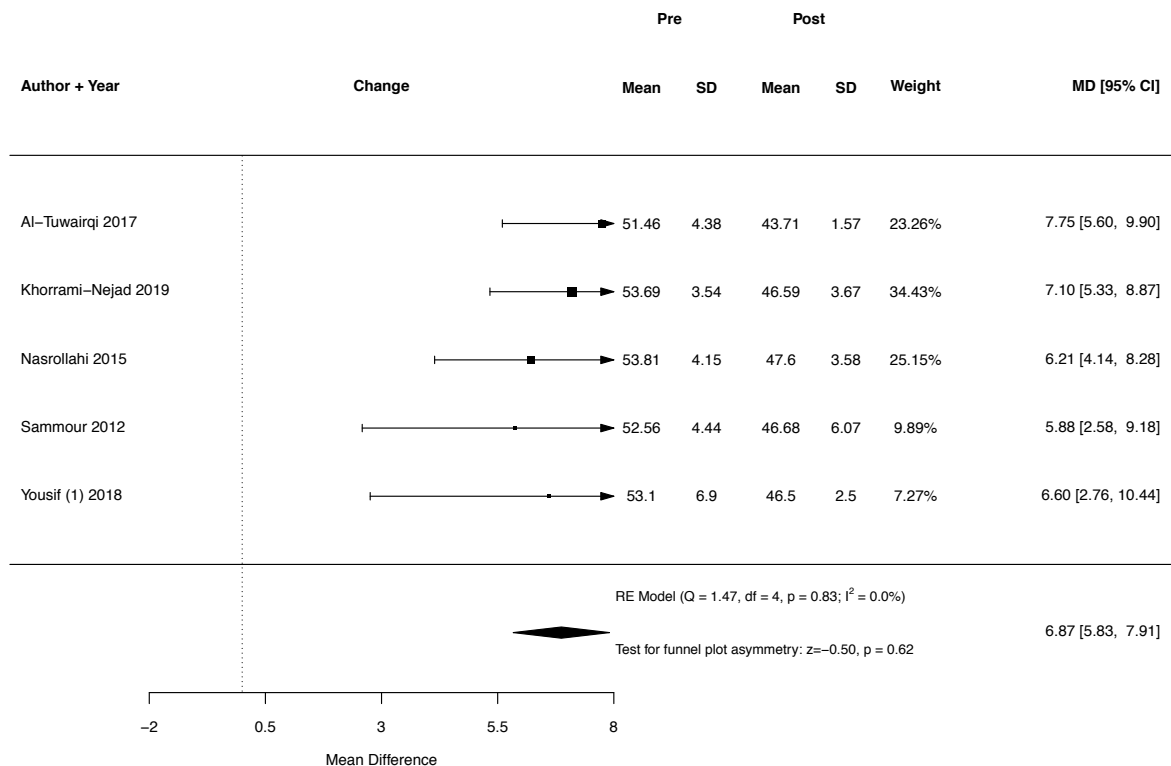


Abbildung 125: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

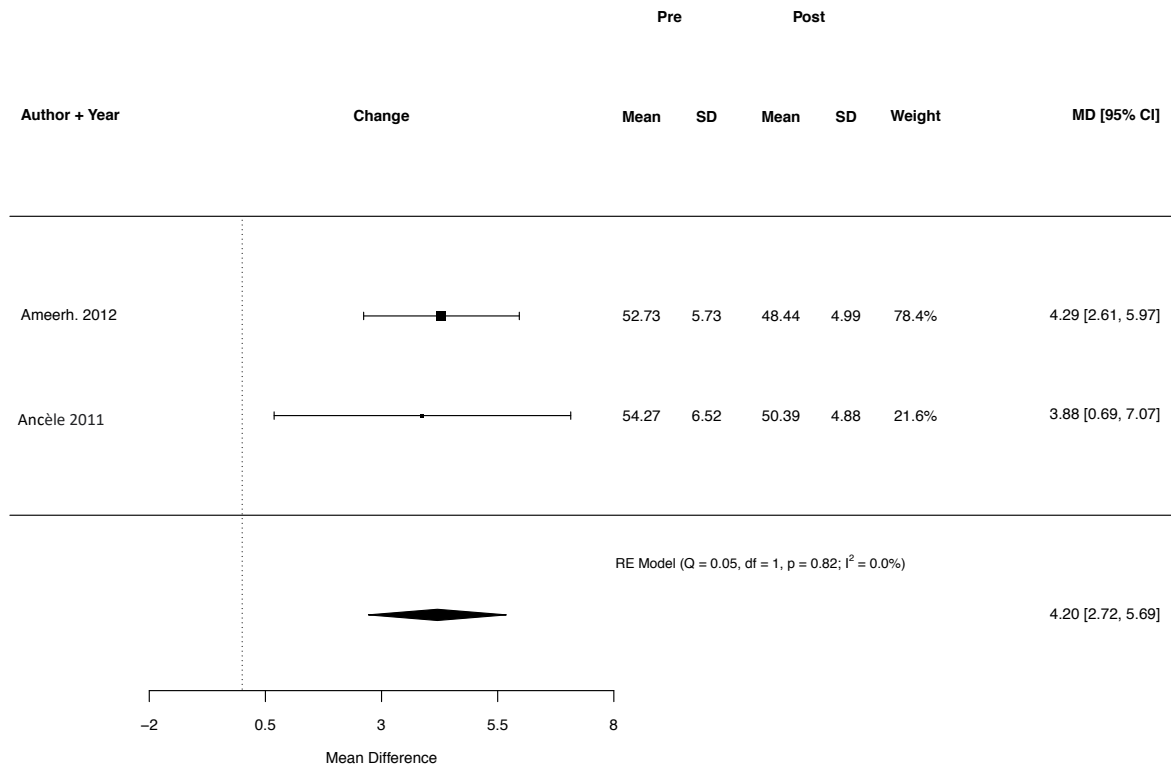


Abbildung 126: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

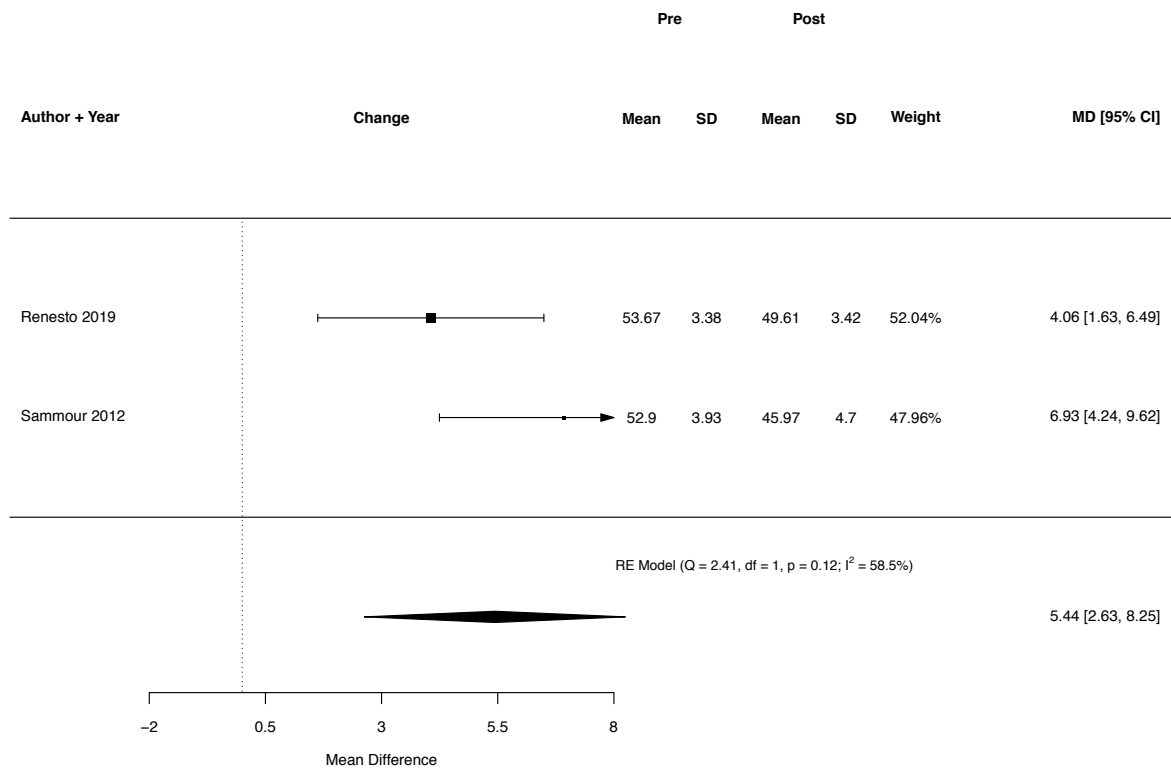


Abbildung 127: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

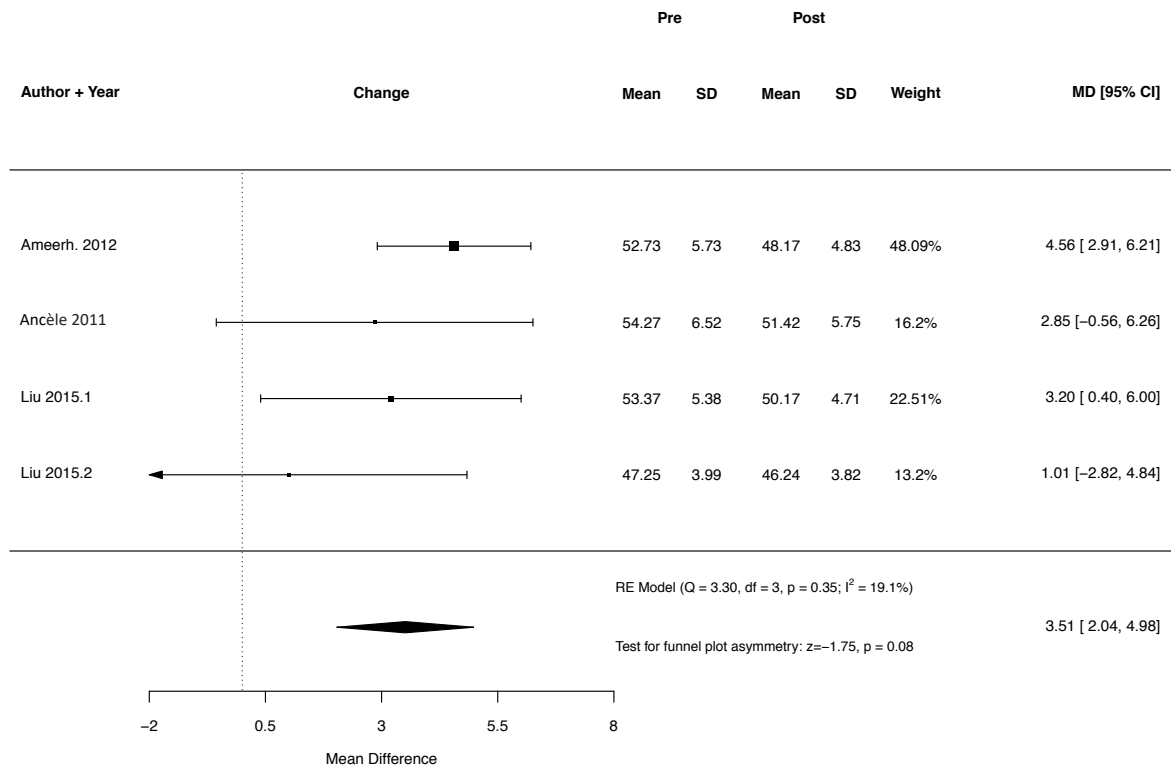


Abbildung 128: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

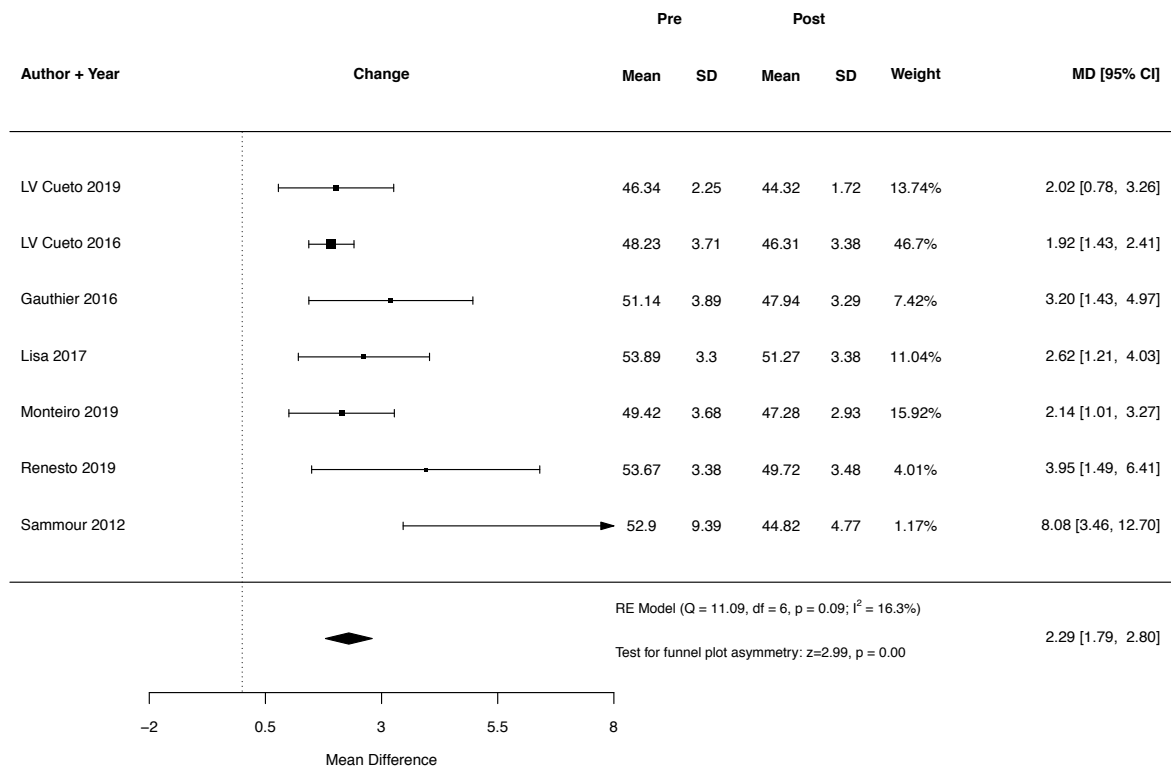


Abbildung 129: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

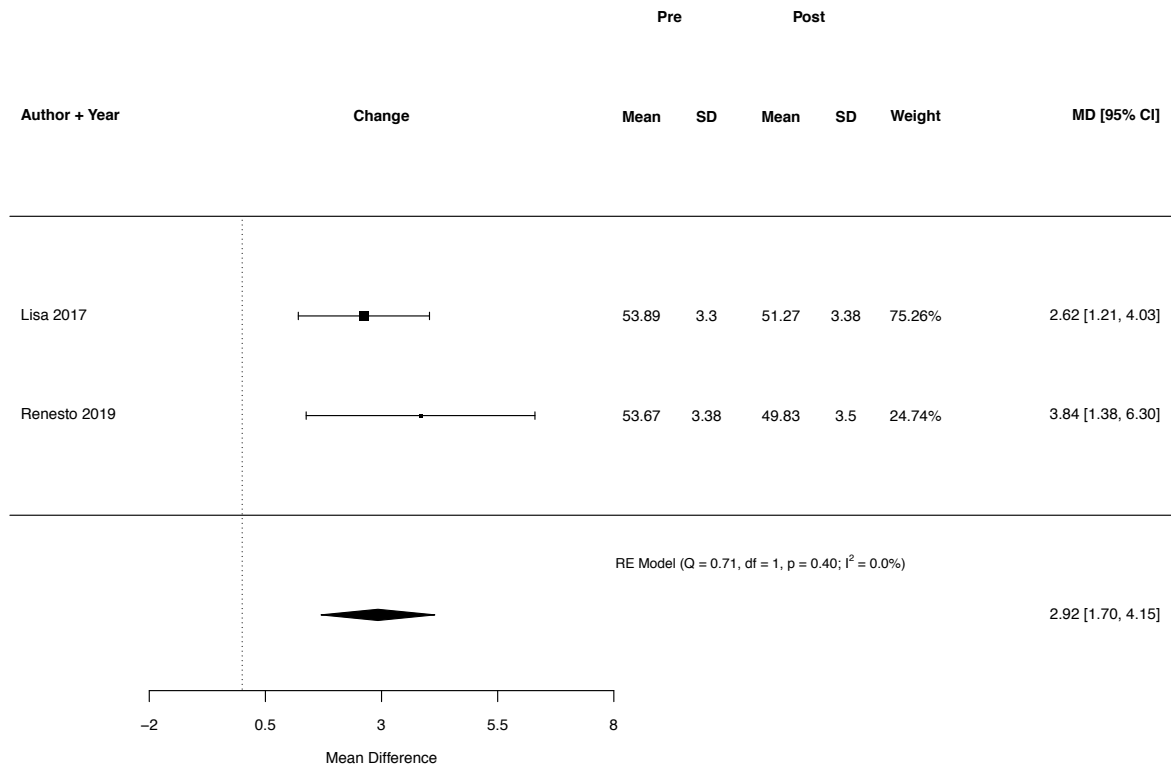


Abbildung 130: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

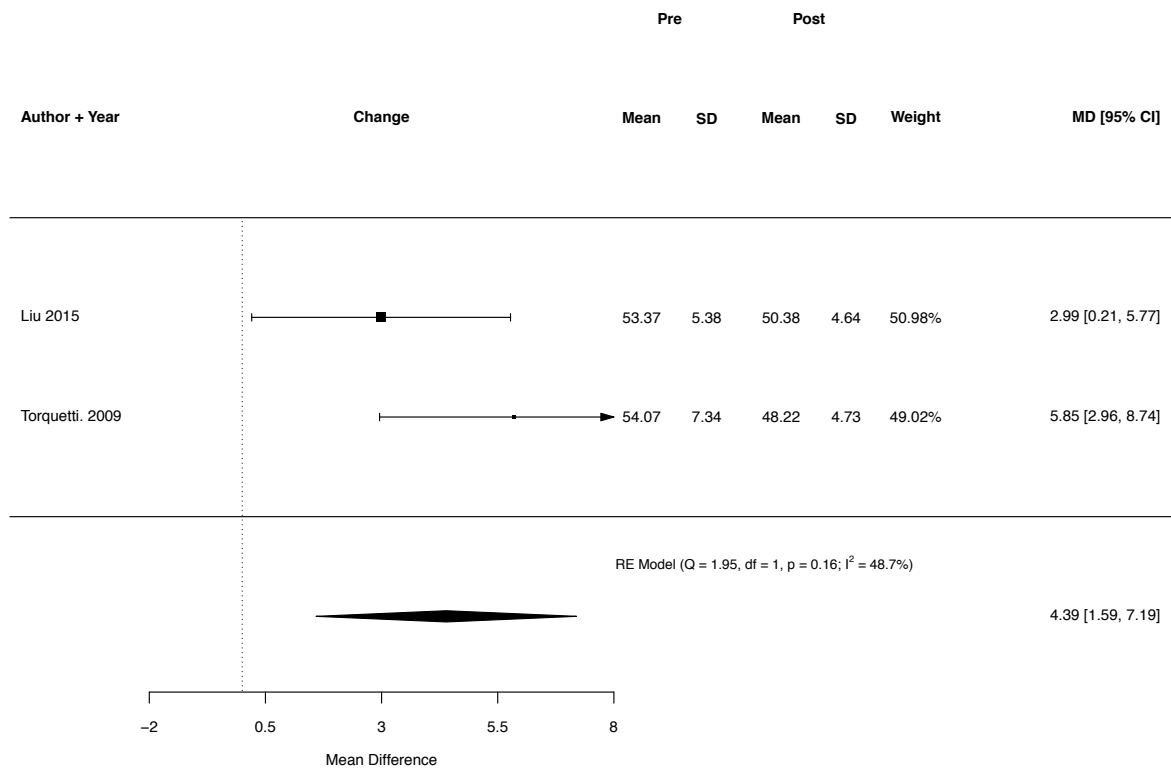


Abbildung 131: Weighted mean difference des steilen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

