

UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF

Klinik und Poliklinik für Augenheilkunde

Univ.-Prof. Dr. med. Martin Spitzer (FEBO)

Partielle Monovision durch die unilaterale Implantation einer multifokalen Add-on Linse bei beidseitiger Pseudophakie: Auswertung und Ergebnisse

Publikationspromotion

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Vitus André Knecht
aus Bonn

Hamburg 2022

**Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 23.06.2023**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität
Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Christiane K. Bauer

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: PD Dr. Andrea Hassenstein

Inhaltsverzeichnis

I.	Artikel	S. 4
II.	Darstellung der Publikation	S. 16
	1.0 Einleitung	S. 16
	2.0 Material und Methoden	S. 19
	2.1 Studienaufbau und -design	S. 18
	2.2 Endpunkte der Studie	S. 20
	3.0 Ergebnisse	S. 22
	4.0 Diskussion	S. 24
	5.0 Zusammenfassung	S. 32
	6.0 Abstract	S. 33
	7.0 Abkürzungsverzeichnis	S. 34
	8.0 Literaturverzeichnis	S. 35
III.	Darstellung des Eigenanteils	S. 40
IV.	Danksagung	S. 40
V.	Lebenslauf	S. 41
VI.	Eidesstattliche Erklärung	S. 43



Partial monovision achieved by unilateral implantation of a multifocal add-on lens with bilateral pseudophakia: evaluation and results

Vitus André Knecht^{1,2} · Horațiu Alexandru Colosi³ · Andrea Hassenstein¹Received: 7 December 2020 / Revised: 4 January 2022 / Accepted: 1 February 2022 / Published online: 17 February 2022
© The Author(s) 2022

Abstract

Purpose To assess the results of partial monovision (PMV) in comparison to a bilateral monofocal implantation (MMV).**Methods** The PMV group was treated bilaterally with a monofocal intraocular lens (IOL) implantation, followed 3 months later by the implantation of a multifocal AddOn® lens (+3.00 D) into the non-dominant eye. The MMV group received a bilateral monofocal IOL implantation intending to achieve a slight anisometropia (0.0 D/−0.50 D). The near visual acuity (UNVA), intermediate visual acuity (UIVA), distance visual acuity (UDVA), defocus curve, and Lang-Stereotest II were conducted uncorrected, binocular, and minimum 3 months after the last operation. For the contrast sensitivity test, the patients were refractively corrected. The Quality of Vision Questionnaire (QoV), Visual Function Questionnaire (VF-14), spectacle independence, and general satisfaction were also assessed.**Results** A total of 27 PMV patients and 28 MMV patients without ocular diseases relevant to visual acuity were examined. The PMV group was significantly better at UNVA (0.11 ± 0.08 logMAR vs 0.56 ± 0.16 logMAR) and between −2.00 and −4.00 D in the defocus curve ($p < 0.001$). At the UIVA, the PMV group was slightly better (0.11 ± 0.10 logMAR vs 0.20 ± 0.18 logMAR) but not significant ($p = 0.054$). The UDVA (-0.13 ± 0.09 logMAR vs -0.09 ± 0.14 logMAR) ($p = 0.315$) and contrast sensitivity ($p = 0.667$) revealed no differences between the groups. The stereo vision was in favor of PMV ($p = 0.008$). Spectacle independence was statistically better for PMV at distance, intermediate, and near (distance $p = 0.012$; intermediate $p < 0.001$; near $p < 0.001$). In the VF-14 Questionnaire, the PMV was statistically superior ($p < 0.001$). The QoV Questionnaire showed no differences regarding frequency and severity of visual disturbances. Both groups were highly satisfied ($p = 0.509$).**Conclusion** Patients with PMV are more independent of glasses and are able to read without disadvantages in distance vision, due to halos and glare. The concept of PMV is well suited for the desire of eyeglass independence, without optical side effects.**Keywords** Partial monovision · Presbyopia correction · Cataract surgery · Refractive surgery · Multifocal AddOn® · Unilateral trifocal AddOn®

Key messages

- Bilateral multifocal IOL implantation causes photopic phenomena in a variety of patients.
- The unilateral multifocal AddOn® implantation leads to few photopic phenomena.
- The unilateral multifocal AddOn® implantation leads to good visual results and spectacle independence at all distances.

This paper was presented at the DOG 2020 online Berlin, 10.10.2020 Sa19 Refractive surgery/lens.

✉ Vitus André Knecht
vitus-andre.knecht@charite.de¹ Department of Ophthalmology, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany² Department of Ophthalmology, Charité University Medicine Berlin, Mittelallee 4, Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin, Germany³ Department of Medical Education, Division of Medical Informatics and Biostatistics, Iuliu Hatieganu University of Medicine and Pharmacy, Cluj-Napoca, Romania

Introduction

Presbyopia is an age-related decrease in lens elasticity with a progressive loss of accommodation. Patients can no longer see clearly in the near range and need reading glasses [1]. The correction of presbyopia is achieved with a near addition, which is up to 3 diopters (D). After a cataract operation with target refraction emmetropia, reading glasses or progressive glasses are required for the near and intermediate distance. However, many patients wish to live without glasses. Surgical correction by multifocal intraocular lenses (IOLs), monovision, and refractive corneal surgery has not yet led to an optimal solution [1]. Approximately 4% of patients in Europe choose a multifocal lens [2]. This reveals the doubts of doctors and patients about the available methods.

Patients with a multifocal IOL or a refractive corneal surgery feel disturbed by the decreased quality of far vision (waxy vision), the reduced reading quality especially in poor lighting, halos, glare in the dark, and deviation from the target refraction (blurred vision). In literature, it is therefore recommended that patients should be selected with caution, taking into account the personality and needs of the patient [3]. Trifocal lenses have largely replaced bifocal lenses, as they are clearly superior in the intermediate range [4]. In the last few years, enhanced depth of focus (EDOF) lenses with a single elongated focal point have entered the market. EDOF lenses achieve better results in the intermediate range, e.g., on the computer, and have fewer optical side effects. The disadvantage is the weakened near range compared to trifocal lenses [5]. To overcome the disadvantages of both lens systems, some surgeons combine them in a mix-and-match approach [6]. Furthermore, multifocal IOLs can be implanted in the sulcus in cases of pseudophakia. A better centration of the sulcus IOL was observed with the advantage of reversibility [7, 8].

In monovision, the dominant eye is set with a monofocal IOL for distance vision, while the non-dominant eye receives a monofocal IOL for near vision. The use of monovision is limited because the difference of 2 diopters between the two eyes can lead to binocular vision disorders and is then poorly tolerated by patients. The stereoscopic vision is less in monovision. Small differences in refraction are better tolerated, but do not allow reading without glasses [9].

The combination of both methods, monovision and the implantation of a multifocal lens in one eye, leads to a modified monovision: a partial monovision. In this procedure, one eye receives a monofocal IOL, and the other eye a multifocal system. Patients of the control group (MMV) were treated bilaterally with monofocal IOLs with the aim of achieving a slight anisometropia of half a diopter.

The selection of a monofocal comparison group was made to show that the PMV patients have a superior reading ability, without loss of far and contrast vision and their quality of vision due to glare and halos.

The aim of the study has been to investigate whether PMV can avoid the disadvantages of monovision and bilateral multifocal IOL implantation and can help patients become spectacle independent without side effects, by using various vision tests and subjective questionnaires.

Methods

Study setting and design

This monocentric observational retrospective cohort study was conducted unblinded and not randomized with the consent of the Ethics Commission Hamburg. The study was conducted as a pilot study planning to examine 30 patients per group [10]. The groups were matched for the overall proportion of age, gender, and type of surgery (clear lens extraction (CLE) or cataract). The surgeries were performed before the start of the study after detailed medical consultation and at the patients' request. This allowed us to access 2 patient pools retrospectively. We recruited a total of 60 patients from these 2 patient pools consecutively.