11.4.2 Forest Plots zur Veränderung des mittleren Keratometriewertes

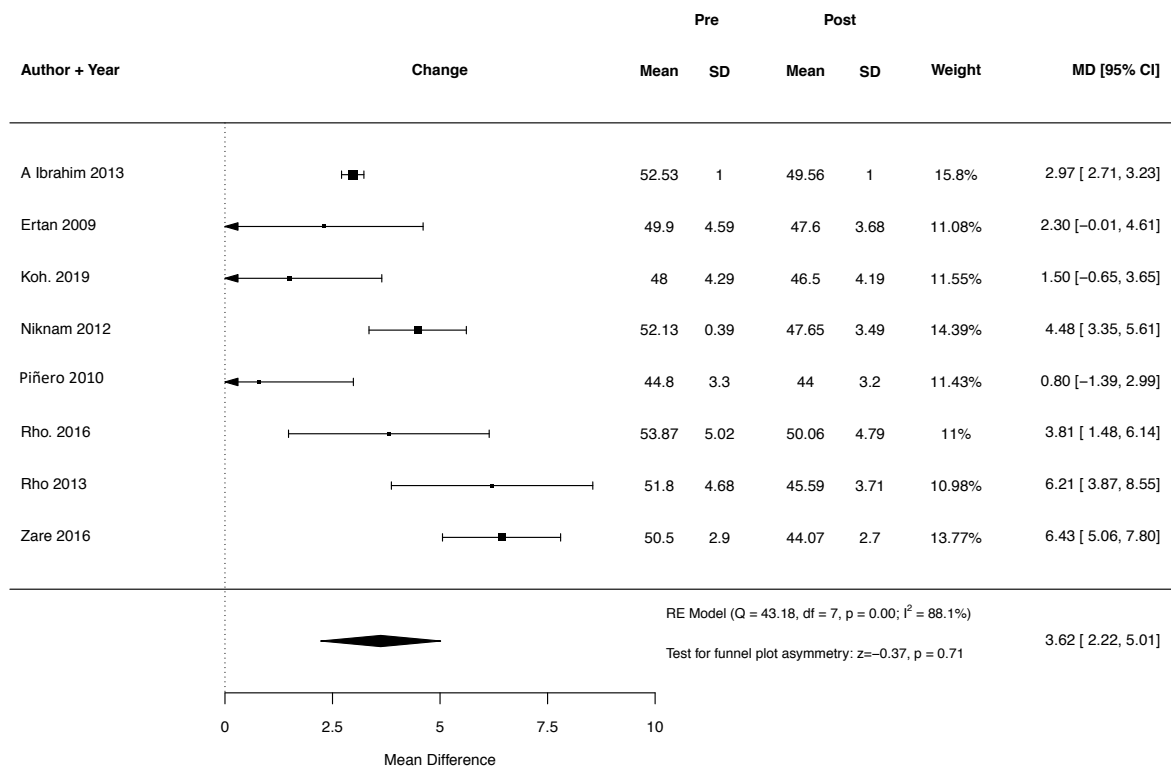


Abbildung 132: Weighted mean difference des mittleren Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

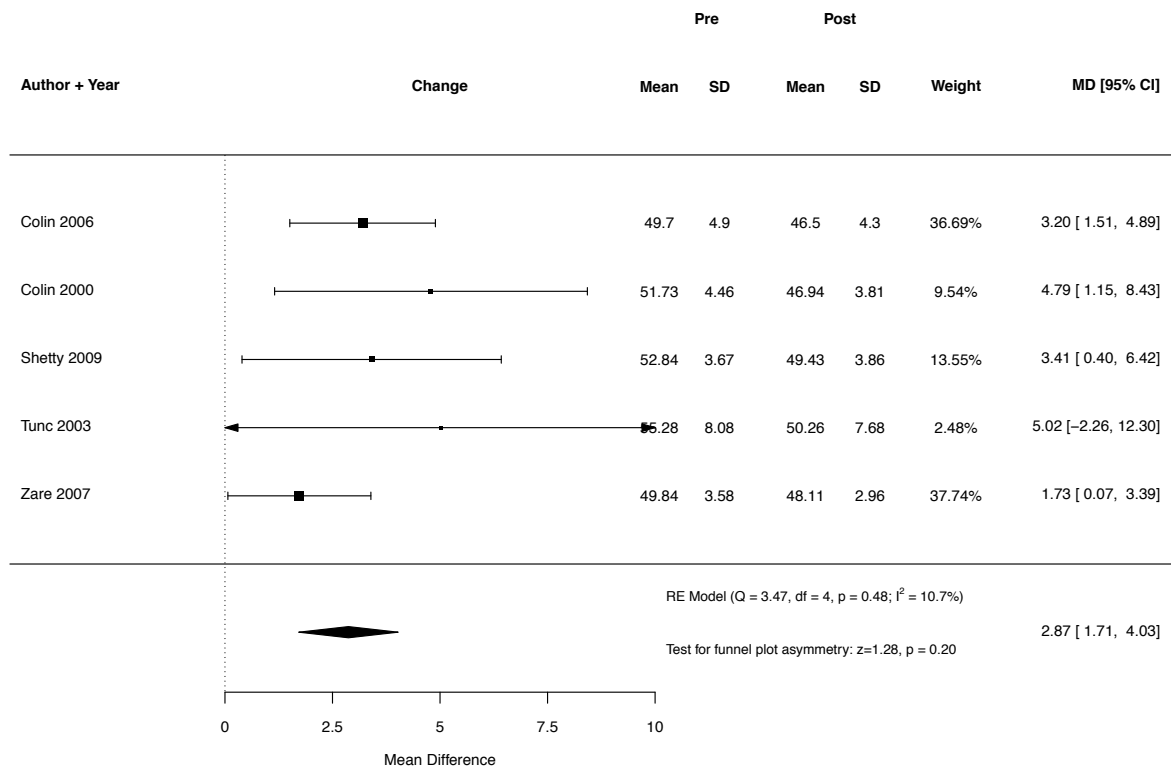


Abbildung 133: Weighted mean difference des mittleren Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

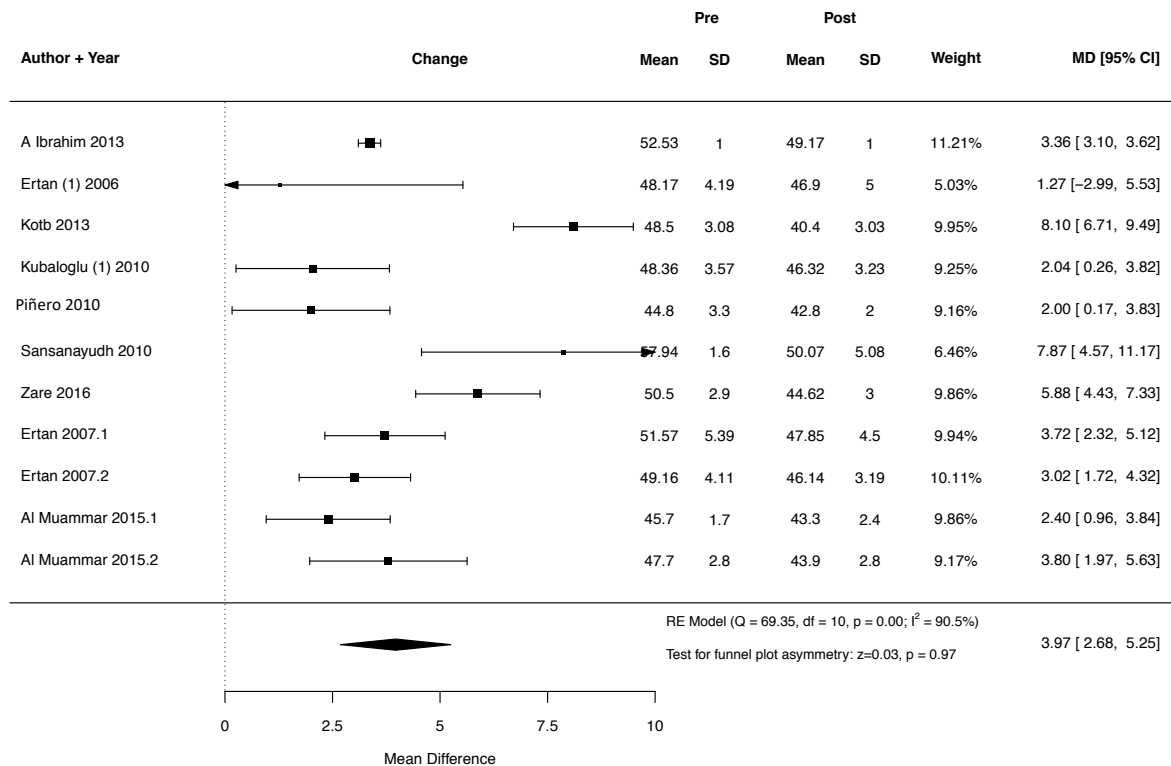


Abbildung 134: Weighted mean difference des mittleren Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechsmonats-Follow-ups

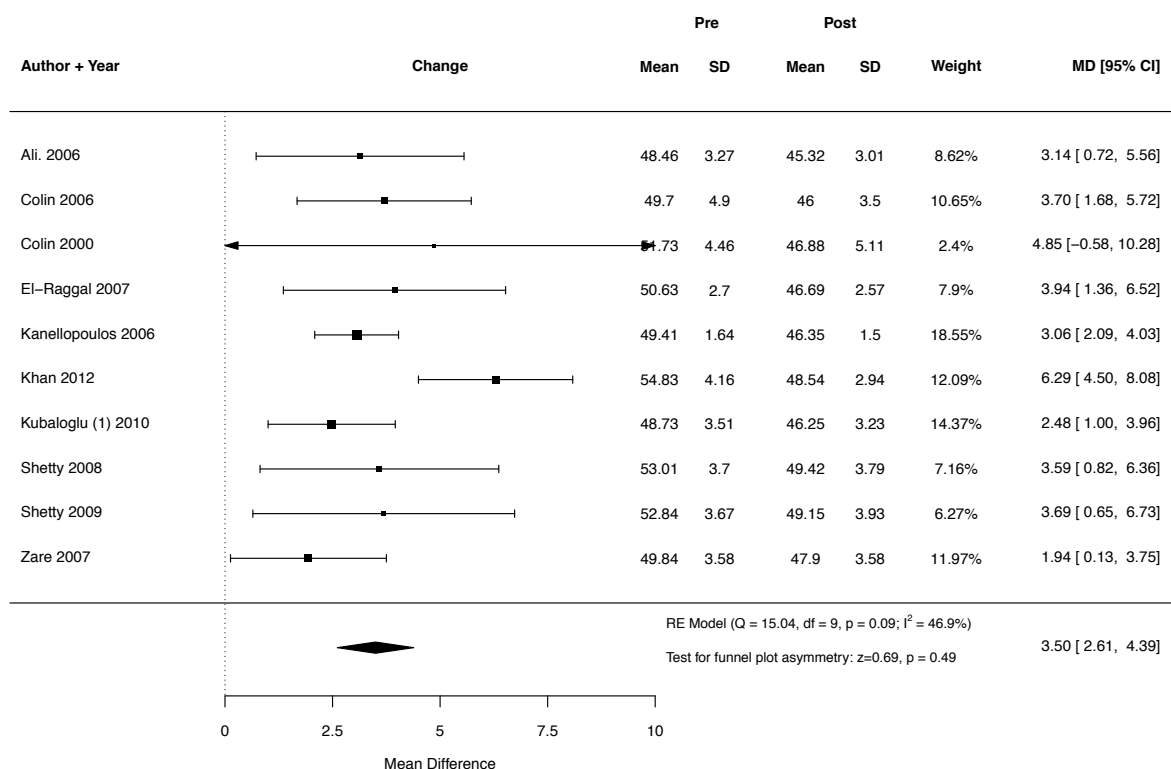


Abbildung 135: Weighted mean difference des mittleren Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechsmonats-Follow-ups

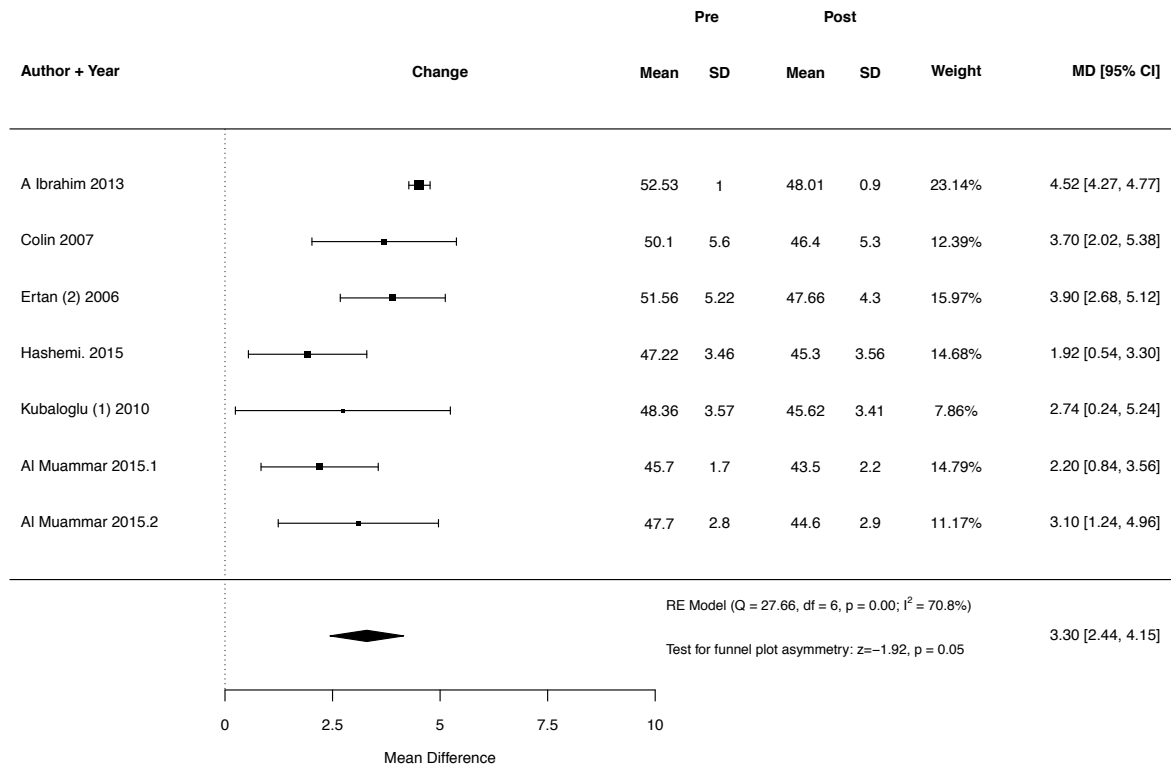


Abbildung 136: Weighted mean difference des mittleren Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

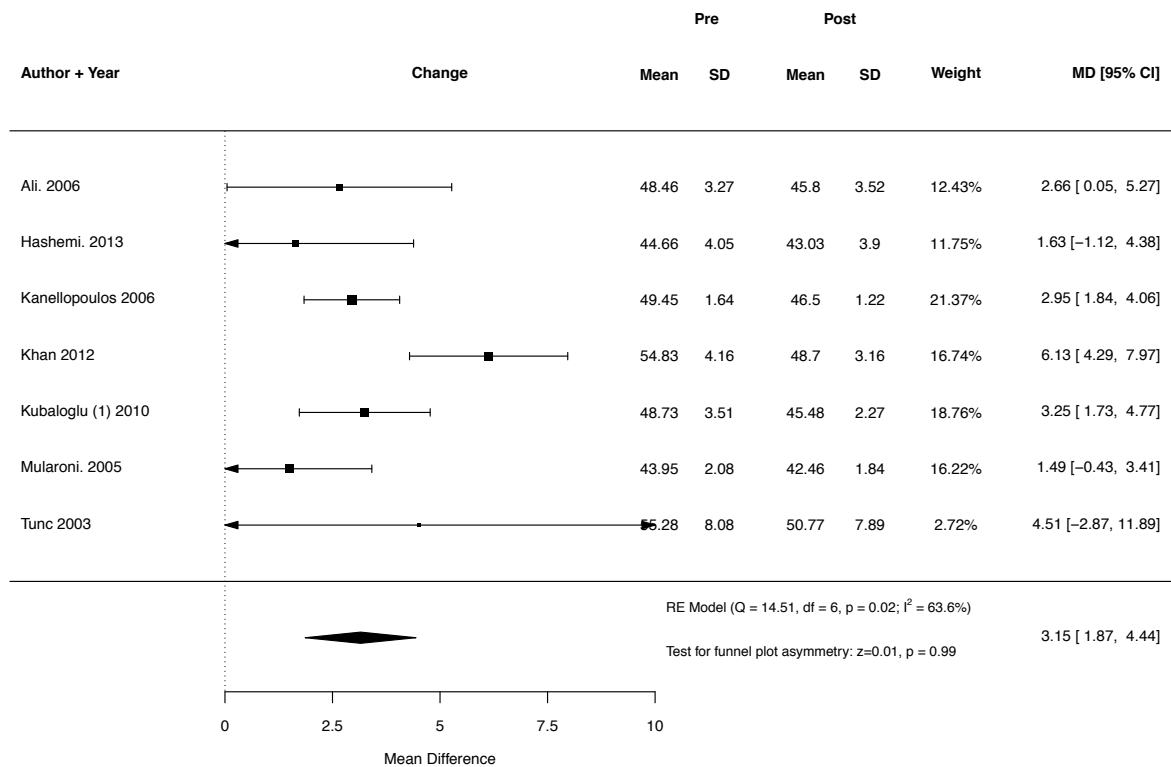


Abbildung 137: Weighted mean difference des mittleren Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