Inclusion criteria for participation in the study were no previous eye or systemic diseases that could have a negative impact on vision and surgery without complications. The examination took place at the earliest 3 months after the last operation.

In addition to their study participation consent, the patients have agreed to the data protection concept and the anonymized use of their data. The IOL implantation was performed by the same surgeon who was not involved in the patient selection to avoid bias. The eyes were measured with the IOL Master 500 from Zeiss (Carl Zeiss AG). In addition, a measurement with the iTrace from Tracy (Tracey Technologies LLC) was performed to exclude higher-order aberrations, calculate toric lenses, and measure the angle kappa.

The partial monovision is performed in 3 steps: First, a monofocal IOL is implanted in the patient's non-dominant eye. In the second step, which takes the refraction result of the first eye into account, a monofocal IOL is implanted into the dominant eye. In the third step, a multifocal AddOn® lens is implanted in the sulcus anterior to the monofocal IOL in the non-dominant eye after 3 months. This approach limits monovision to the near range.

The target refraction for the control group was 0 D in one eye and -0.5 D in the other eye resulting in a mild monovision, as is often the practice for a monofocal lens implantation.

Details of the lenses used

The monofocal models in the study were the aspherical, non-toric lenses: Hoya iSert® 250, 255, Vivinex iSert® XC1, XY1, and AcrySof® IQ. The AcrySof® IQ Toric IOL was used as the toric monofocal lens model. The selection of the monofocal lenses was made by the patients after personal considerations with the help of the surgeon. The multifocal add-on model was the 1stQ A4DW0M, a diffractive multifocal AddOn® lens with trifocal optic through elevated phase shift diffractive array—6 steps, apodized, the constructive interferences create an intermediate peak. The spherical and toric correction of residual refractive errors is possible.

The refractive power of the AddOn® IOL was calculated based on the refractive error (subjective refraction) of the eye. An online calculator from 1stQ is available for this purpose or the measured values are sent to the manufacturer who calculates the IOL for the patient.

Study outcomes

Regarding the primary outcomes, the following tests were performed binocularly uncorrected under standardized conditions in a single session. First, the uncorrected distant visual acuity (UDVA) was measured at 6 m using a Möller-Wedel M 2000 projector (Möller-Wedel GmbH). After that, the uncorrected intermediate visual acuity (UIVA) was tested at a distance of 80 cm with Sloan letters in ETDRS format from Precision Vision (Precision Vision, Inc.). Uncorrected near visual acuity (UNVA) was documented with Precision Vision's mixed Colenbrander contrast plate at 100% and 10% contrast. For reading ability, the last fluently presented sentence was evaluated. The uncorrected binocular defocus curve was performed with Möller-Wedel instruments, the M 2000 projector, and the Visutron Plus phoropter. The visual acuity was documented in 0.5 diopter steps from +1 D on to -4 D. The Lang-Stereotest II was applied. Only for the low-contrast distant visual acuity the patients were refractively corrected, in order not to influence the result by refractive errors. The contrast sensitivity was tested at 6 m with the computer program Freiburg Vision Test ("FrACT") by Prof. Bach [11].

In addition to the objective eye tests, as secondary outcomes, the subjective satisfaction values were also surveyed. With the Quality of Vision Questionnaire (QoV) [12], patients were asked about various photopic phenomena and their frequency, severity, and impairment. The Visual Function Questionnaire (VF-14) [13] explores how patients can manage everyday situations, but in our study without wearing glasses.

Patients were inquired about their independence of glasses for the distance, the intermediate range, and the near range. Furthermore, the general satisfaction was assessed on

a scale from 0 to 10 (0, totally dissatisfied/10, completely satisfied).

Statistical analysis

Data were collected using Excel spreadsheets (Microsoft Corp.). Continuous variables with normal distribution have been compared using *t*-tests for independent samples. For continuous variables with a non-normal distribution, Mann–Whitney tests have been applied. Chi-square tests were used for the frequency analysis of qualitative variables. A Rasch analysis of the QoV was performed. For the estimation of the RASCH model, the Software Package R (version 4.0.2) was used. The function `tam.mml()` of the package TAM was applied for fitting the model, where a marginal maximum likelihood approach was chosen to determine the model coefficients. The answers to the QoV Questionnaire were ranked on a linear interval scale (0 to 100). Here, lower Rasch-weighted QoV scores indicate better vision quality. Differences between the compared groups which rendered *p* values lower than 0.05 were considered statistically significant. Analyses have been performed using IBM SPSS Statistics 25 (IBM Corp.).

Results

Demographics

In total, 27 PMV patients and 28 MMV patients were examined and evaluated. All 60 patients wanted to participate in the study, but during the 2 weeks of scheduled examinations, 5 patients could not attend due to illness, vacation, or job-related reasons.

The demography of the studied sample is presented in Table 1. No significant differences have been found between the groups concerning age, gender, type of surgery, follow-up, preoperative spherical equivalent (SEQ), and biometry. Postoperatively, the target refraction of emmetropia in PMV and mild anisometropia of half diopter myopia/emmetropia in MMV was achieved. This intended refractive difference was confirmed as statistically significant. Toric lenses were frequently used in both groups, PMV 56% and MMV 38% of the eyes ($p = 0.057$).

Visual acuity

Binocular UNVA showed significantly better results in all categories in favor of PMV ($p = 0.001$). The PMV group showed 100% of patients (pat.) with ≥ 0.30 logMAR and 96% ≥ 0.20 logMAR. In comparison, 14% of patients ≥ 0.30 logMAR and 0% ≥ 0.20 logMAR were found in the MMV group.

Table 1 Demography of the studied sample

	Mean \pm SD range: (X to X) median: (X)		<i>p</i> value
	PMV	MMV	
<i>N</i> (patients)	27	28	/
Age (in years)	58.89 \pm 8.96 (41 to 72)	57.29 \pm 7.18 (45 to 69)	0.470
Gender (female/male)	13/14	16/12	0.504
Type of operation (CLE/cataract)	12/15	10/18	0.509
Follow-up (days)	421 \pm 279 (106 to 1111)	335 \pm 215 (99 to 969)	0.386
Preoperative SEQ (D)	-1.24 \pm 4.10 (-12.56 to +3.19)	-1.41 \pm 4.98 (-11.94 to +9.00)	0.669
AL (mm)	24.12 \pm 1.40 (21.83 to 27.49)	23.10 \pm 1.58 (20.79 to 28.36)	0.613
K (D)	43.80 \pm 1.73 (39.22 to 47.14)	43.62 \pm 1.81 (39.41 to 46.36)	0.888
CYL (D)	-0.97 \pm 0.85 (-0.23 to -3.57)	-1.09 \pm 0.89 (-0.11 to -3.47)	0.839
CYL axis (°)	104.43 \pm 71.48 (143)	84.63 \pm 68.59 (70)	0.092
ACD (mm)	3.25 \pm 0.38 (3.29)	3.15 \pm 0.38 (3.08)	0.222
IOL power (D)	19.14 \pm 4.06 (10 to 25)	19.80 \pm 5.15 (8 to 30)	0.303
Toric lens (%)	30/54 (56%)	21/56 (38%)	0.057
Postoperative SEQ (D)	-0.06 \pm 0.39 (0)	-0.19 \pm 0.43 (-0.25)	0.049

CLE clear lens extraction, SEQ spherical equivalent, AL axial length, K keratometry equivalent, CYL corneal cylinder, CYL axis corneal cylinder axis, ACD anterior chamber depth, IOL intraocular lens, SD standard deviation, PMV partial monovision group, MMV monofocal group

Also, the binocular UIVA at 80 cm showed better results of PMV, but not statistically significant ($p=0.054$). PMV was better than MMV by 0.10 logMAR on average and median. The PMV group showed 100% of patients with ≥ 0.30 logMAR and 96% with ≥ 0.20 . In the MMV group, the results were 75% of patients with ≥ 0.30 and 57% with ≥ 0.20 . The PMV achieved a mean of -0.13 logMAR in binocular UDVA versus MMV with -0.09 logMAR. Statistical analysis showed no significant difference between the two groups ($p=0.613$).