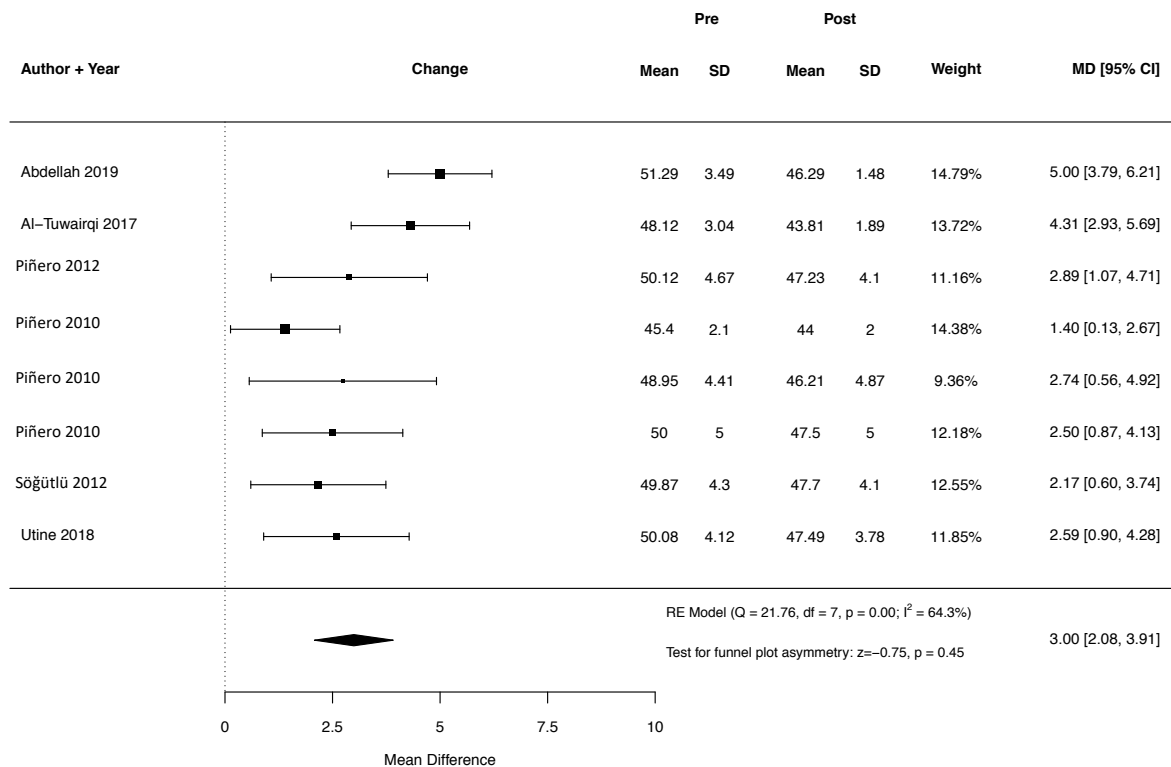


Abbildung 138: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

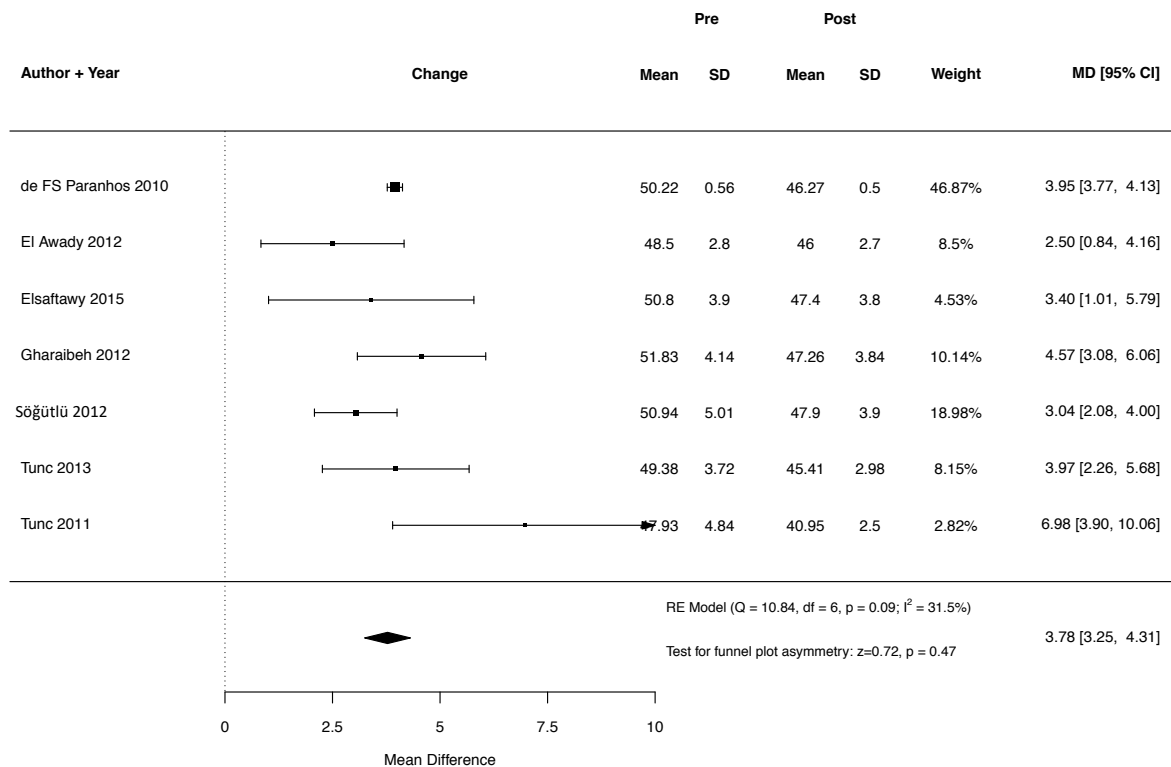


Abbildung 139: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

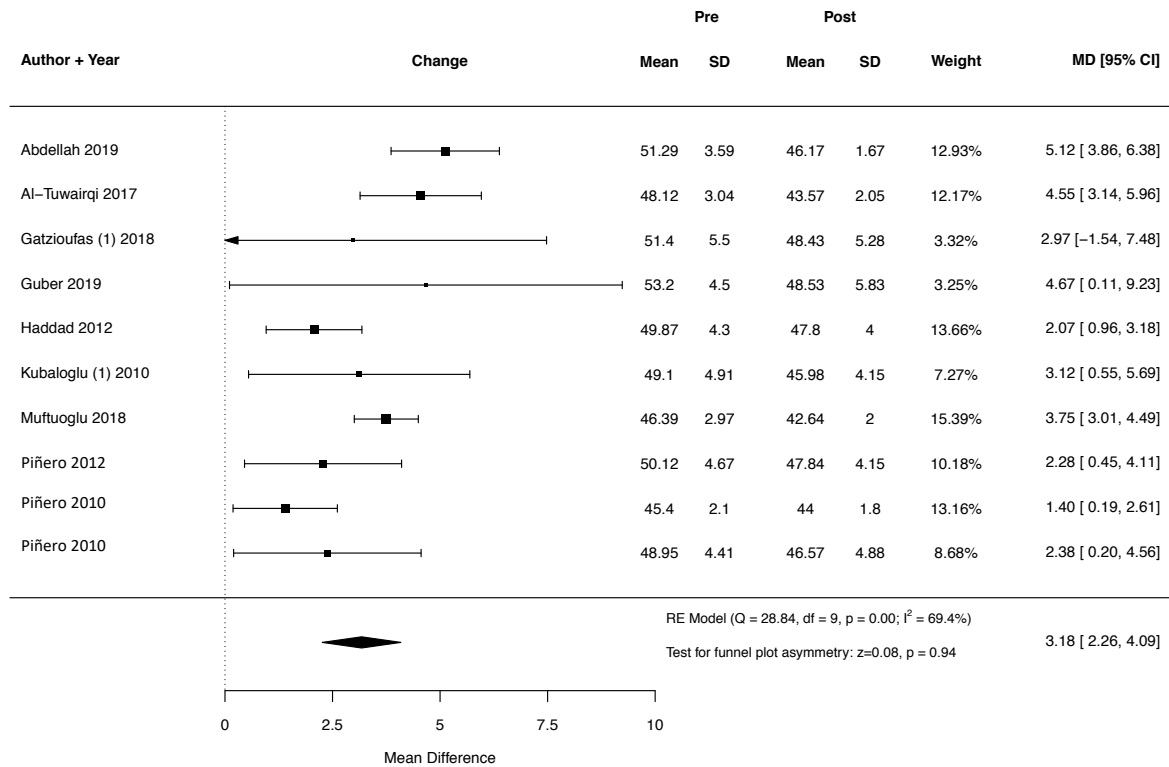


Abbildung 140: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

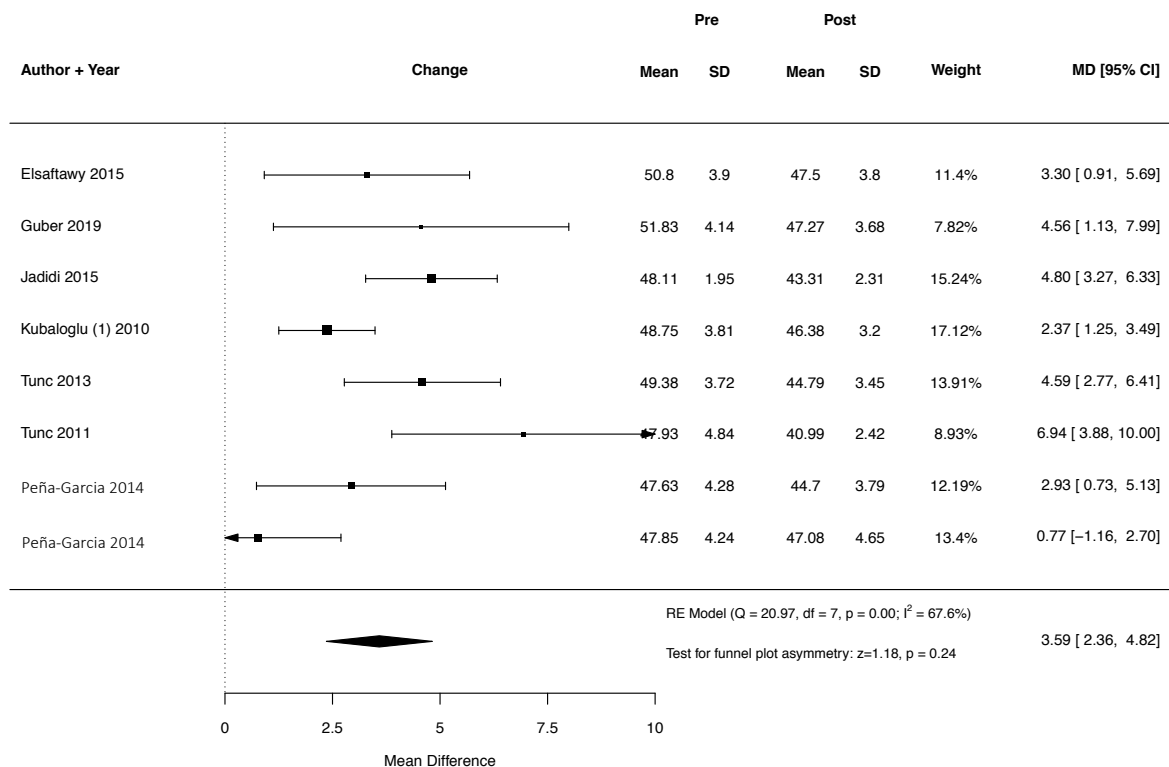


Abbildung 141: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

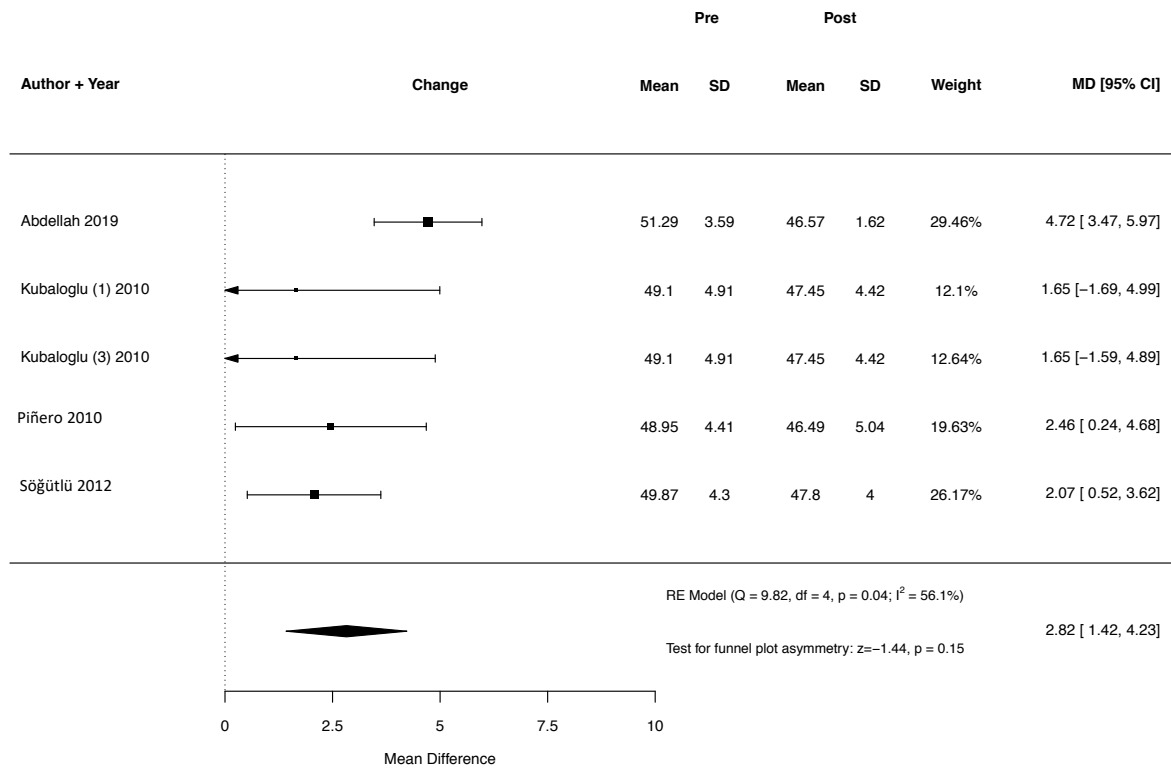


Abbildung 142: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

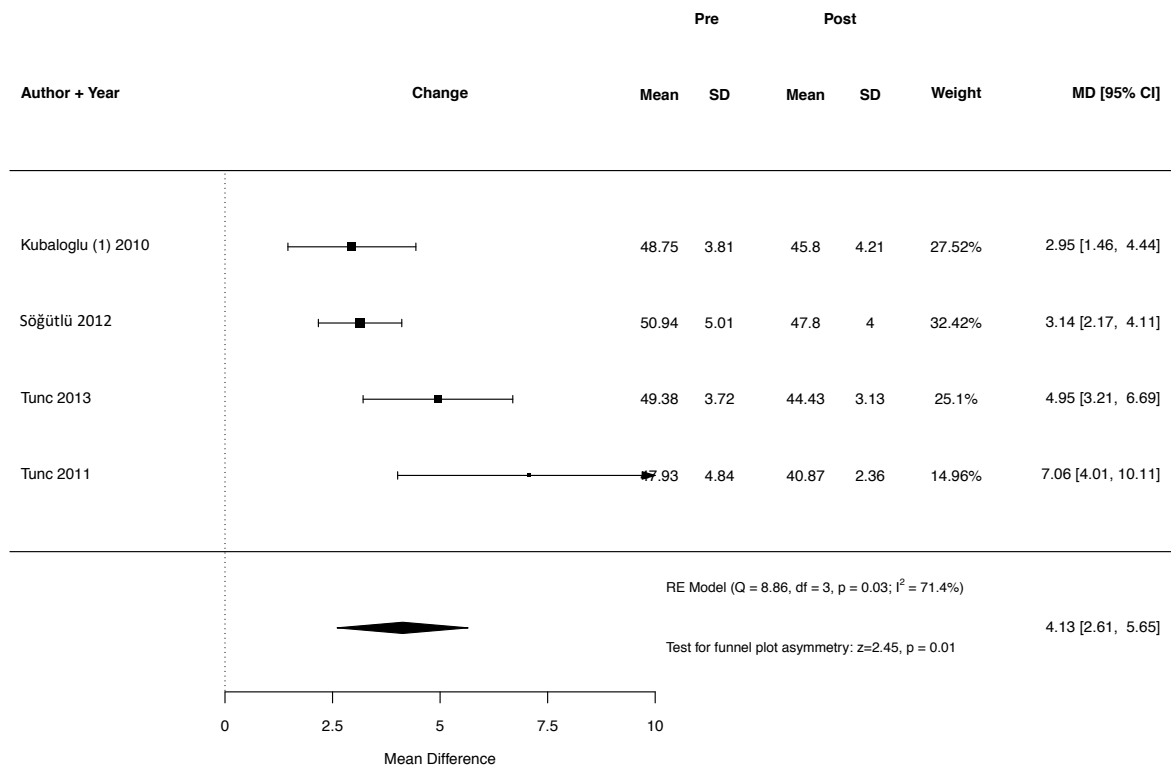


Abbildung 143: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

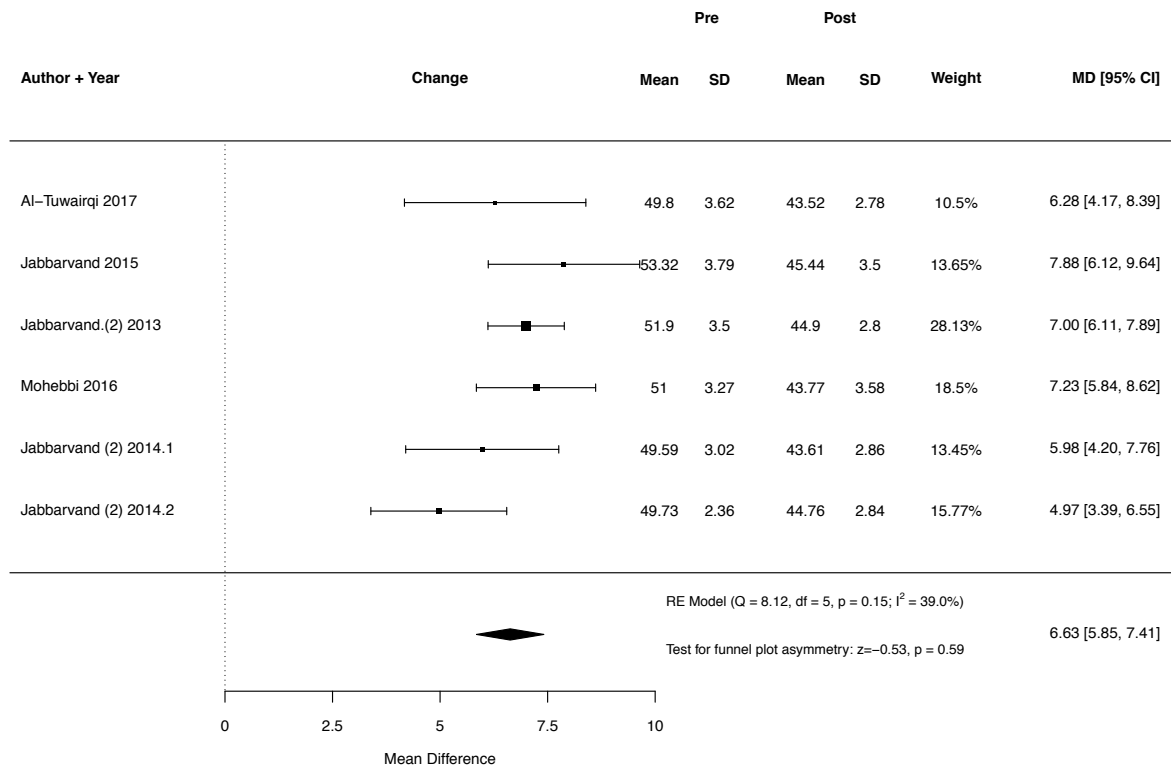


Abbildung 144: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

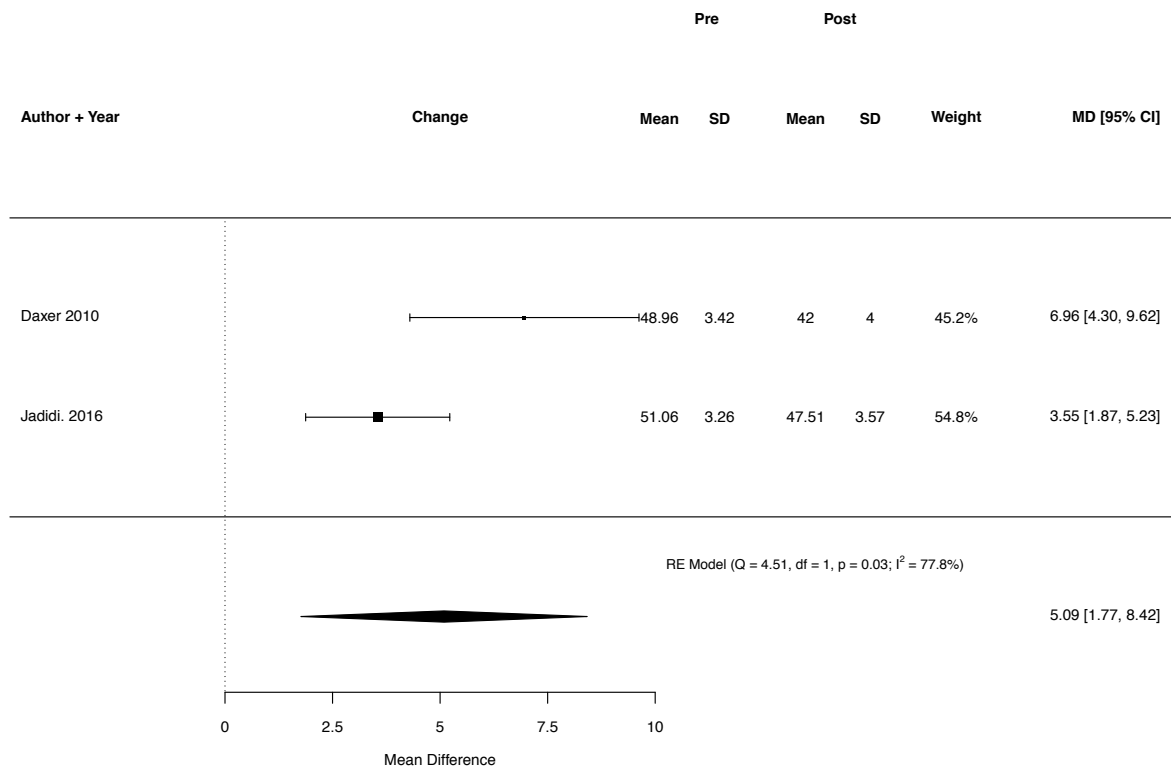


Abbildung 145: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

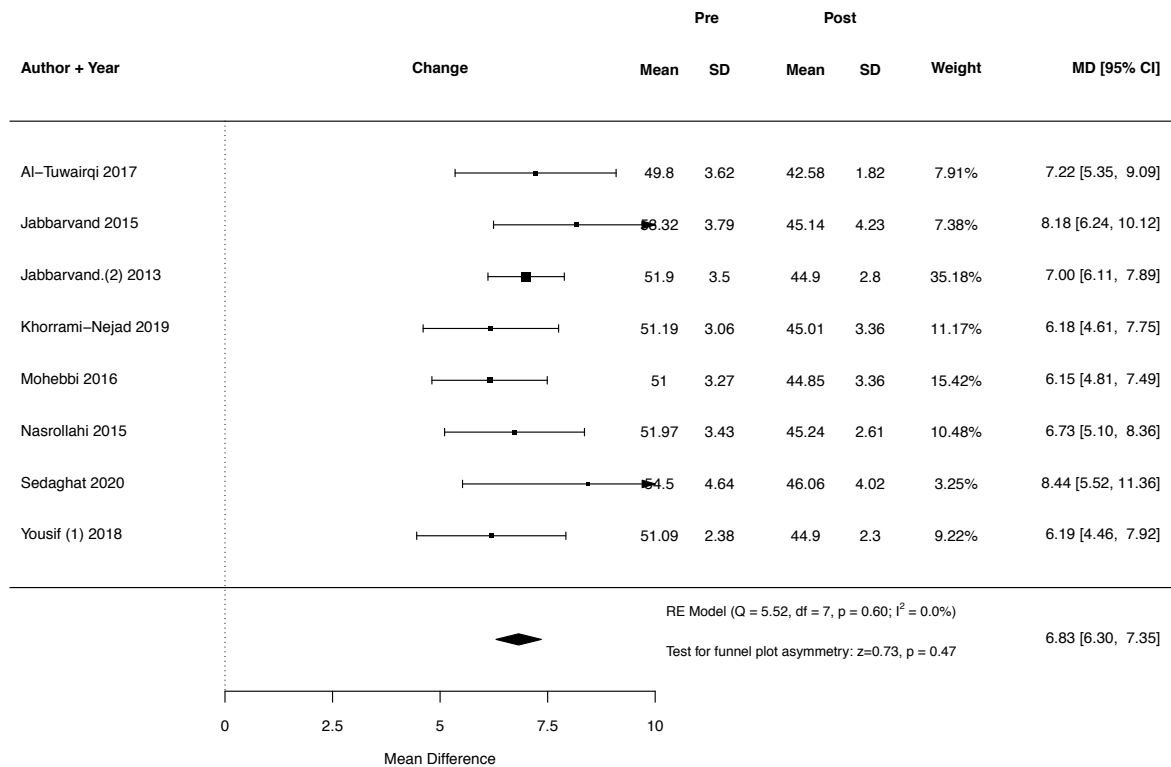