The results for visual acuity from Table 2 also matched the uncorrected defocus curve in Fig. 1. Where MMV reached similar values as PMV, but from -2 D to -4 D, the defocus curve of MMV was significantly worse ($p=0.001$). Over the whole length of the defocus curve, the PMV had a lower standard deviation (SD); only at -1 D, the SD is the same.

Stereoacuity and contrast sensitivity

When comparing corrected contrast sensitivity, no significant differences were found in Table 3 ($p=0.667$).

The uncorrected Lang-Stereotest II was positive in 70% of PMV patients and in 29% of MMV patients, resulting in a statistically significant difference in stereo vision ($p=0.008$).

VF-14 Questionnaire

The VF-14 Questionnaire, SI 1. VF-14, confirmed the results of the visual tests. There was a high statistical significance in favor of PMV in the questions referring to near range 1, 2, 7, and 8. There was no statistically significant advantage of the MMV group in any question. Without any exception, the self-perceived level of PMV was at a score of 4 (no difficulty at all), while MMV was between 0 (not possible) and 2 (some difficulties) regarding the questions about near

Table 2 Visual acuity in logMAR

	Mean \pm SD median: (X)		<i>p</i> value
	PMV	MMV	
UDVA (6 m)	-0.13 \pm 0.09 (-0.20)	-0.09 \pm 0.14 (-0.10)	0.315
UIVA (80 cm)	0.11 \pm 0.10 (0.10)	0.20 \pm 0.18 (0.20)	0.054
UNVA (40 cm)	0.11 \pm 0.08 (0.10)	0.56 \pm 0.16 (0.60)	<0.001
UNVA reading ability (40 cm)	0.14 \pm 0.10 (0.10)	0.54 \pm 1.44 (0.60)	<0.001
UNVA 10% contrast (40 cm)	0.39 \pm 0.13 (0.40)	0.70 \pm 0.13 (0.70)	<0.001

logMAR logarithm of the minimum angle of resolution, UDVA uncorrected distance visual acuity, UIVA uncorrected intermediate visual acuity, UNVA uncorrected near visual acuity, SD standard deviation, PMV partial monovision group, MMV monofocal group

Fig. 1 Uncorrected binocular defocus curve. Note: Vertical bars denote standard deviation. Abbreviations: PMV, partial monovision group; MMV, monofocal group; D, diopter; logMAR, logarithm of the minimum angle of resolution

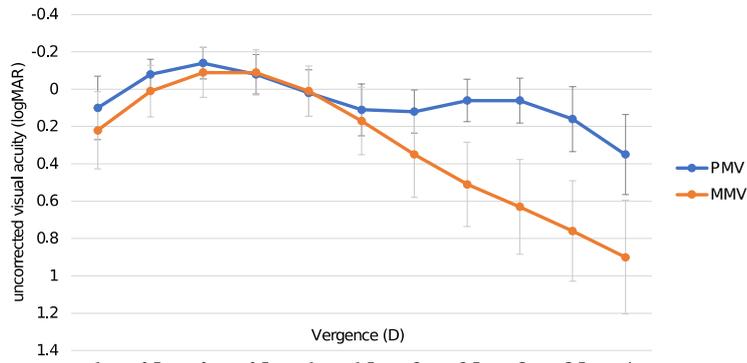


Table 3 Contrast sensitivity and stereo vision

	Mean ± SD median: (X)		<i>p</i> value
Contrast sensitivity (6 m)	PMV	MMV	0.667
	1.77 ± 0.11 (1.81)	1.76 ± 0.22 (1.81)	
Number of patients: X/X (X%)			
Lang-Stereotest II uncorrected			0.008
P: positive	P: 19/27 (70%)	P: 8/28 (29%)	
D: doubtful	D: 4/27 (15%)	D: 9/28 (32%)	
N: negative	N: 4/27 (15%)	N: 11/28 (39%)	

SD standard deviation, P positive, D doubtful, N negative, PMV partial monovision group, MMV monofocal group

range. Both groups had no difficulty driving at night without glasses.

Spectacle independence

As listed in Table 4, PMV patients were more likely to be spectacle independent than MMV patients at near and intermediate distances. At distance, all PMV patients were spectacle free compared to 14% of patients in the MMV group who always wear spectacles. The general satisfaction was on average higher in the MMV group, while there was no difference between the groups regarding the self-perceived median score of 9 points.

Quality of Vision Questionnaire

The results of the Quality of Vision Questionnaire are shown in Fig. 2, where low scores on the Rasch scale indicate fewer optical disturbances. It appears that the PMV group had a slightly better performance at the QoV than the MMV group, but there was no statistically significant difference in frequency (PMV 8.24 ± 8.07 (9.54) vs MMV 13.51 ± 13.31 (11.18) (mean ± SD (median))) (*p*=0.288) and severity (PMV 8.87 ± 7.87 (9.84) vs MMV 15.27 ± 11.47

(13.48)) (*p*=0.172) of visual disturbances. The difference in the degree of bothersome (PMV 1.20 ± 1.21 (1.02) vs MMV 3.85 ± 2.93 (3.89)) (*p*=0.020) was significant. In total, 85% of the PMV patients did not experience any halos and no single PMV patient noticed halos “very often”. Then, 93% of the PMV patients were not bothered by halos at all; this accounts for 89% patients in the MMV group.

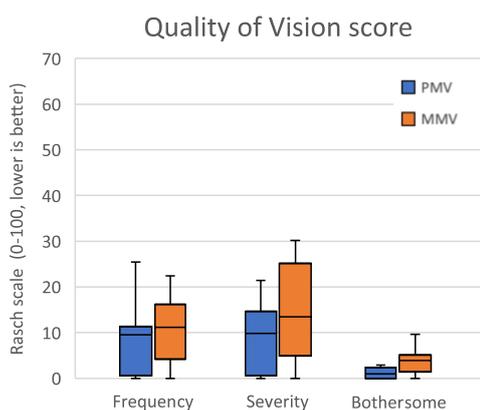
Discussion

Our study has shown that PMV patients achieved good reading visual acuity with no disadvantages in distance vision. In addition, they were significantly more independent of glasses without increased perception of optical side effects such as halos and glare compared to the monofocal control group.

For more than 20 years, multifocal lenses have been used as an alternative to monofocal IOLs to achieve spectacle independence. Due to side effects, multifocal lenses could not be fully established until now. In Europe, about 4% of implanted lenses are multifocal lenses, as they can have disadvantages like reduced contrast sensitivity, halos, and glare [2]. There have been technical improvements and further

Table 4 Spectacle independence

	Mean \pm SD number of patients: X/X (X%)		<i>p</i> value
	PMV	MMV	
1.1 How often do you wear glasses for any purpose?	0.41 \pm 0.50 (0) 0: 16/27 (59%) 1: 11/27 (41%) 2: 0/27 (0%)	1.00 \pm 0.54 (1) 0: 4/28 (14%) 1: 20/28 (71%) 2: 4/28 (14%)	<0.001
1.2 How often do you wear glasses for near tasks (e.g., reading print)?	0.48 \pm 0.58 (0) 0: 15/27 (56%) 1: 11/27 (41%) 2: 1/27 (5%)	1.71 \pm 0.66 (2) 0: 3/28 (11%) 1: 2/28 (7%) 2: 23/28 (82%)	<0.001
1.2 How often do you wear glasses for intermediate tasks (e.g., computer)?	0.30 \pm 0.72 (0) 0: 23/27 (85%) 1: 0/27 (0%) 2: 4/27 (15%)	1.32 \pm 0.95 (2) 0: 9/28 (32%) 1: 1/28 (4%) 2: 18/28 (64%)	<0.001
1.3 How often do you wear glasses for distance tasks (e.g., driving)?	0.00 \pm 0.00 (0) 0: 27/27 (100%) 1: 0 2: 0	0.36 \pm 0.73 (0) 0: 22/28 (79%) 1: 2/28 (7%) 2: 4/28 (14%)	0.012
<i>SD</i> standard deviation; 0 = never; 1 = sometimes; 2 = always			
2. General satisfaction (scale 0–10)	Mean \pm SD. Median: (X)		<i>p</i> value
General satisfaction: 0 = totally dissatisfied; 10 = completely satisfied PMV partial monovision group, MMV monofocal group	8.67 \pm 1.62 (9)	9.04 \pm 1.04 (9)	0.509

**Fig. 2** Quality of Vision score. Item summary of frequency, severity, and bothersome on the *x*-axis. Rasch scale (0–100) on the *y*-axis. Boxplot shows median; 25–75%; min–max. Abbreviations: PMV, partial monovision group; MMV, monofocal group

developments in the field of multifocal IOLs over the years. Trifocal lenses have largely replaced bifocal lenses, being significantly better in the intermediate range [4].