Abbildung 146: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

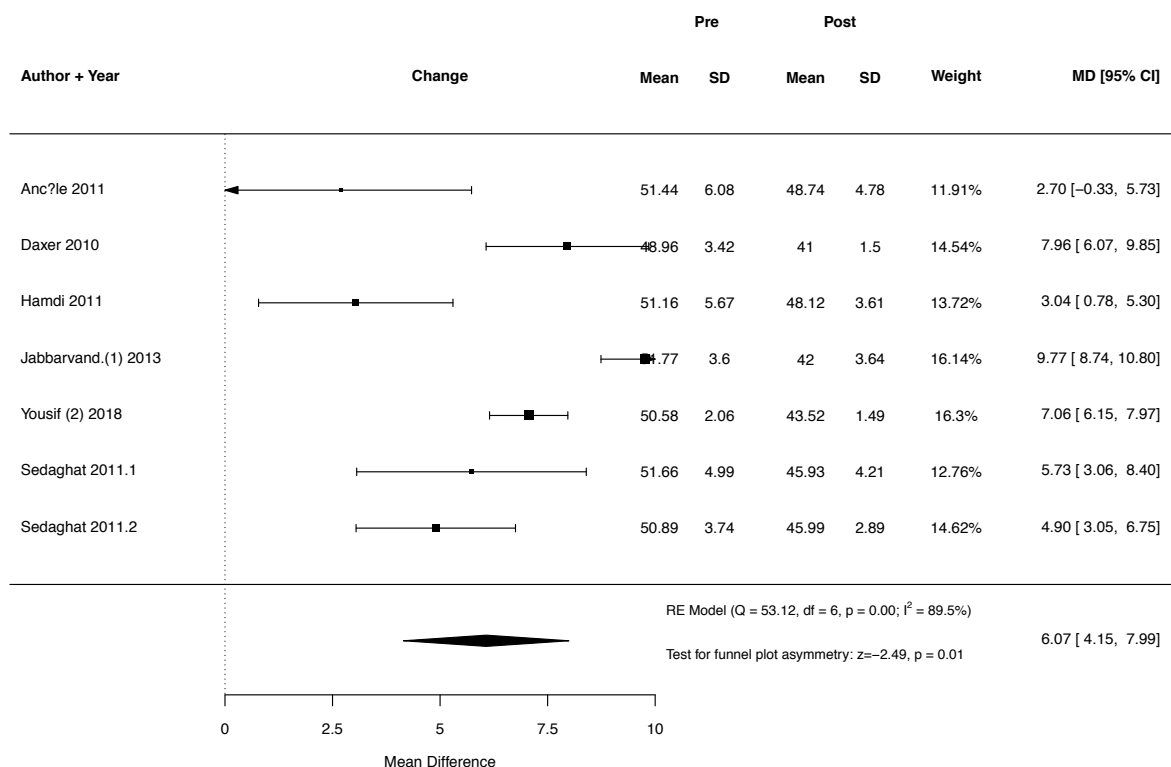


Abbildung 147: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

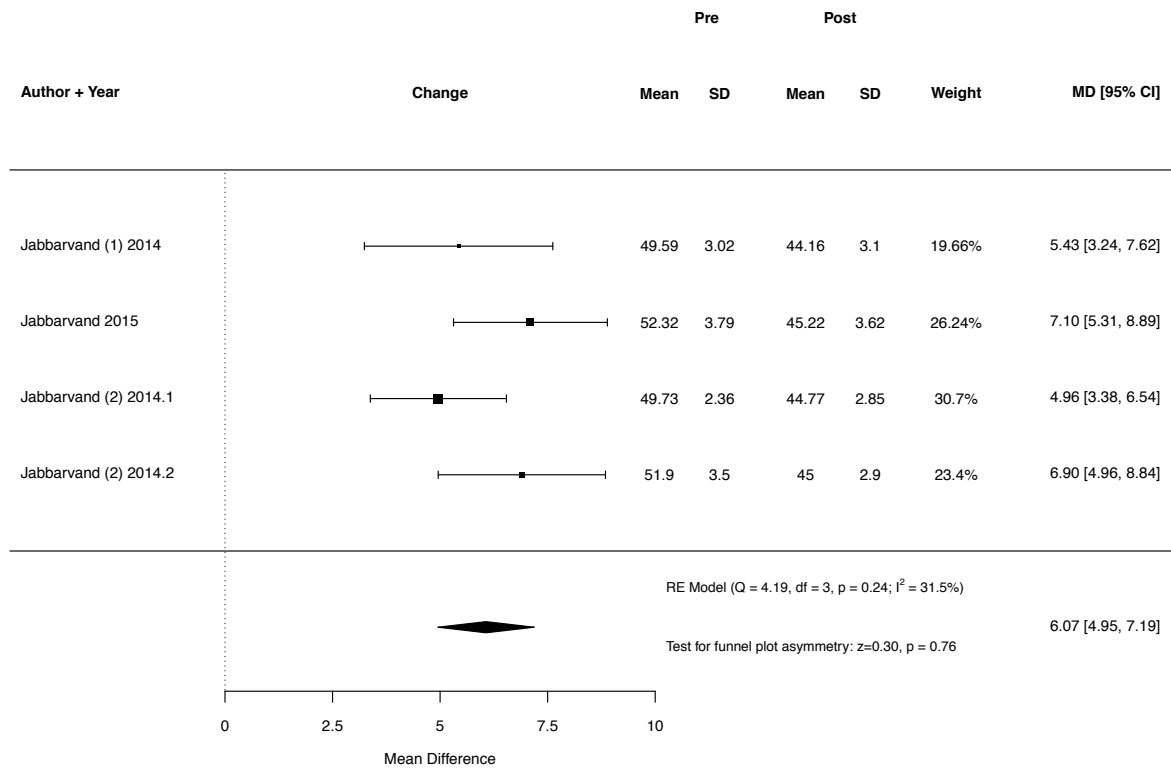


Abbildung 148: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

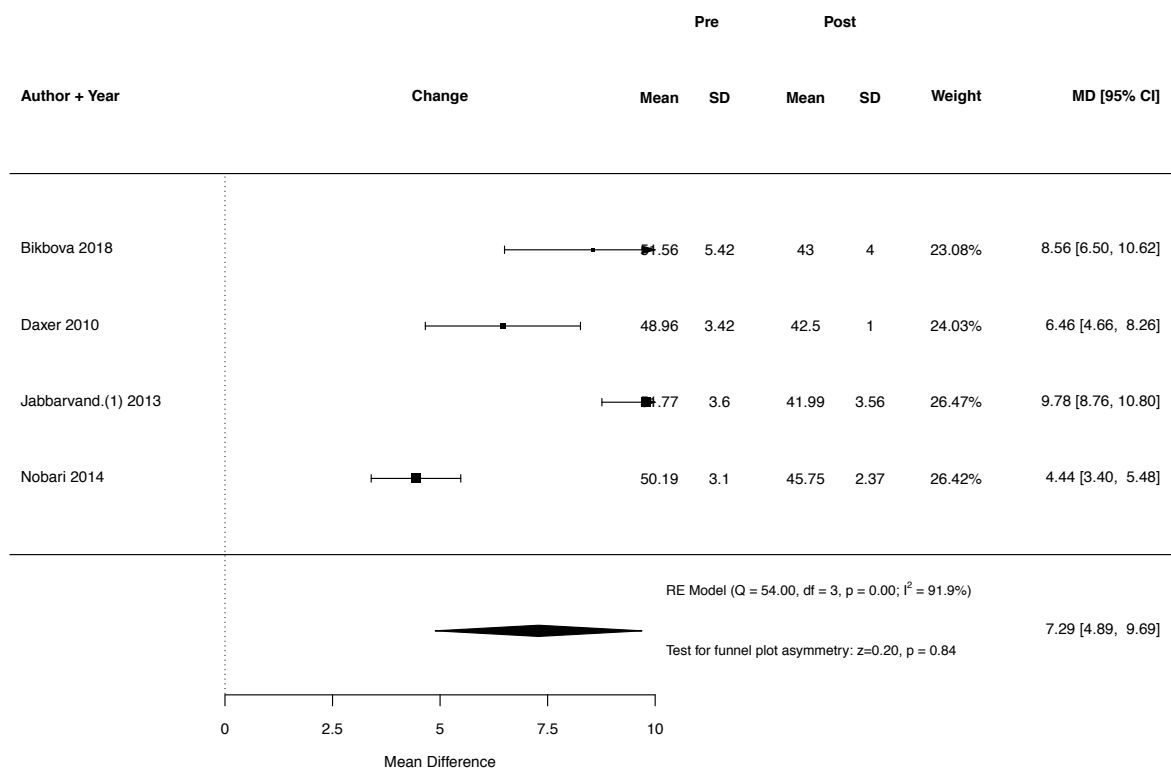


Abbildung 149: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

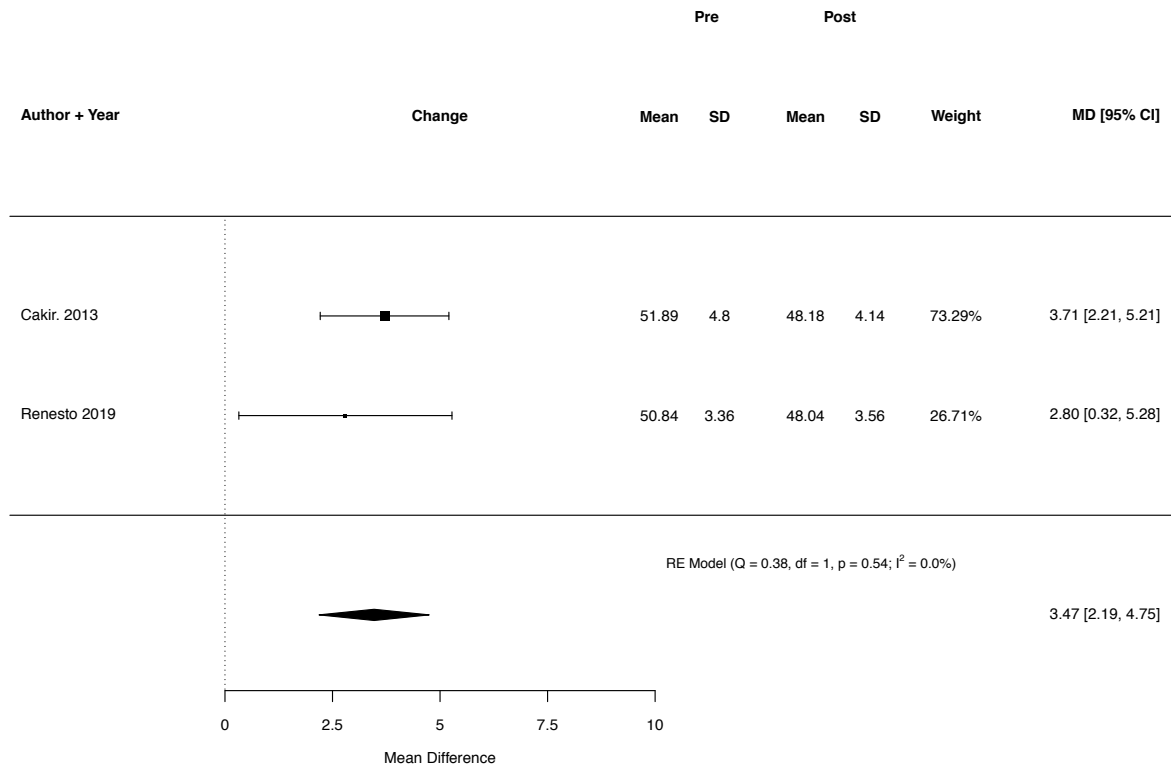


Abbildung 150: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

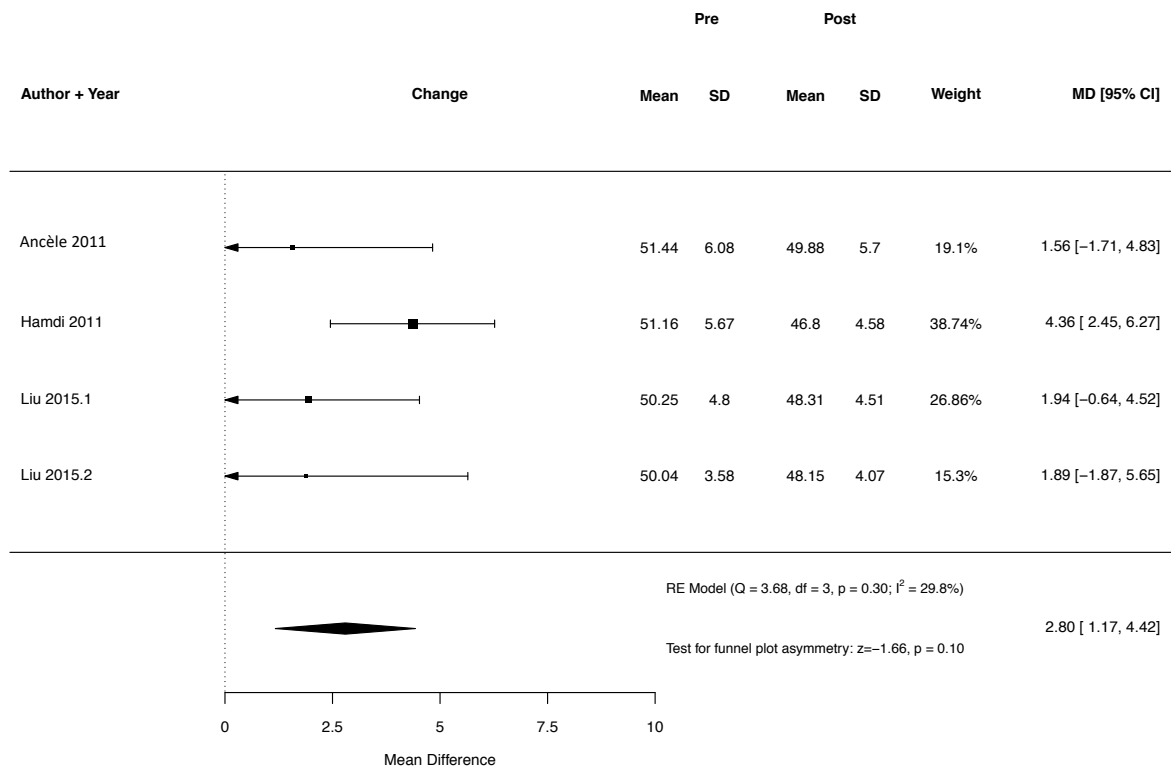


Abbildung 151: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

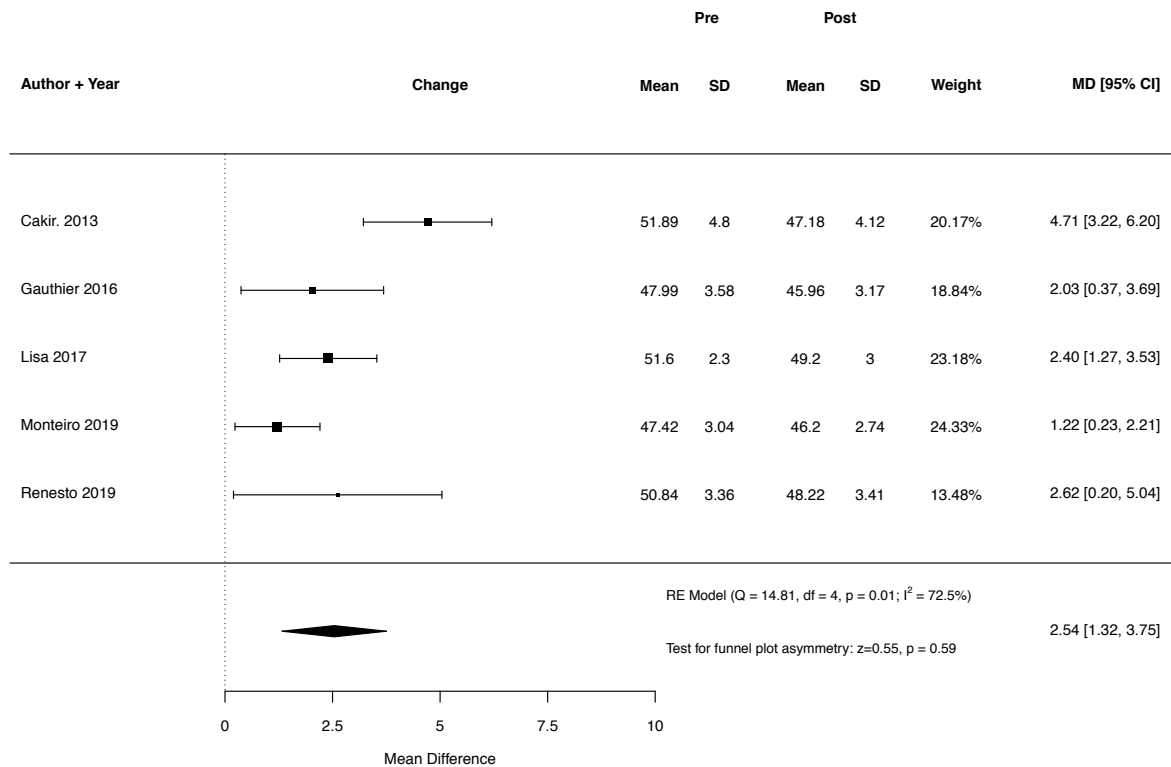


Abbildung 152: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

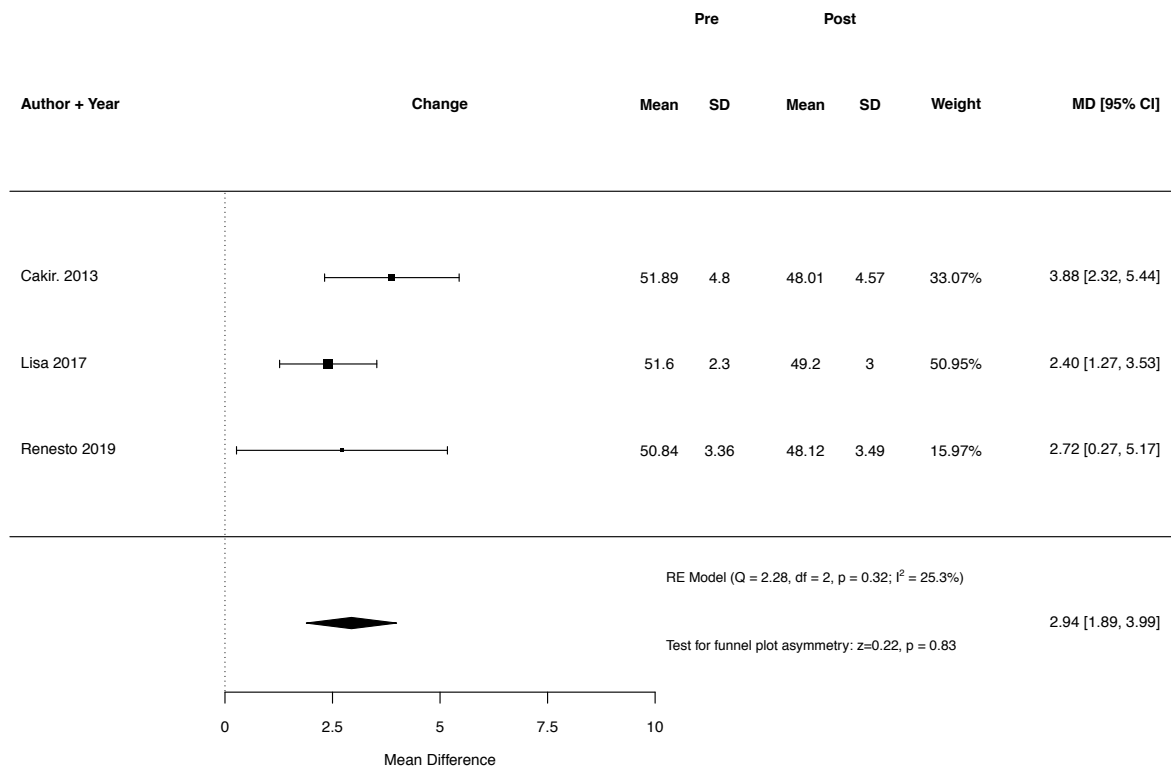


Abbildung 153: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

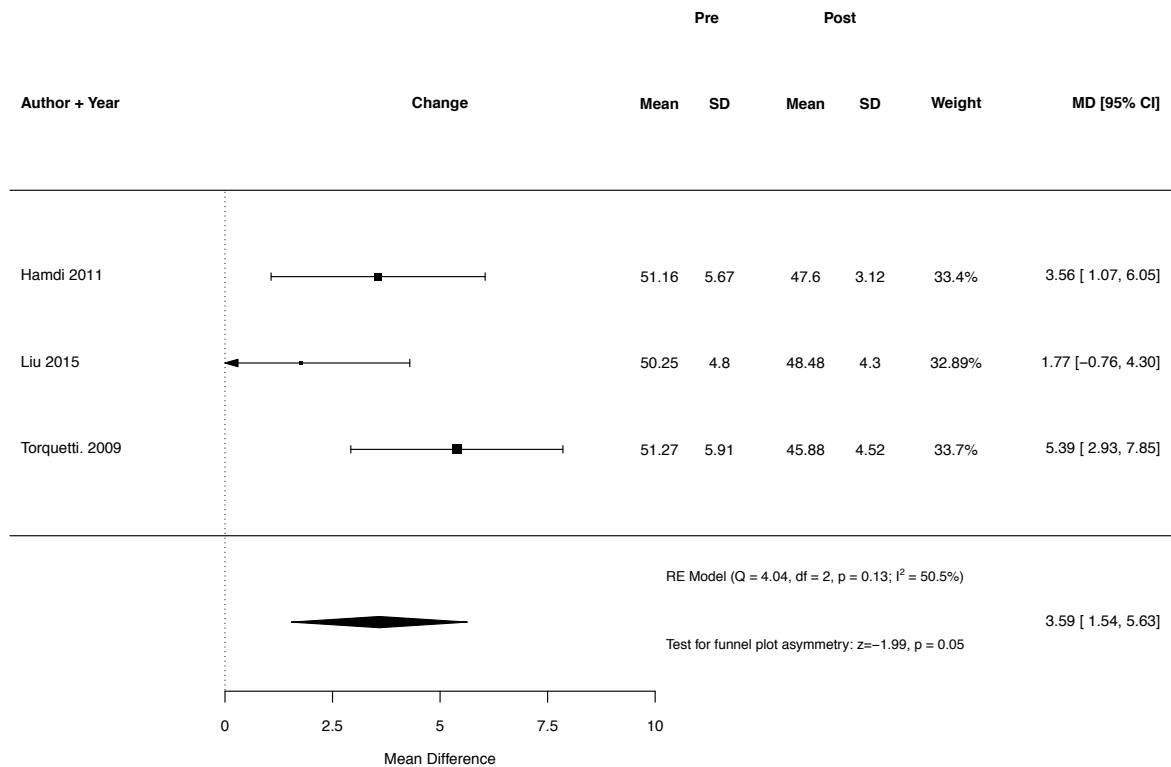


Abbildung 154: Weighted mean difference des Mittleren Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

11.4.3 Forest Plots zur Veränderung des Kf-Wertes

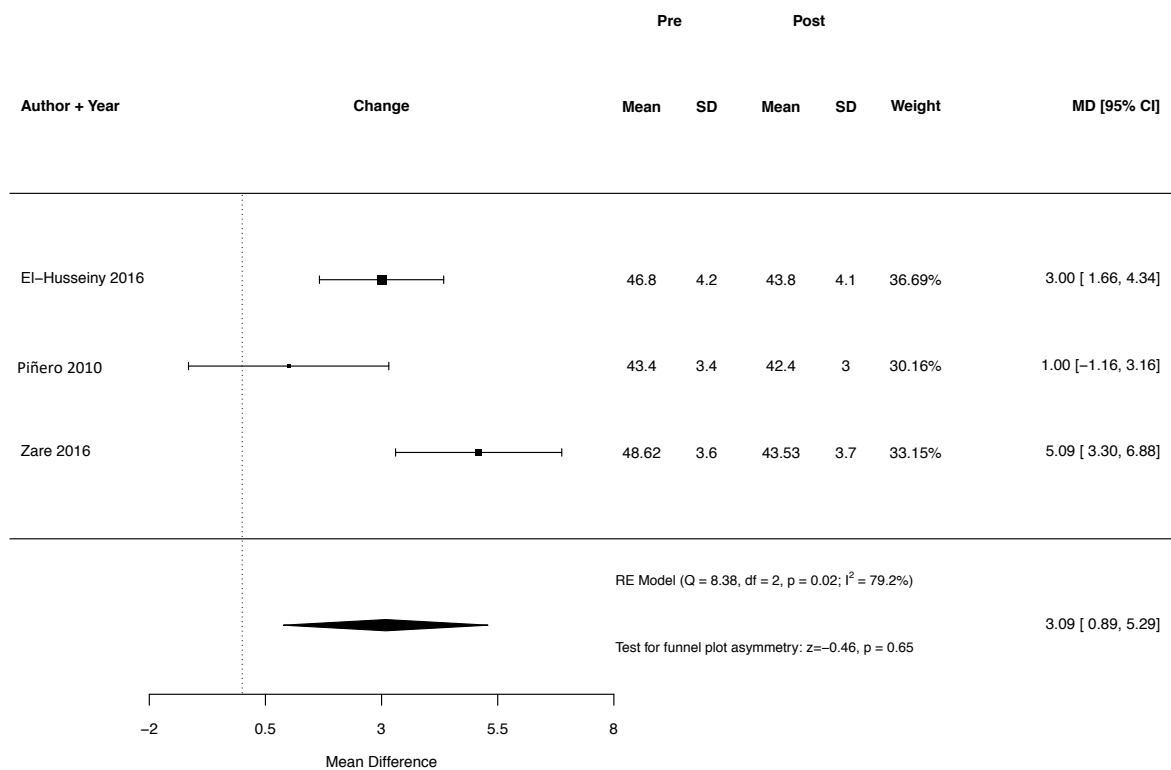


Abbildung 155: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

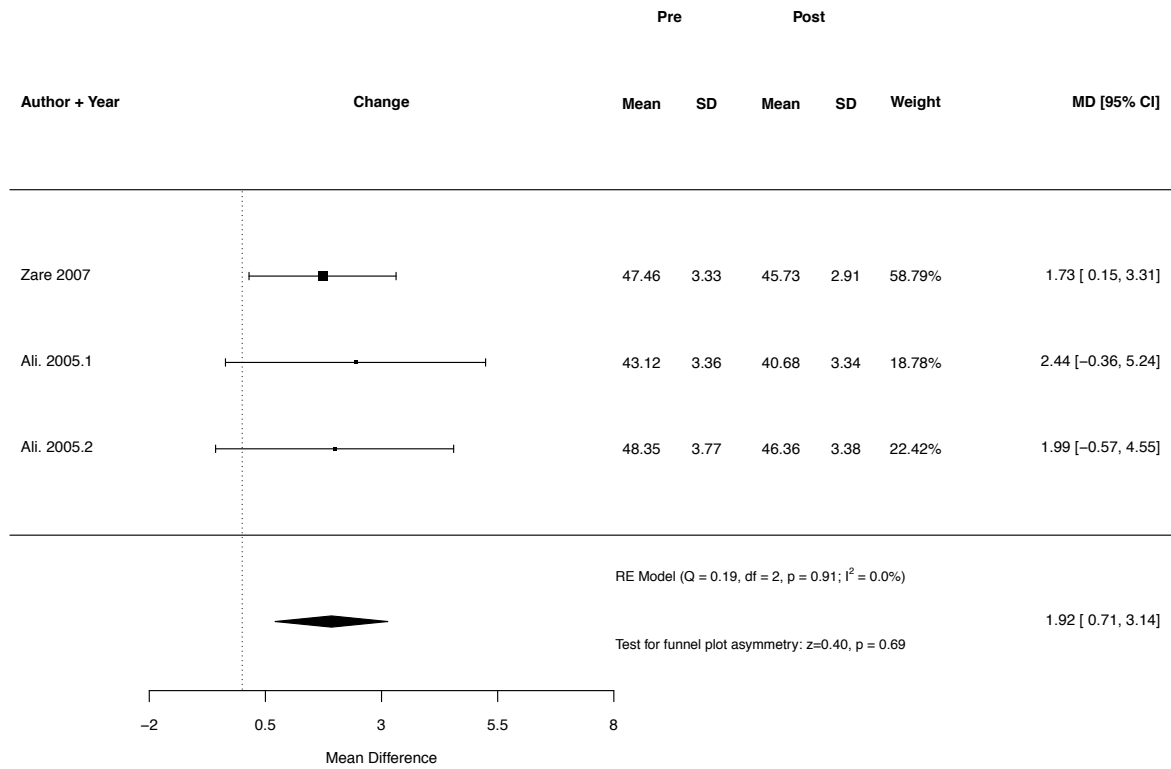


Abbildung 156: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

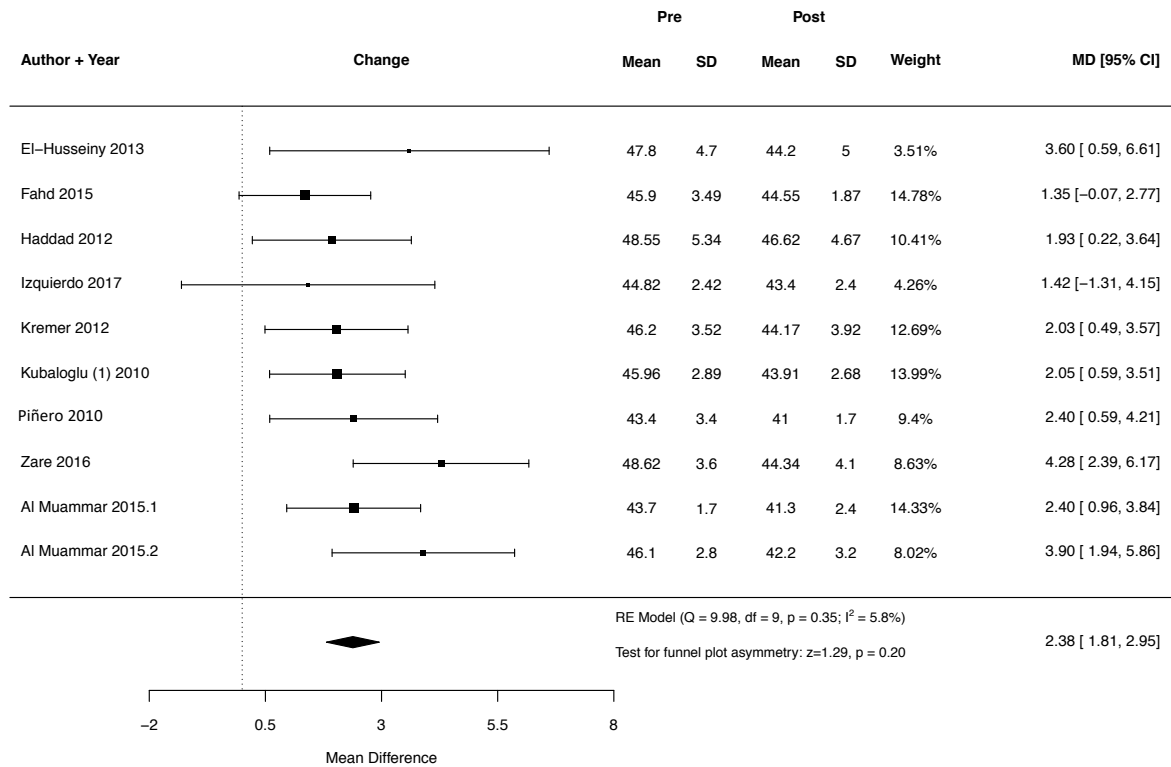


Abbildung 157: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

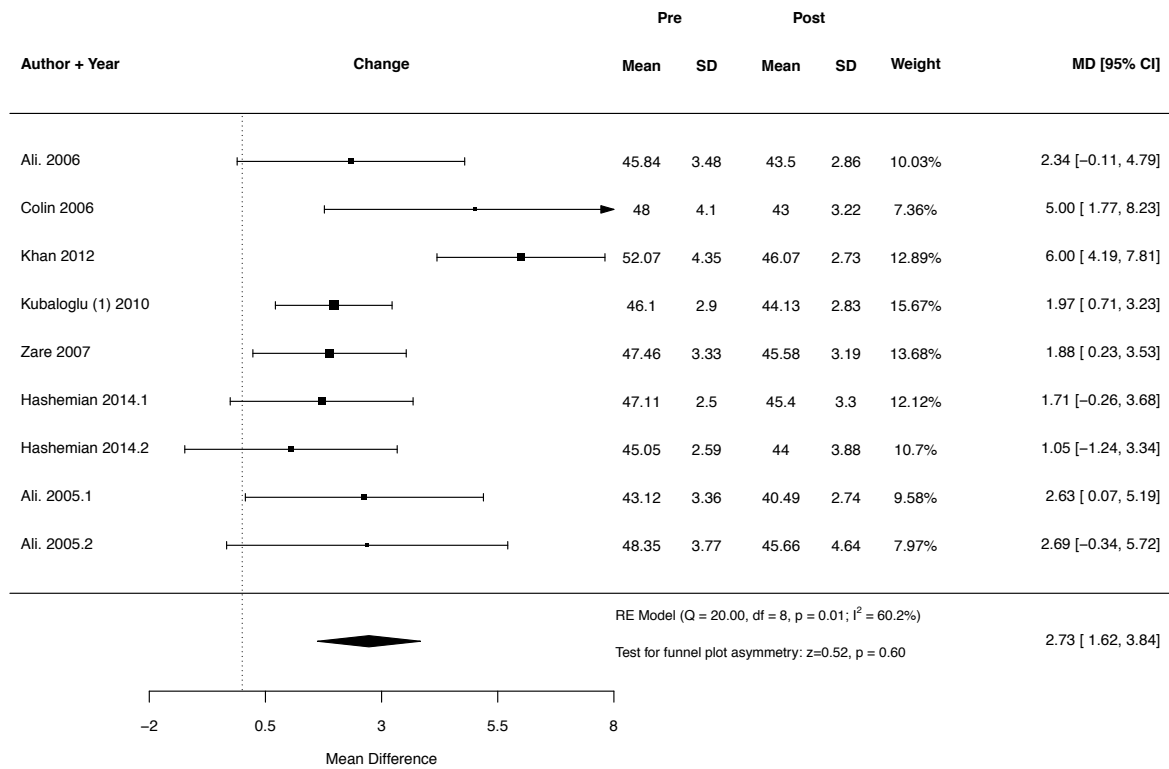


Abbildung 158: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

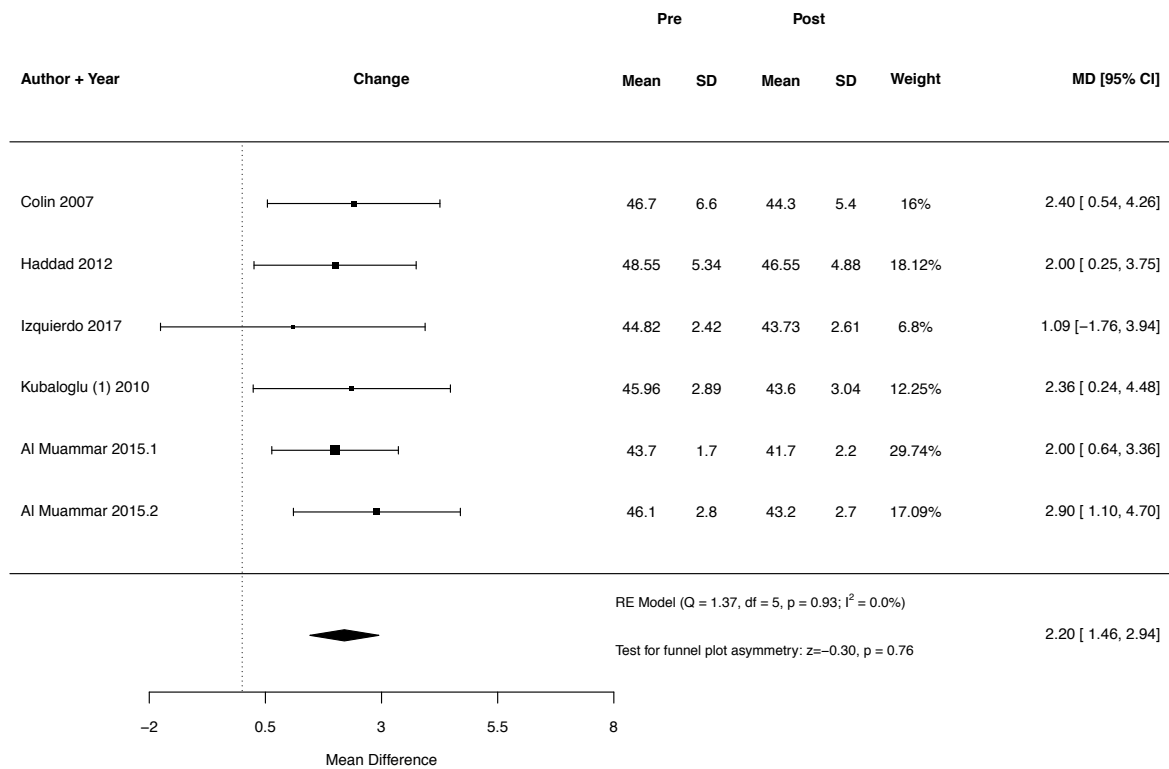


Abbildung 159: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

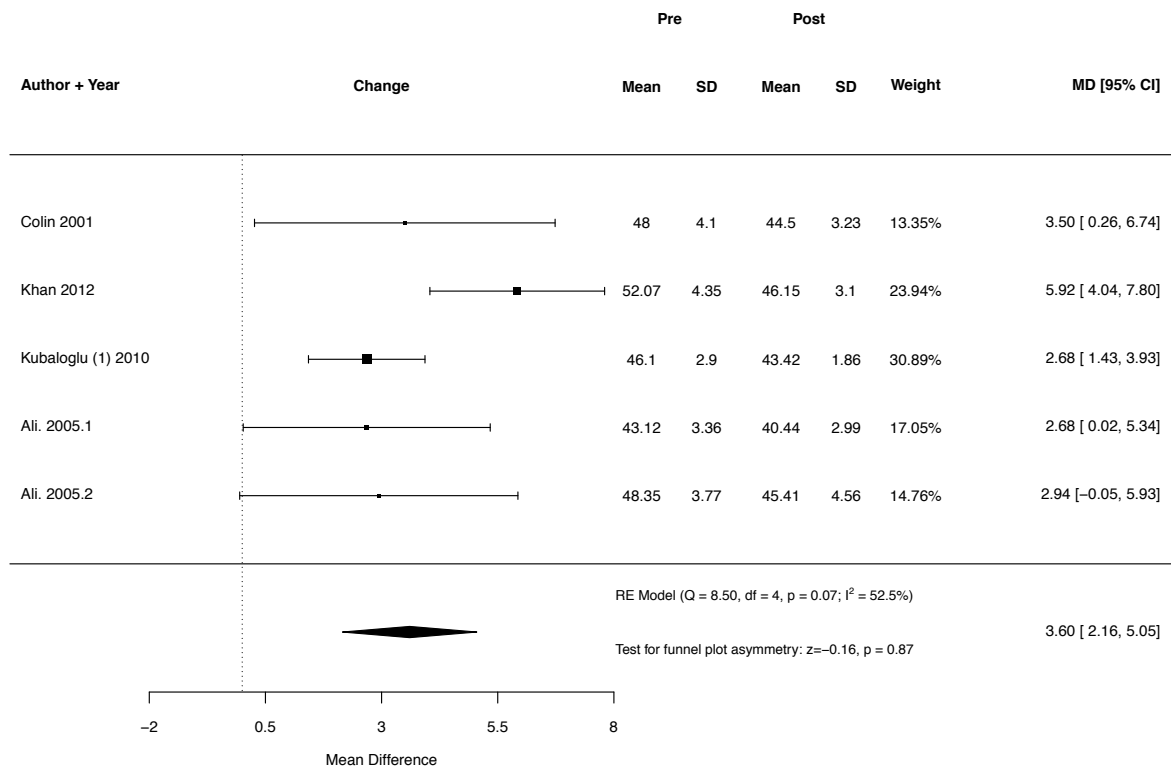


Abbildung 160: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Intacs/Intacs SK-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