In general, all these lenses reach the limits of physics and have specific side effects. The distribution of light to several focal points worsens contrast sensitivity and patients lose brilliance in distant vision [14].

Without exception, depending on the type of lens, about 15% of the light energy is lost due to the distribution of light [15]. As a result, patients complain about low-contrast vision (waxy vision) and difficulties reading in poorly illuminated conditions. In addition, patients are often disturbed by photopic phenomena such as halos and glare. This leads to considerable limitations in night vision and thus to numerous contraindications for implantation, such as professional driving [3].

As explained in the “Introduction”, enhanced depth of focus (EDOF) lenses with a single extended focal point have emerged in recent years, achieving better results in the intermediate range, and supposedly having fewer optical side effects. The disadvantage of trifocal IOLs in the intermediate range and EDOF IOLs in the near range is intended to be compensated with the mix-and-match approach [13]. A further problem when using multifocal lenses is the accuracy of the refractive result. In the everyday operative life, ophthalmic surgeons often only achieve a target accuracy of ± 0.5 D in 72.7% of cases. A target accuracy of ± 0.5 D and a cylinder of ≤ 1.0 D are only achieved in 55% of cases [16]. The goal of glasses-free vision often cannot be achieved without an additional correction with a Lasik touch-up. This Lasik touch-up frequently leads to an intensification of the already existing sicca syndrome and thus the optical side effects [17].

The treatment concept of PMV aims to avoid numerous problems of multifocal lenses. First, a monofocal IOL is implanted into the dominant eye, so that this eye should be

free of optical phenomena such as halos and glare. The evaluations showed that the binocular perception of halos was not increased compared to bilateral monofocal implantation ($p=0.340$). Compared to bilateral multifocal implantation, as, e.g., in the study by Monaco et al., halos were the most frequent phenomena (ca. 90% of patients) in both trifocal and EDOF groups; compared to their monofocal control group, the difference was significant [18]. The perception of halos in the PMV group (only 15% of patients) was substantially reduced relative to other studies [4, 19].

The monofocal IOL in the dominant eye is characterized by a higher optical quality compared to a multifocal IOL and therefore offers advantages for distance vision and contrast vision compared to bilateral trifocal lens implantation. The PMV showed a comparable good distance visual acuity to our bilateral MMV control group. The UDVA of PMV was higher compared to the trifocal studies of Cochener et al. and Mencucci et al. [20, 21]. In the study by Pilger et al., the monofocal group was statistically significantly superior to the EDOF group at UDVA [22].

The systematic three-step procedure increases the probability of an optimal refraction result. In order to achieve reliability, toric lenses were often used. The very good post-operative SEQ values and the low complaints about blurred vision in the PMV group support the three-step procedure. The studies of Gundersen et al. [23] and Gundersen and Potvin [24] have shown that ametropia is a major reason for postoperative correction in multifocal IOL implantation. In 8–12% of patients, a refractive correction is necessary. The implantation of a secondary lens (AddOn® lens) is a very good solution because sicca syndrome post-Lasik is avoided in elderly patients. Grundersen and Potvin [25] have examined the eyes for more than 3 years after AddOn® implantation and did not find intralenticular opacification and pigment dispersion. So far, none of the patients from PMV has been post-treated for a refractive error.

One might expect that the unilateral implantation of a multifocal IOL would lead to worse results in the intermediate and near range compared to the bilateral multifocal IOL implantation. However, the results of PMV obtained in UIVA are similarly good to those of bilaterally implanted EDOF and trifocal lenses reached in other studies [5, 20, 21]. A case series by Levinger showed that patients achieved very good UIVA and UNVA after unilateral refractive lens exchange with a trifocal lens in the non-dominant eye [26]. A retrospective observational case series by Fernández-García showed that bilateral refractive lens exchange with a trifocal lens was statistically better than unilateral one at UNVA with 0.04 ± 0.05 vs 0.09 ± 0.08 logMAR; no difference was found at UIVA [27].

In the current study, MMV also achieved reasonable results in the intermediary area, but the dependence on glasses of 64% of patients is higher than in the PMV group

with 15%. PMV patients achieved uncorrected binocular visual acuity of at least 0.30 logMAR in 100% of the cases.

PMV also showed very good results in UNVA. In the near vision, we obtained a high degree of spectacle independence in 96% of PMV patients and achieved comparable good visual performance to bilateral trifocal IOLs [20, 21]. The results obtained seem to be better than those after bilateral EDOF implantation [5, 20, 21]. The MMV group with mild monovision was of course much weaker in the near range.

The binocular vision with a unilaterally implanted multifocal AddOn® lens was good in 70% of the cases and satisfactory in another 15% of the cases. Experiences of Kavassy [28] with the Lang test in adults with regular monocular and binocular functions indicated that optical fogging in one of the eyes would only disrupt the stereoscopic picture if visual acuity was less than 0.3. As expected, stereo vision in the MMV group without near correction was severely limited. In the study of Varón et al., bilateral multifocal implantation showed worse stereo acuity compared to bilateral monofocal implantation with near addition [29]. On the other hand, the study by Iida, Shimizu, and Ito concluded that the stereo acuity of unilateral multifocal implantation is significantly higher with a near addition [30].

The results achieved by PMV at the VF-14 were in every question at least equally good to the results obtained in the study by Alió, Vega-Estrada, and Plaza-Puche with bilateral multifocal lens implantation. Surprisingly, our patients rated their reading ability better than the patients in this study [31]. As we had hoped, the patients in our study had significantly less difficulty driving at night.

The achieved values of spectacle independence of PMV, as well as MMV, in the intermediate and near range, were comparable to the values achieved in the retrospective study by Rodov et al. investigating different lens systems [2].

Compared to bilateral monofocal implantation, PMV achieved equally good or better results at all distances. Compared to other studies with bilateral trifocal lens implantation, the visual results were better at distance and reached a similarly high level at intermediate and near distances [4, 5].

For years, literature has been advocating bilateral multifocal IOL implantation [32]. Our study showed that patients with unilateral implantation of a multifocal AddOn® lens did not have any problems with neuroadaptation. No patient has ever asked for the implantation of a second multifocal AddOn® lens or the explantation of one. The great flexibility of the central nervous system is supported by the fact that optical side effects are suppressed with this method.

The current study confirmed the expected advantages of the PMV treatment concept. This concept offers doctors and patients a wide range of options. After bilateral monofocal implantation, patients are offered an exit scenario. Patients can decide not to have a multifocal AddOn® lens implanted, which leads to an increased overall satisfaction

of monofocal patients, which was also observed in our study. Cataract patients can only assess postoperatively with full visual acuity whether reading glasses are disturbing. After implantation of the multifocal AddOn® lens into the sulcus, an almost atraumatic explantation is possible at any time in case of intolerance or any occurrence of macular or retinal disease. The PMV also offers the option of extension, allowing a second multifocal AddOn® lens to be implanted in the partner eye in case of unsatisfactory intermediate visual acuity.

Our study is limited by the lack of a direct comparison to a bilateral trifocal or EDOF IOL implantation. Nevertheless, certain conclusions can be drawn from the comparison with the monofocal group as presented at the DOG 2020 [33]. A three-step approach with an additional surgery increases the risk of endophthalmitis and other surgical complications. The AddOn implantation is a short atraumatic procedure. The study by Shekhar et al. showed that the endophthalmitis rate was higher in resurgeries than in primary surgery. Especially eyes with a breach in the posterior capsule requiring vitrectomy and secondary IOL implantation had an increased risk of endophthalmitis (0.78%) vs no breach in the posterior capsule (0.02%) [34].

As a modification, it could be considered to implant the multifocal AddOn® lens during the surgery of the 1st eye. This is technically possible and could be performed on patients with assured accurate biometry and enhanced calculations. The advantages of the 3-step procedure, such as improved accuracy due correction with the AddOn® and the described exit scenario, would then have to be abandoned.

In our study, 17 AddOn® lenses without spherical correction and 10 AddOn® with max. ± 0.5 D were used. In one patient, the cylinder of ± 1 D was post-corrected with the AddOn®.

The method is designed to ensure that CLE patients, in particular, do not suffer a deterioration in the distance vision and optical quality compared to the status before surgery. The further brilliant distance visual acuity is essential for the satisfaction of this patient group.

In conclusion, it can be stated that patients with PMV were significantly more independent of glasses, have very good reading ability, no disadvantages in distance vision, and no optical side effects such as halos and glare.

The current study suggests that the PMV concept is well suited for the desire to be independent of glasses with only one multifocal add-on lens and without optical side effects.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1007/s00417-022-05584-y>.

Author contribution All authors contributed to the study conception and design. Material preparation, data collection, and analysis were

performed by Vitus André Knecht, Horațiu Alexandru Colosi, and Andrea Hassenstein. The first draft of the manuscript was written by Vitus André Knecht and all authors commented on previous versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript. Conceptualization: Vitus André Knecht, Horațiu Alexandru Colosi, and Andrea Hassenstein. Methodology: Vitus André Knecht, Horațiu Alexandru Colosi, and Andrea Hassenstein. Formal analysis and investigation: Vitus André Knecht, Horațiu Alexandru Colosi. Writing—original draft preparation: Vitus André Knecht. Writing—review and editing: Vitus André Knecht, Horațiu Alexandru Colosi, and Andrea Hassenstein. Resources: Vitus André Knecht, Andrea Hassenstein. Supervision: Andrea Hassenstein.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Data availability The datasets generated during and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author on reasonable request.

Code availability Not applicable.

Declarations

Ethics approval Ethical approval was obtained by the Ethics Commission Hamburg in view of the observational retrospective nature of the study and all the procedures being performed were part of the routine care.

Consent to participate Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Conflict of interest The authors declare no competing interests.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

1. Wolffsohn JS, Davies LN (2019) Presbyopia: effectiveness of correction strategies. *Prog Retin Eye Res* 68:124–143
2. Rodov L, Reitblat O, Levy A, Assia EI, Kleinmann G (2019) Visual outcomes and patient satisfaction for trifocal, extended depth of focus and monofocal intraocular lenses. *J Refract Surg* 35:434–440. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20190618-01>
3. Braga-Mele R, Chang D, Dewey S, Foster G, Henderson BA, Hill W, Hoffman R, Little B, Mamalis N, Oetting T, Serafino D, Talley-Rostov A, Vasavada A, Yoo S, Cataract Clinical Committee ASCRS (2014) Multifocal intraocular lenses: relative indications

- and contraindications for implantation. *J Cataract Refract Surg* 40:313–322. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.12.011>
4. Shen Z, Lin Y, Zhu Y, Liu X, Yan J, Yao K (2017) Clinical comparison of patient outcomes following implantation of trifocal or bifocal intraocular lenses: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 7:45337. <https://doi.org/10.1038/srep45337>
 5. Liu J, Dong Y, Wang Y (2019) Efficacy and safety of extended depth of focus intraocular lenses in cataract surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol* 19:198. <https://doi.org/10.1186/s12886-019-1204-0>
 6. Tarib I, Kasier I, Herbers C, Hagen P, Breyer D, Kaymak H, Klabe K, Lucchesi R, Teisch S, Diakonis VF, Hahn U, Fabian H, Kretz FTA (2019) Comparison of visual outcomes and patient satisfaction after bilateral implantation of an EDOF IOL and a mix-and-match approach. *J Refract Surg* 35:408–416. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20190417-02>
 7. Cassagne M, Porterie M, Gauthier L, Chapotot E, Soler V, Malecaze F, Fournié P (2018) Primary sulcus implantation of a diffractive multifocal pseudophakic piggyback intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 44:266–273. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.11.019>
 8. Prager F, Amon M, Wiesinger J, Wetzel B, Kahraman G (2017) Capsular bag–fixated and ciliary sulcus–fixated intraocular lens centration after supplementary intraocular lens implantation in the same eye. *J Cataract Refract Surg* 43:643–647. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.01.020>
 9. Fernández EJ, Schwarz C, Prieto PM, Manzanera S, Artal P (2013) Impact on stereo-acuity of two presbyopia correction approaches: monovision and small aperture inlay. *Biomed Opt Express* 4:822–830. <https://doi.org/10.1364/BOE.4.000822>
 10. Julious SA (2005) Sample size of 12 per group rule of thumb for a pilot study. *Pharm Stat* 4:287–291. <https://doi.org/10.1002/pst.185>
 11. Bach M (2007) The Freiburg Visual Acuity Test–variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 245:965–971. <https://doi.org/10.1007/s00417-006-0474-4>
 12. McAlinden C, Pesudovs K, Moore JE (2010) The development of an instrument to measure quality of vision: the Quality of Vision (QoV) questionnaire. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 51:5537–5545. <https://doi.org/10.1167/iovs.10-5341>
 13. Chiang PP-C, Fenwick E, Marella M, Finger R, Lamoureux E (2011) Validation and reliability of the VF-14 Questionnaire in a German population. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 52:8919–8926. <https://doi.org/10.1167/iovs.11-7702>
 14. Rosen E, Alió JL, Dick HB, Dell S, Slade S (2016) Efficacy and safety of multifocal intraocular lenses following cataract and refractive lens exchange: metaanalysis of peer-reviewed publications. *J Cataract Refract Surg* 42:310–328. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.01.014>
 15. Carson D, Xu Z, Alexander E, Choi M, Zhao Z, Hong X (2016) Optical bench performance of 3 trifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 42:1361–1367. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.06.036>
 16. Lundström M, Dickman M, Henry Y, Manning S, Rosen P, Tassignon M-J, Young D, Stenevi U (2018) Risk factors for refractive error after cataract surgery: analysis of 282 811 cataract extractions reported to the European Registry of Quality Outcomes for cataract and refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 44:447–452. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.01.031>
 17. Levitt AE, Galor A, Weiss JS, Felix ER, Martin ER, Patin DJ, Sarantopoulos KD, Levitt RC (2015) Chronic dry eye symptoms after LASIK: parallels and lessons to be learned from other persistent post-operative pain disorders. *Mol Pain* 11:21. <https://doi.org/10.1186/s12990-015-0020-7>
 18. Monaco G, Gari M, Di Censo F, Poscia A, Ruggi G, Scialdone A (2017) Visual performance after bilateral implantation of 2 new presbyopia-correcting intraocular lenses: trifocal versus extended range of vision. *J Cataract Refract Surg* 43:737–747. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.03.037>
 19. Gundersen KG, Potvin R (2017) Trifocal intraocular lenses: a comparison of the visual performance and quality of vision provided by two different lens designs. *Clin Ophthalmol* 11:1081–1087. <https://doi.org/10.2147/OPHT.S136164>
 20. Cochener B, Boutilier G, Lamard M, Auberger-Zagnoli C (2018) A comparative evaluation of a new generation of diffractive trifocal and extended depth of focus intraocular lenses. *J Refract Surg* 34:507–514. <https://doi.org/10.3928/1081597X-20180530-02>
 21. Mencucci R, Favuzza E, Caporossi O, Savastano A, Rizzo S (2018) Comparative analysis of visual outcomes, reading skills, contrast sensitivity, and patient satisfaction with two models of trifocal diffractive intraocular lenses and an extended range of vision intraocular lens. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 256:1913–1922. <https://doi.org/10.1007/s00417-018-4052-3>
 22. Pilger D, Homburg D, Brockmann T, Torun N, Bertelmann E, von Sonnleithner C (2018) Clinical outcome and higher order aberrations after bilateral implantation of an extended depth of focus intraocular lens. *Eur J Ophthalmol* 28:425–432. <https://doi.org/10.1177/1120672118766809>
 23. Gundersen KG, Makari S, Ostenstad S, Potvin R (2016) Retirements after multifocal intraocular lens implantation: an analysis. *Clin Ophthalmol* 10:365–371. <https://doi.org/10.2147/OPHT.S100840>
 24. Gundersen KG, Potvin R (2016) Comparison of visual outcomes and subjective visual quality after bilateral implantation of a diffractive trifocal intraocular lens and blended implantation of apodized diffractive bifocal intraocular lenses. *Clin Ophthalmol* 10:805–811. <https://doi.org/10.2147/OPHT.S107162>
 25. Gundersen KG, Potvin R (2020) Refractive and visual outcomes after implantation of a secondary toric sulcus intraocular lenses. *Clin Ophthalmol* 14:1337–1342. <https://doi.org/10.2147/OPHT.S255725>
 26. Levinger E, Levinger S, Mimouni M, Trivizki O, Levinger N, Barequet IS, Rabina G (2019) Unilateral refractive lens exchange with a multifocal intraocular lens in emmetropic presbyopic patients. *Curr Eye Res* 44:726–732. <https://doi.org/10.1080/02713683.2019.1591460>
 27. Fernández-García JL, Llovet-Rausell A, Ortega-Usobiaga J, Bilbao-Calabuig R, Llovet-Osuna F, Druchkiv V, Arias-Puente A (2021) Unilateral versus bilateral refractive lens exchange with a trifocal intraocular lens in emmetropic presbyopic patients. *Am J Ophthalmol* 223:53–59. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2020.09.044>
 28. Kavassy A (1995) Binokulare Wahrnehmung und der Lang-Test. *Spektrum der Augenheilkd* 9:175–176. <https://doi.org/10.1007/BF03163791>
 29. Varón C, Gil MA, Alba-Bueno F, Cardona G, Vega F, Millán MS, Buil JA (2014) Stereo-acuity in patients implanted with multifocal intraocular lenses: is the choice of stereotest relevant? *Curr Eye Res* 39:711–719. <https://doi.org/10.3109/02713683.2013.865758>
 30. Iida Y, Shimizu K, Ito M (2011) Pseudophakic monovision using monofocal and multifocal intraocular lenses: hybrid monovision. *J Cataract Refract Surg* 37:2001–2005. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.05.032>
 31. Alió JL, Vega-Estrada A, Plaza-Puche AB (2015) Clinical outcomes with a new microincisional diffractive multifocal IOL. *Eye Vis* 2:2. <https://doi.org/10.1186/s40662-015-0012-8>
 32. Alió JL, Pikkel J (2019) 5.6 Monocular and binocular neuroadaptation. In: Multifocal intraocular lenses, Second Edi. Springer, Alicante (Spain)/Safed (Israel) pp 58–59