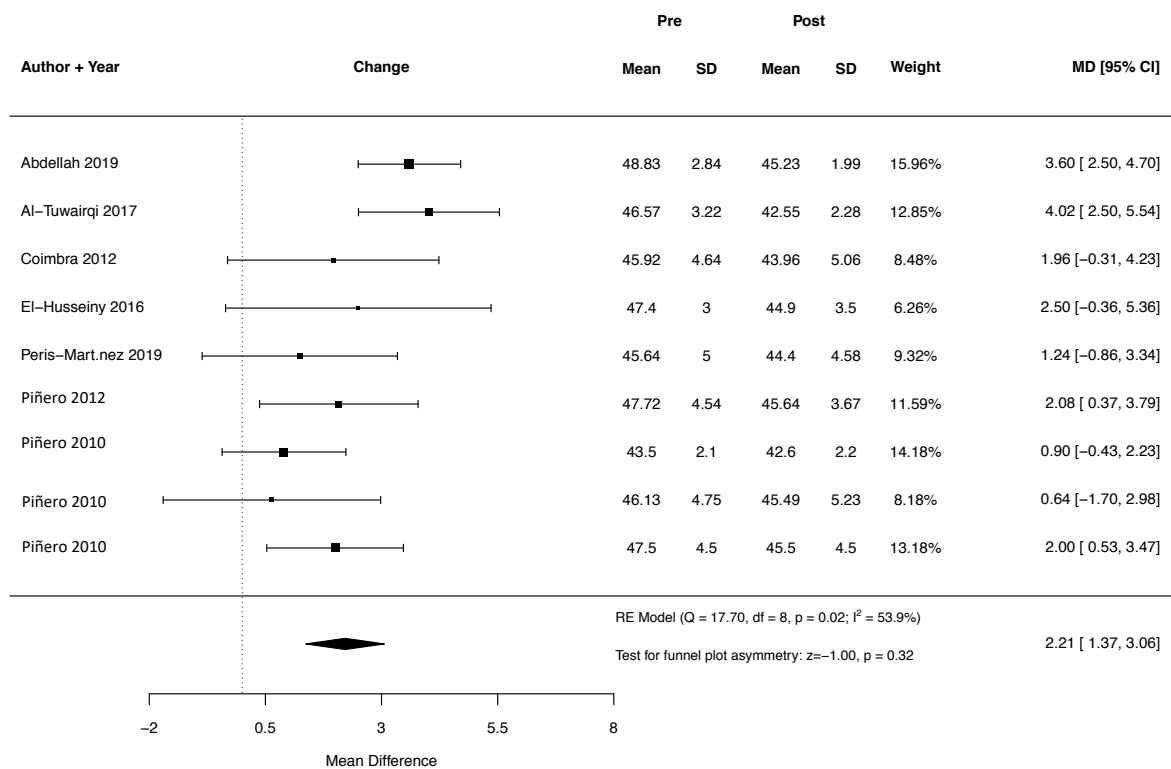


Abbildung 161: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

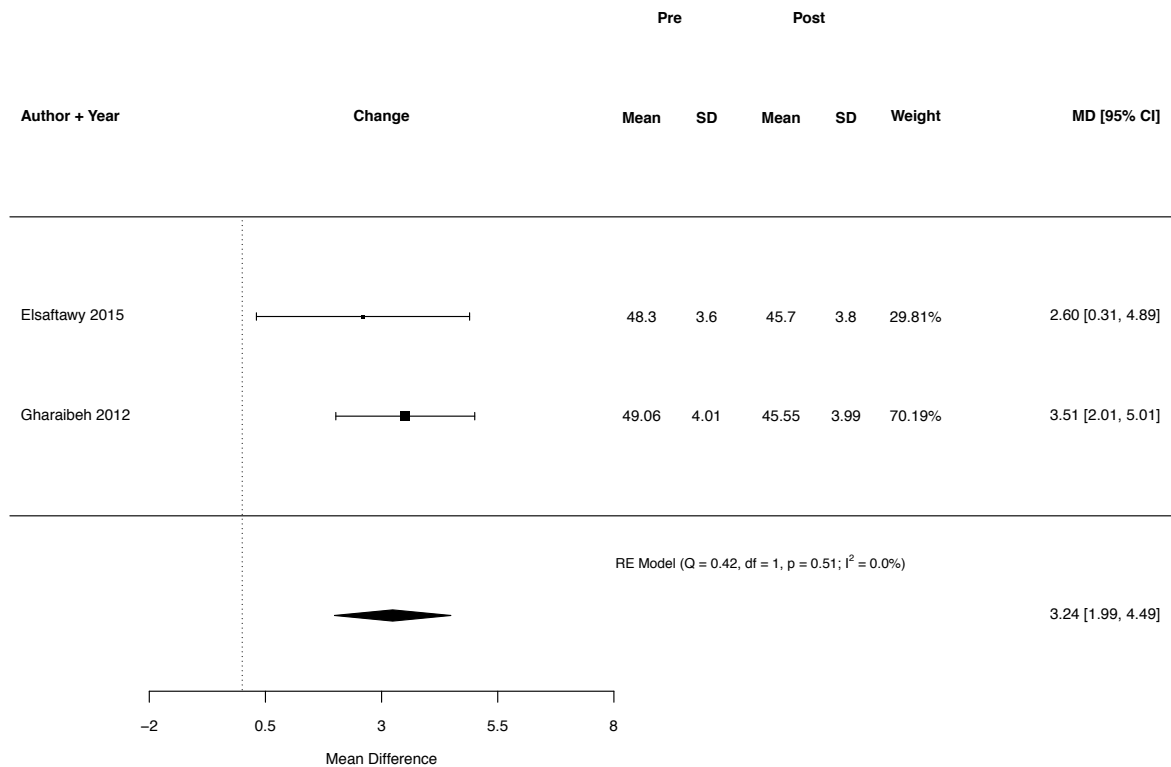


Abbildung 162: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

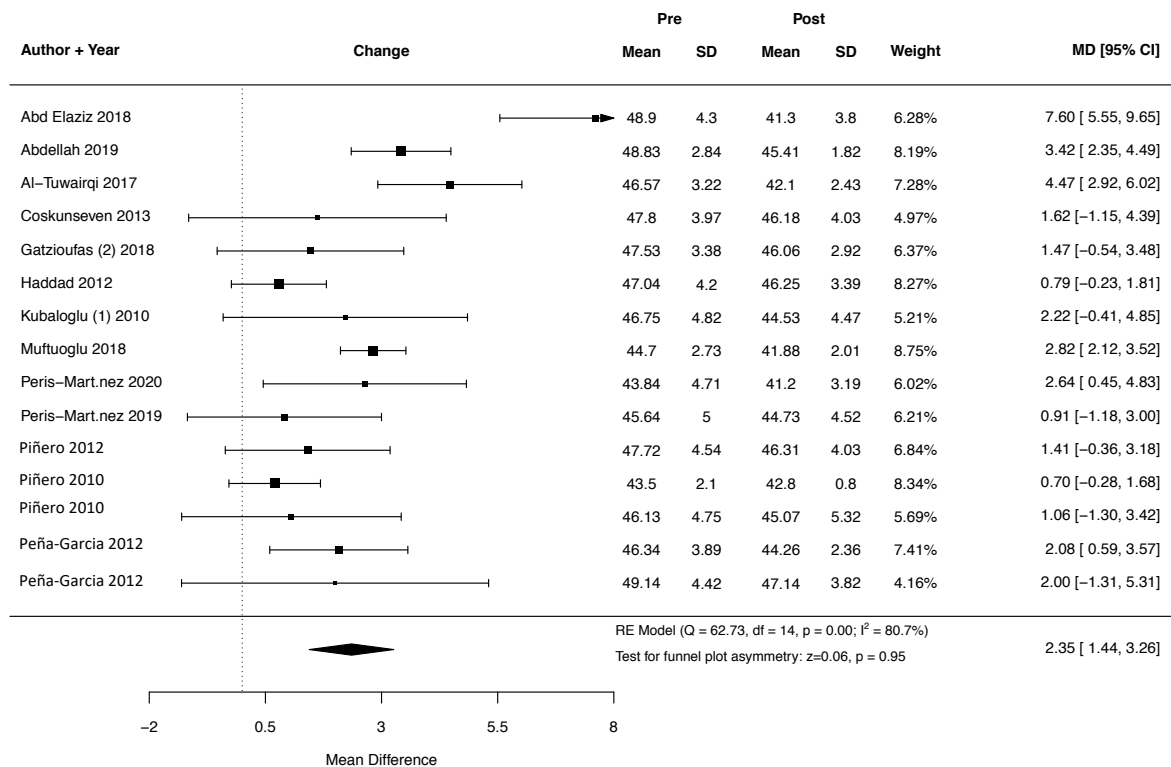


Abbildung 163: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

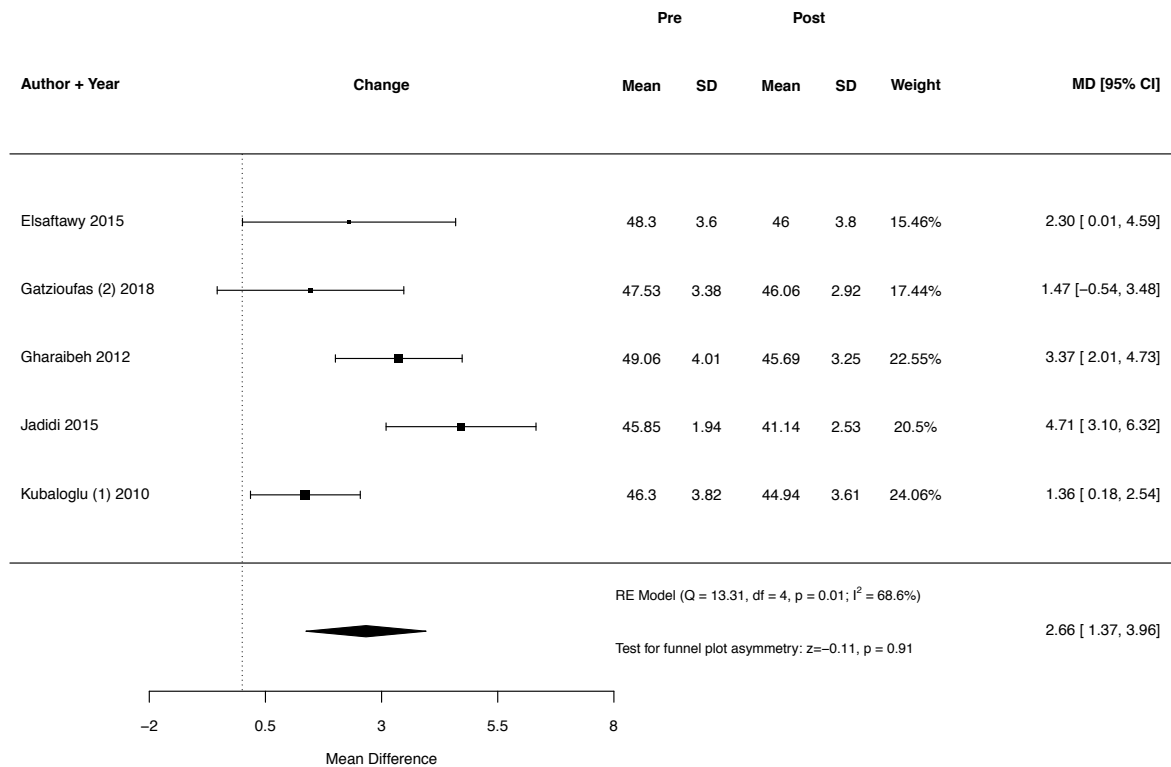


Abbildung 164: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

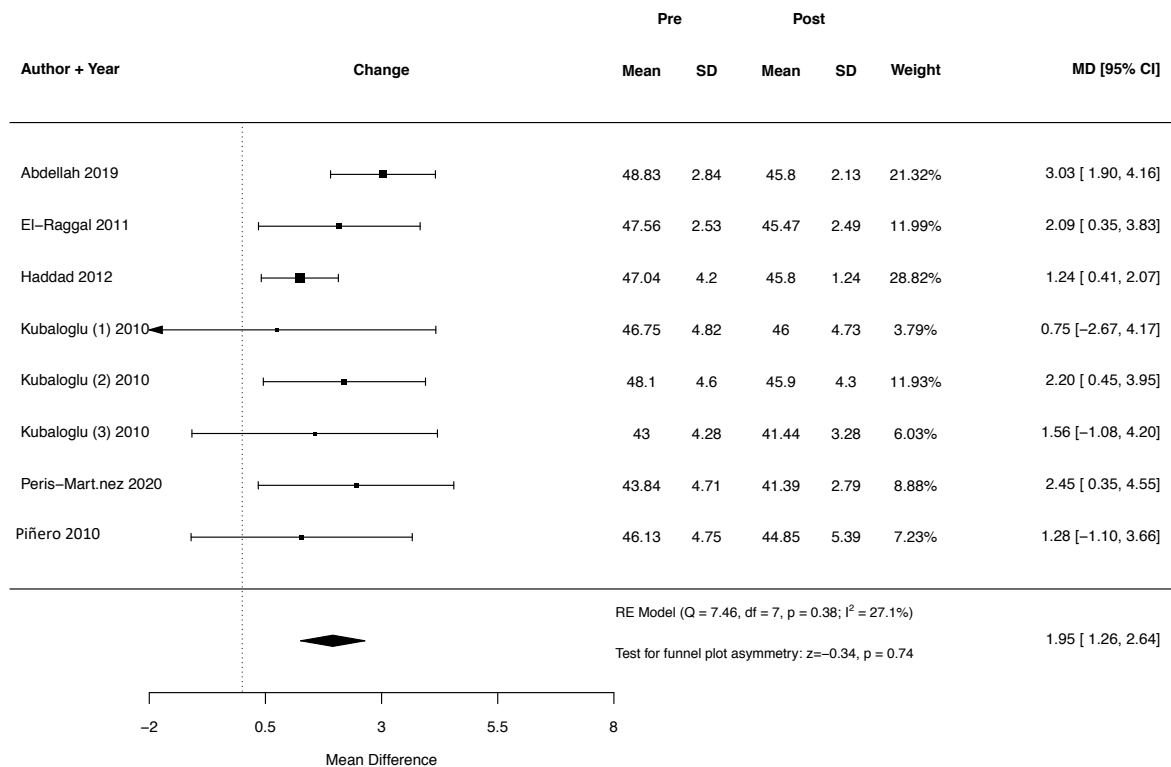


Abbildung 165: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

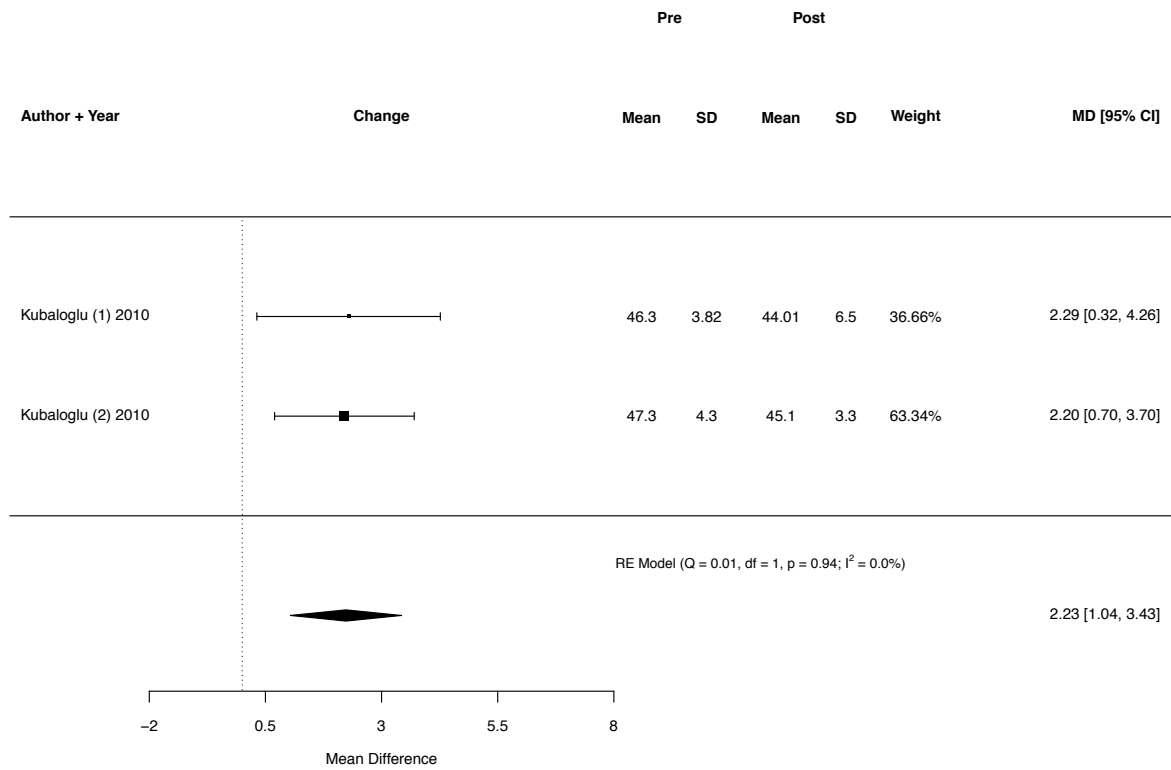


Abbildung 166: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Keraring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