33. Knecht V, Colosi H A, Hassenstein A (2020) Partielle Monovision durch die unilaterale Implantation einer multifokalen AddOn-Linse bei beidseitiger Pseudophakie: Auswertung und Ergebnisse. (Partial Monovision achieved by unilateral implantation of a multifocal add-on lens with bilateral pseudophakia: evaluation and results.) DOG 2020 online. <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01197-0> Meeting Abstracts.S108.199
34. Shekhar M, Lamba P, Haripriya A, Ravindran S, Palod S, Mishra C, Sundar B, Sen S (2021) Acute postoperative endophthalmitis after resurgery following primary cataract surgery: 9 years experience from a tertiary eyecare center. *J Cataract Refract Surg* 47:1050–1055. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000584>

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

SI 1. Visual Function Questionnaire (VF-14) without glasses			
	Mean±SD Median: (X)		
	PMV	MMV	P - Value
1. Do you have difficulty reading small letters like in a telephone book or in package inserts for medications? (without glasses)	3.48±0.80 (4)	0.68±1.219 (0)	<0.001
2. Do you have difficulty reading a newspaper or a book? (without glasses)	3.70±0.542 (4)	1.43±1.526 (1)	<0.001
3. Do you have difficulty reading big headlines and the numbers on your telephone? (without glasses)	4.00±0.00 (4)	3.43±0.96 (4)	<0.001
4. Do you have difficulty recognizing people who are standing right in front of you? (without glasses)	4.00±0.00 (4)	4.00±0.00 (4)	1
5. Do you have difficulty (without glasses) noticing steps, curbs, or stairs?	4.00±0.00 (4)	4.00±0.00 (4)	1
6. Do you have difficulty (without glasses) noticing traffic, information, or shop signs?	3.89±0.42 (4)	3.96±0.19 (4)	0.521
7. Do you have difficulty (without glasses) sewing, knitting, crocheting, or doing handicrafts?	3.37±0.88 (4)	1.86±1.69(1.50)	<0.001
8. Do you have difficulty (without glasses) filling out official forms or cheques?	3.78±0.506 (4)	1.82±1.70 (2)	<0.001
9. Do you have difficulty (without glasses) playing cards, chess, or dominos?	4.00±0.00 (4)	3.61±1.03 (4)	0.043
10. Do you have difficulty (without glasses) performing sport activities like tennis, golf, bowling, or boule?	4.00±0.00 (4)	4.00±0.00 (4)	1
11. Do you have difficulty (without glasses) cooking?	3.93±0.39 (4)	3.93±0.38 (4)	0.979

12. Do you have difficulty (without glasses) watching TV?	4.00±0.00 (4)	3.89±0.32 (4)	0.083
13. How much difficulty do you have driving during the daytime due to your vision problems? (without glasses)	4.00±0.00 (4)	3.86±0.45 (4)	0.083
14. How much difficulty do you have driving during the night due to your vision problems? (without glasses)	3.63±0.49 (4)	3.39±0.96 (4)	0.692
SD = standard deviation; 0 = not possible; 1 = a lot of difficulty; 2 =some difficulty; 3 = a little difficulty; 4 =no difficulty at all PMV= Partial Monovision group; MMV= monofocal group			

II. Darstellung der Publikation

1.0 Einleitung

Die Presbyopie ist durch eine altersbedingte Reduzierung der Linsenelastizität mit einem fortschreitenden Verlust der Akkommodationsfähigkeit bedingt. Die betroffenen Patienten sehen im Nahbereich unscharf und benötigen eine Lesebrille [1]. Die altersspezifische Prävalenz der Presbyopie steigt graduell ab einem Alter von 30 Jahren an, sodass in der Altersgruppe 40-44 Jahre ca. 40% der Bevölkerung betroffen sind. Ab einem Alter von 50 Jahren stabilisiert sich die Prävalenz der Presbyopie bei ca. 70% (2015) und weist eine positive Korrelation mit einer hohen Lebenserwartung auf. Demographisch bedingt betrifft die Presbyopie in Westeuropa ca. 40% der Gesamtbevölkerung [2]. Fricke et al. gehen davon aus, dass im Jahr 2015 weltweit 1,8 Milliarden Menschen von Presbyopie betroffen waren. Es wird angenommen, dass die Häufigkeit der Erkrankung bis zu einem Höchststand im Jahr 2030 mit etwa 2,1 Milliarden Menschen weiter zunehmen und anschließend bis zum Jahr 2050 auf 1,9 Milliarden Menschen zurückgehen wird [2]. Die Autoren haben dabei ein Modell verwendet, das auf der bekannten altersspezifischen Akkommodationsamplitude basiert und um die Myopierate bereinigt ist. Der beschriebene Rückgang zum Jahr 2050 ist auf eine zunehmende Prävalenz der Myopie und damit einen individuell geringeren Bedarf an Akkommodation zurückzuführen [3]. Wolffsohn und Davies hingegen argumentieren, dass auch myope Patienten durch die altersbedingte Reduktion der Akkommodationsamplitude bei optimaler Korrektur für die Ferne im Nahbereich eingeschränkt sind und schlagen eine Neudefinierung der Presbyopie vor. So liegt den Autoren nach einer Presbyopie vor, „wenn die physiologisch normale altersbedingte Verringerung des Fokussierungsbereichs des Auges bei optimaler Korrektur für das Sehen in der Ferne einen Punkt erreicht, an dem die Klarheit des Sehens in der Nähe nicht mehr ausreicht, um die Anforderungen des Einzelnen zu erfüllen“ [1].

In der Auswertung von Fricke et al. wurde auch der Unterschied zwischen wirtschaftlich stärkeren und schwächeren Regionen deutlich. So sind beispielsweise viele Menschen in Afrika und in wirtschaftlich schwächeren Regionen Asiens von Sehbehinderungen aufgrund von unkorrigierter Presbyopie beeinträchtigt [2].

Die Korrektur der Alterssichtigkeit erfolgt mit Hilfe einer Nahaddition, die bis zu 3

Dioptrien (D) beträgt.

In der folgenden Studie wird die chirurgische Korrektur der Presbyopie untersucht. Nach einer Linsenoperation mit der Zielrefraktion Emmetropie ist eine Lesebrille oder Gleitsichtbrille für die Nähe und die mittlere Entfernung erforderlich. Viele Patienten wünschen sich jedoch ein Leben ohne Brille. Die chirurgische Korrektur der Presbyopie durch multifokale Intraokularlinsen (IOLs), Monovision oder refraktiver Hornhautchirurgie hat bisher noch keine optimalen Ergebnisse gebracht [1]. Nur ungefähr 4 % der Patienten in Europa entscheiden sich für eine Multifokallinse [4]. Daraus lassen sich die Zweifel von Ärzten und Patienten an den verfügbaren Methoden ablesen.

Patienten mit einer multifokalen IOL oder einem multifokalen Hornhautlaserprofil fühlen sich durch die verminderte Qualität des Fernsehens, die begrenzte Lesequalität insbesondere bei schlechter Beleuchtung, Halos (Lichthöfen), Glare (Blendungen) im Dunkeln und Abweichung von der Zielrefraktion (verschwommenes Sehen) gestört. In der Literatur wird daher empfohlen, bei der Auswahl dieser Linsen auf die Persönlichkeitsstruktur und die Bedürfnisse der Patienten Rücksicht zu nehmen [5]. Inzwischen haben Trifokallinsen die Bifokallinsen weitgehend ersetzt, da diese im Intermediärbereich deutlich überlegen sind [6]. In den letzten Jahren sind zudem EDOF-Linsen (Enhanced Depth of Focus) mit einem ausgedehnten Brennpunkt auf den Markt gekommen. EDOF-Linsen erzielen bessere Ergebnisse im Intermediärbereich, z. B. am Computer, und haben weniger optische Nebeneffekte. Der Nachteil ist die zu Trifokallinsen vergleichsweise schwächere Funktion im Nahbereich [7]. Um die Nachteile beider Linsensysteme zu überwinden, kombinieren einige Chirurgen diese in einem Mix-und-Match-Ansatz [8]. Dies bedeutet, dass der Patient mit einer EDOF-Linse versorgt und das Partnerauge eine Trifokallinse erhält. Bei pseudophaker Ausgangssituation können multifokale IOLs in den Sulcus ciliaris implantiert werden. Vorteile sind die Reversibilität und die bessere Zentrierung der Add-on Linsen [9,10].

Im Rahmen der Monovision wird das dominante Auge mit einer monofokalen IOL für die Ferne versorgt, während das nicht dominante Auge eine monofokale IOL für die Nähe erhält. Die Anwendung der Monovision ist begrenzt, da der Unterschied von 2 Dioptrien zwischen den beiden Augen zu binokularen Sehstörungen führen kann und

somit von Patienten schlecht toleriert wird. Das stereoskopische Sehen ist bei der Monovision reduziert. Kleine Refraktionsunterschiede werden besser toleriert, diese ermöglichen aber kein Lesen ohne Brille [11].

Die Kombination beider Methoden, der Monovision und der Implantation einer Multifokallinse in ein Auge, führt zu einer modifizierten Monovision: einer partiellen Monovision. Bei diesem Vorgehen erhält das dominante Auge eine monofokale IOL und das nicht dominante Auge ein multifokales System. Die Patienten der Kontrollgruppe (MMV) wurden beidseitig mit monofokalen IOLs behandelt mit dem Ziel einer leichten Anisometropie von einer halben Dioptrie, um so ein besseres Sehen im Intermediärbereich zu erreichen.

Wir wählten eine monofokale Vergleichsgruppe, um zu zeigen, dass die PMV-Patienten möglicherweise eine überlegene Lesefähigkeit haben, ohne Einbußen des Fern- und Kontrastsehens und ihrer Sehqualität aufgrund von Halos und Glare zu erleiden.

Ziel der Studie war es, anhand verschiedener Sehtests und subjektiver Fragebögen zu untersuchen, ob mit der PMV die Nachteile der Monovision und der bilateralen multifokalen IOL-Implantation vermieden werden können und die Patienten ohne Nebenwirkungen brillenunabhängig sein können.

2.0 Material und Methoden

2.1 Studienaufbau und -design

Diese monozentrische retrospektive Kohortenstudie wurde unverblindet und nicht randomisiert nach Zustimmung der Ethikkommission Hamburg durchgeführt. Es handelte sich um eine Pilotstudie, in der 30 Patienten pro Gruppe untersucht wurden [12]. Die beiden Gruppen wurden hinsichtlich des Alters, des Geschlechts und der Art der Operation (klare Linsenextraktion (CLE) oder Katarakt) gematcht. Die Operationen wurden bereits vor Beginn der Studie nach eingehender ärztlicher Beratung und auf Wunsch der Patienten durchgeführt. So konnten wir retrospektiv auf 2 Patientenpools zugreifen. Aus diesen rekrutierten wir insgesamt 60 Patienten konsekutiv.

Einschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie waren keine bestehenden Augen- oder Systemerkrankungen, die sich negativ auf das Sehvermögen auswirken könnten, sowie eine Operation ohne Komplikationen. Die Untersuchung fand frühestens 3 Monate nach der letzten Operation statt.

Zusätzlich zu ihrer Einwilligung zur Studienteilnahme haben die Patienten dem Datenschutzkonzept und der anonymisierten Verwendung ihrer Daten zugestimmt. Die IOL-Implantationen erfolgten durch denselben Chirurgen. Dieser war nicht an der Patientenauswahl beteiligt, um einen Selektionsbias zu vermeiden. Die Augen wurden mit dem IOL Master 500 von Zeiss (Carl Zeiss AG) vermessen. Zusätzlich wurde eine Messung mit dem iTrace von Tracy (Tracey Technologies LLC) durchgeführt, um Aberrationen höherer Ordnung auszuschließen, torische Linsen zu berechnen und den Winkel Kappa zu messen.

Details zu den verwendeten Linsen sind in der Publikation aufgeführt. Die Berechnung der AddOn® IOL wurde auf der Grundlage des Refraktionsfehlers (subjektive Refraktion) des Auges durchgeführt, hierzu steht ein Online-Rechner von 1stQ zur Verfügung.