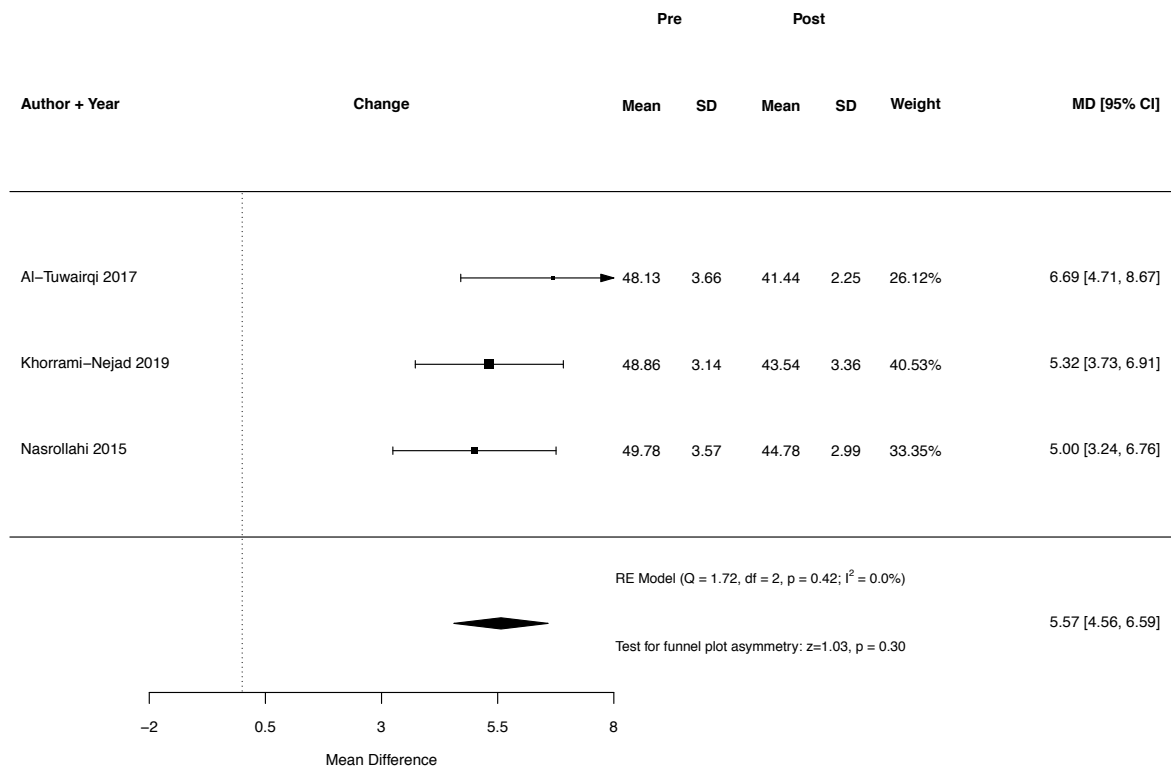


Abbildung 167: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

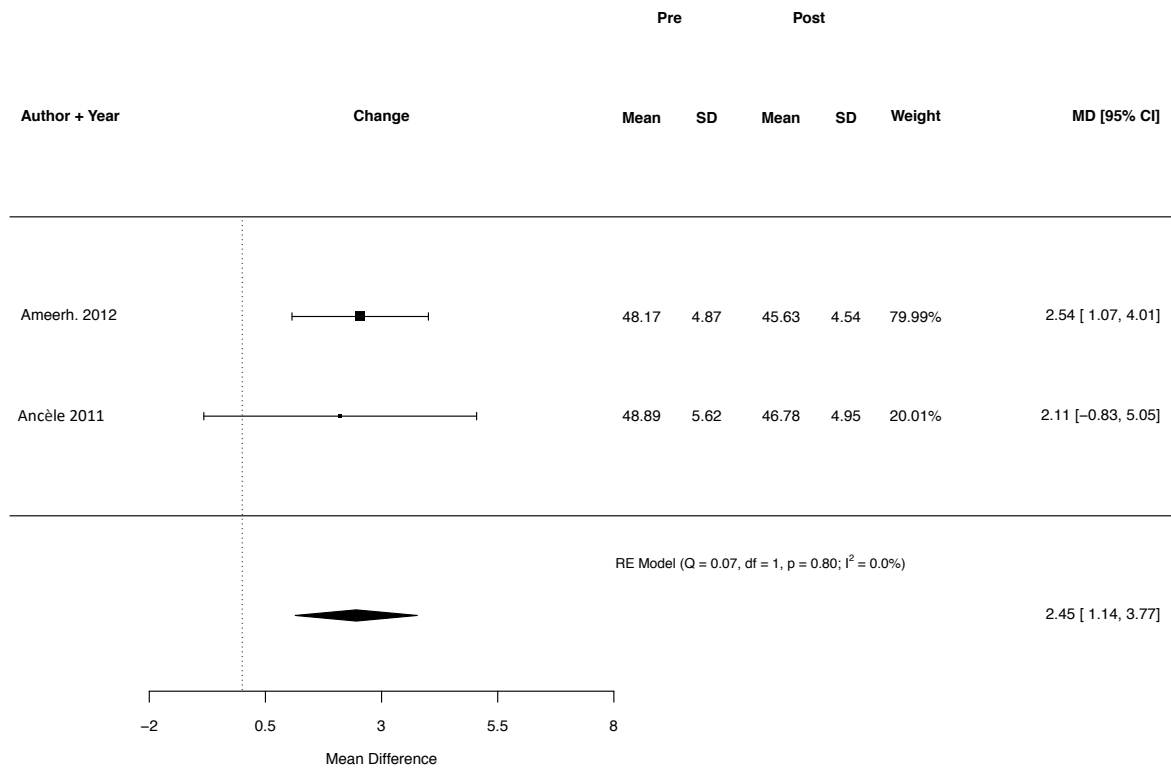


Abbildung 168: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach MyoRing-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

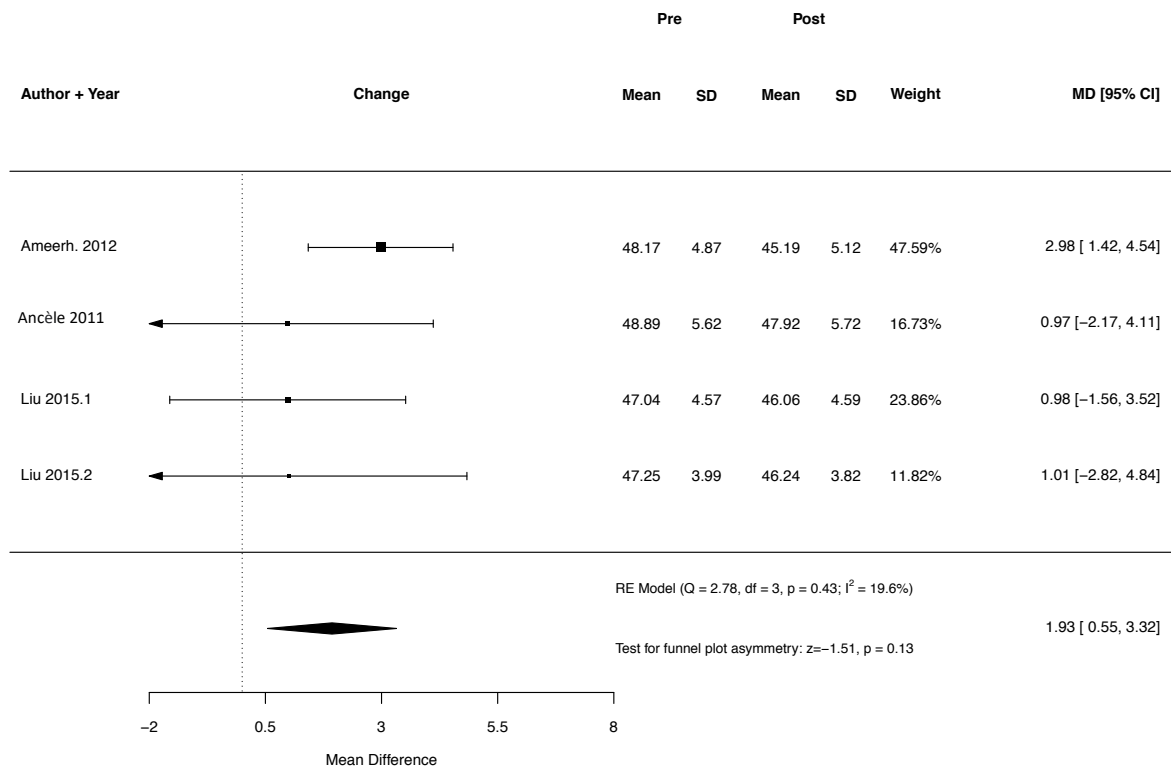


Abbildung 169: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Drei-Monats-Follow-ups

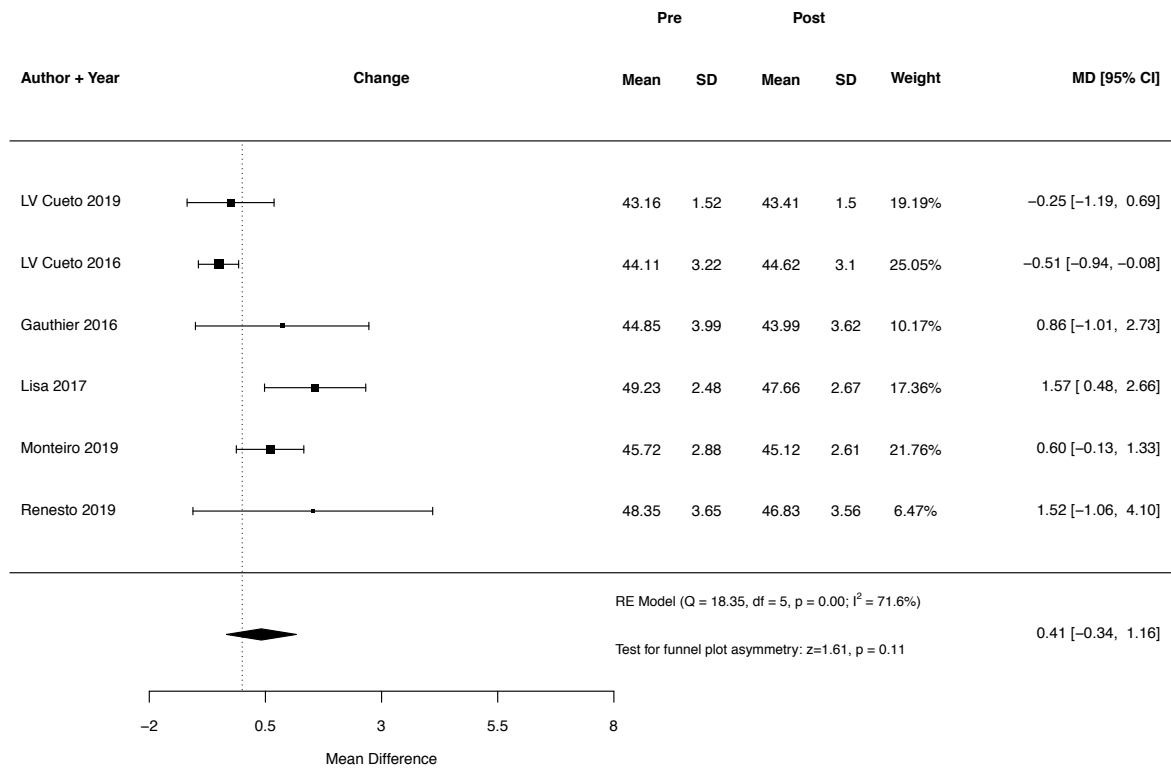


Abbildung 170: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Sechs-Monats-Follow-ups

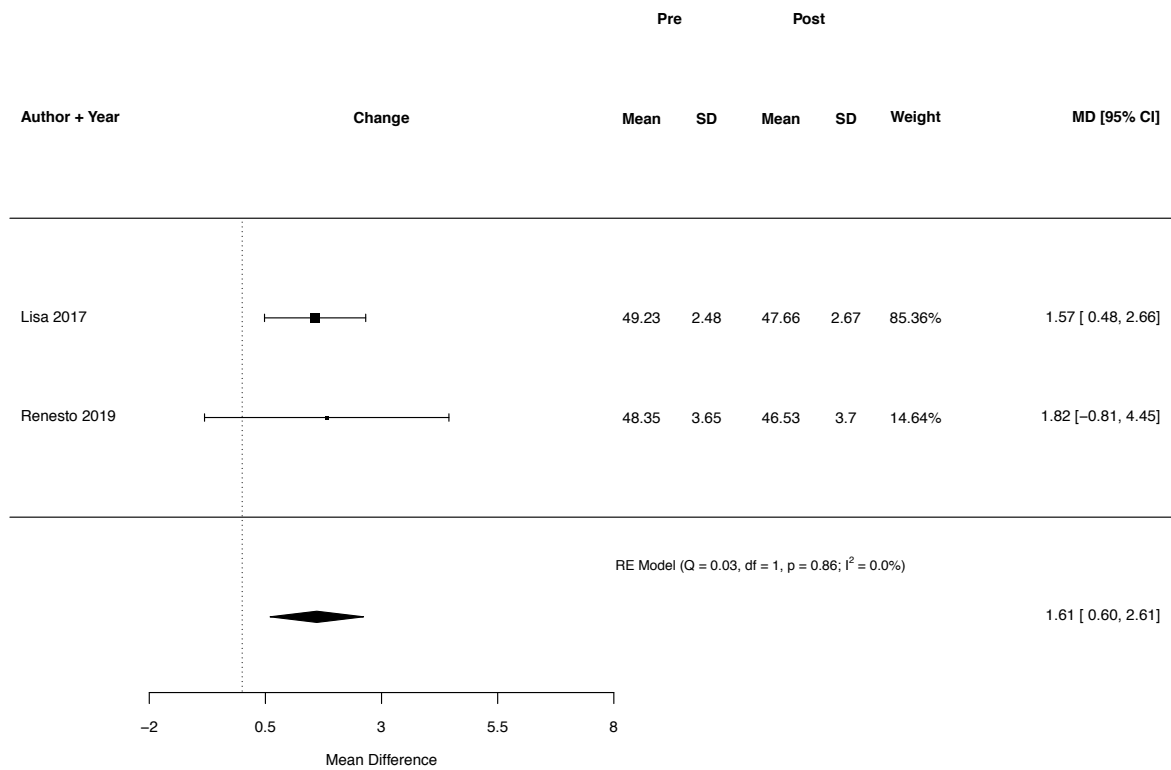


Abbildung 171: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mithilfe des Femtosekundenlasers zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

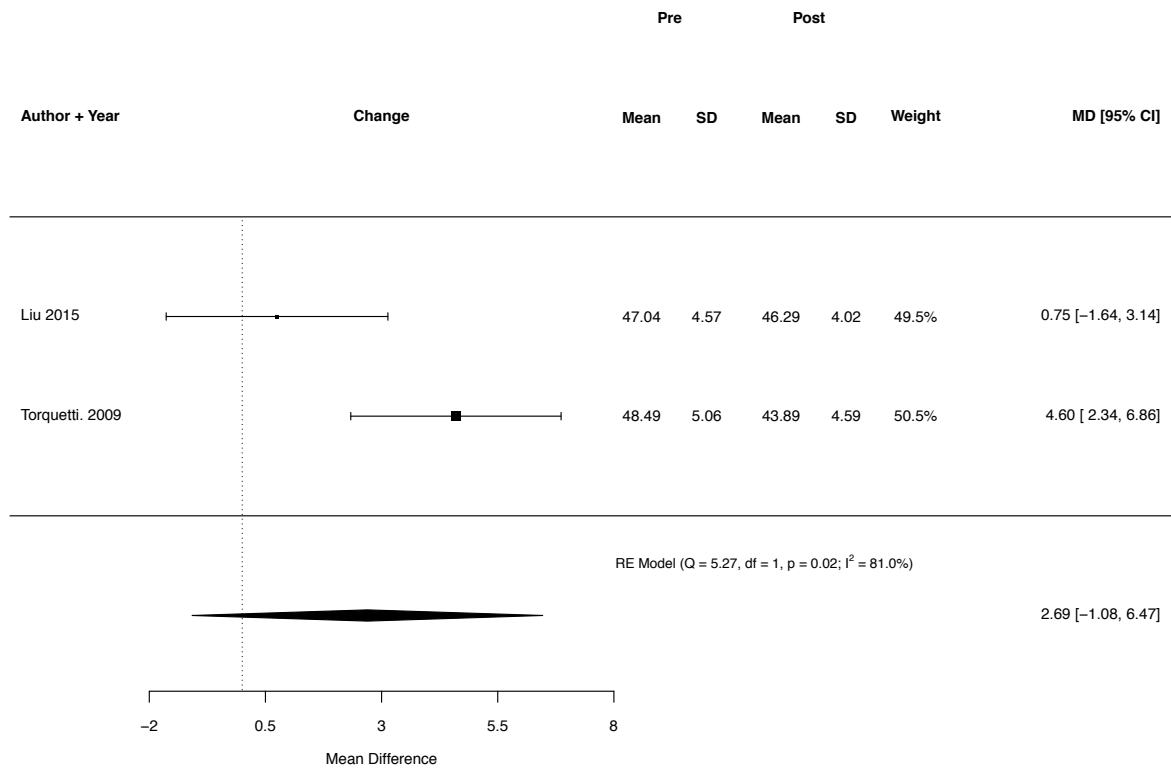


Abbildung 172: Weighted mean difference des flachen Keratometriewertes nach Ferrara Ring-Implantation mittels mechanischer Tunnelpräparation zum Zeitpunkt des Zwölf-Monats-Follow-ups

13. Publikationen

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden bei *Cornea* am 01.10.2021 zur

Veröffentlichung angenommen:

Struckmeier A, Hamon L, Flockerzi E, Munteanu C, Seitz B, Daas L:

Femtosecond laser and mechanical dissection for ICRS and MyoRing implantation - a meta-analysis.

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden im Rahmen des Online-Kongresses der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft 2021 (30.09.-03.10.2021) präsentiert:

Struckmeier A, Hamon L, Flockerzi E, Munteanu C, Seitz B, Daas L:

Vergleich von Femtosekundenlaser-assistierter und mechanischer Implantation von ICRS und MyoRing - eine Metaanalyse.

14. Lebenslauf

Aus datenschutzrechtlichen Gründen wird der Lebenslauf in der elektronischen Fassung der Dissertation nicht veröffentlicht.

14. Danksagung

Herrn Prof. Seitz danke ich für die Inspiration zur Wahl des Themas dieser Dissertation sowie die stetige Unterstützung und Motivation.

Herrn Dr. Daas und Herrn Munteanu danke ich für Anregungen und Hilfe bei der statistischen Auswertung der Daten.

Meiner Familie sowie meinen Freunden danke ich für die stetige Unterstützung.