Die partielle Monovision wird in 3 Schritten durchgeführt: Zunächst wird eine monofokale IOL in das nicht dominante Auge des Patienten implantiert. Im zweiten

Schritt wird unter Berücksichtigung des Refraktionsergebnisses des ersten Auges eine monofokale IOL mit dem Ziel Emmetropie in das dominante Auge implantiert. Im dritten Schritt wird nach 3 Monaten eine multifokale AddOn®-Linse anterior der monofokalen IOL in das nicht dominante Auge in den Sulcus ciliaris implantiert. Dieser Ansatz beschränkt die Monovision auf den Nahbereich.

Die Zielrefraktion für die Kontrollgruppe betrug 0 D auf einem Auge und - 0,5 D auf dem Partnerauge, wodurch sich eine leichte Monovision ergab, wie es bei der Implantation einer monofokalen Linse häufig der Fall ist.

2.2 Endpunkte der Studie

Was die primären Endpunkte der Studie betrifft, so wurden die folgenden Tests binokular unkorrigiert unter standardisierten Bedingungen in einer einzigen Sitzung durchgeführt. Zunächst wurde der unkorrigierte Fernvisus (UDVA) in 6 m Entfernung mit einem Möller-Wedel M 2000 Projektor (Möller-Wedel GmbH) gemessen. Anschließend wurde der unkorrigierte Indermediärvisus (UIVA) in einer Entfernung von 80 cm mit Sloan-Buchstaben im ETDRS-Format von Precision Vision (Precision Vision, Inc.) getestet. Der unkorrigierte Nahvisus (UNVA) wurde mit der gemischten Colenbrander-Kontrastplatte von Precision Vision bei 100% und 10% Kontrast dokumentiert. Für die Lesefähigkeit wurde der letzte fließend vorgetragene Satz bewertet. Die unkorrigierte binokulare Defokussierungskurve wurde mit Möller-Wedel-Geräten, dem Projektor M 2000 und dem Phoropter Visutron Plus durchgeführt. Die Visuserhebung erfolgte ausgehend von der optimal ausgeglichenen Refraktion in 0,5 Dioptrienschritten von + 1 D bis - 4 D. Es wurde der Lang-Stereotest II angewendet. Nur für den kontrastarmen Fernvisus wurden die Patienten refraktiv korrigiert, um das Ergebnis nicht durch refraktive Fehler zu beeinflussen. Die Kontrastempfindlichkeit wurde in 6 m Entfernung mit dem Computerprogramm Freiburg Vision Test ("FrACT") von Prof. Bach [13] getestet.

Zusätzlich zu den objektiven Sehtests wurden als Sekundärergebnisse auch die subjektiven Zufriedenheitswerte erhoben. Mit dem Quality of Vision Questionnaire (QoV) [14] wurden die Patienten zu verschiedenen optischen Phänomenen deren Häufigkeit, Schweregrad und Beeinträchtigung befragt. Mit dem Visual Function

Questionnaire (VF-14) [15] wurde untersucht, wie die Patienten Alltagssituationen bewältigen können. In unserer Studie wurde gefragt, wie dies ohne Brille möglich ist.

Zusätzlich wurden die Patienten nach ihrer Brillenunabhängigkeit für die Ferne, den Zwischenbereich und den Nahbereich befragt. Ferner wurde die allgemeine Zufriedenheit auf einer Skala von 0 bis 10 ermittelt (0, völlig unzufrieden/10, völlig zufrieden).

Die statistischen Analysen wurden mit IBM SPSS Statistics 25 (IBM Corp.) durchgeführt. Für die Errechnung des RASCH-Modells zur Auswertung des QoV wurde das Softwarepaket R (Version 4.0.2) verwendet. Weitere Details zur statistischen Analyse sind in der Publikation dargestellt.

3.0 Ergebnisse

Insgesamt wurden 55 Patienten (27 PMV-Patienten sowie 28 MMV-Patienten) untersucht und ausgewertet. Die Teilnahme an der Untersuchung sagten zu Anfang 60 Patienten zu, davon konnten fünf Patienten aufgrund von Krankheit, Urlaub oder aus beruflichen Gründen in den Untersuchungswochen nicht teilnehmen.

Die detaillierten Angaben zur Demografie der untersuchten Stichprobe sind in Tabelle 1 der Publikation dargestellt. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf Alter, Geschlecht, Art der Operation, Nachuntersuchungszeitpunkt, präoperatives sphärisches Äquivalent (SEQ) und der Biometrie festgestellt. Torische Linsen wurden in beiden Gruppen häufig eingesetzt, bei PMV in 56% und bei MMV in 38% der Augen ($p = 0,057$).

Die Ergebnisse sind im Detail in der Publikation aufgeführt.

Im Folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse im Detail:

Primäre Endpunkte:

1. Im binokularen UNVA wurden in allen Kategorien signifikant bessere Ergebnisse zugunsten der PMV erzielt ($p = 0,001$).
2. Im binokularen UIVA bei 80 cm zeigten sich ebenfalls bessere Ergebnisse der PMV, diese waren jedoch nicht statistisch signifikant ($p = 0,054$).
3. Im Bezug auf den binokularen UDVA und die photopische Kontrastempfindlichkeit ($p = 0,667$) ergab die statistische Analyse keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = 0,613$).
4. Übereinstimmend damit war die Defokuskurve der MMV im Bereich von - 2 D bis - 4 D signifikant schlechter ($p = 0,001$).
5. Postoperativ wurde die Zielrefraktion von Emmetropie bei der PMV und leichter Anisometropie von einer halben Dioptrie (Myopie/Emmetropie) der MMV erreicht. Dieser angestrebte Refraktionsunterschied wurde als statistisch signifikant bestätigt ($p=0.049$).

Sekundäre Endpunkte:

1. Das unkorrigiert geprüfte Stereosehen fiel zugunsten der PMV aus ($p = 0,008$).

2. Die Brillenunabhängigkeit der PMV war in der Ferne, in dem Intermediärbereich und dem Nahbereich statistisch besser (Ferne $p = 0,012$; Intermediärbereich $p < 0,001$; Nahbereich $p < 0,001$).
3. In der Auswertung des VF-14-Fragebogens war die PMV statistisch überlegen, in keiner der 14 Fragen war die MMV Gruppe im Vorteil.
4. Augenscheinlich erzielte die PMV-Gruppe etwas bessere Ergebnisse im QoV als die MMV-Gruppe. Im Vergleich zur monofokalen Kontrollgruppe ergab sich in der multifokalen PMV-Gruppe keine gesteigerte Wahrnehmung von optischen Phänomenen.
5. Im Rahmen eines gruppeninternen Vergleichs der PMV-Gruppe erzielte die monofokale IOL im dominanten Auge statistisch signifikant bessere Ergebnisse im UDVA (AddOn® $0,02 \pm 0,12$ (0,00) vs. monofokale IOL $-0,10 \pm 0,10$ (0,10)) und BCVA (AddOn® $-0,07 \pm 0,08$ (-0,10) vs. monofokale IOL $-0,15 \pm 0,08$ (-0,20)) im Vergleich zur multifokalen AddOn® im nicht dominanten Auge ($p < 0.001$).
6. Das AddOn®-Auge zeigte sich nach Analyse des SEQ minimal myopisiert (AddOn® $-0,22 \text{ D} \pm 0,33$ (-0,25) vs monofokale IOL $0,11 \text{ D} \pm 0,39$ (0,00)) ($p < 0.001$).
7. Der Augeninnendruck unterschied sich in der singulären GAT-Messung nicht (AddOn® $14,19 \pm 3,36$ (14,00) vs. monofokale IOL $13,59 \pm 13,00$ (3,88)) ($p = 0.156$).

4.0 Diskussion

In unserer Studie wurde deutlich, dass PMV-Patienten eine gute Lesefähigkeit ohne Nachteile beim Fernsehen erreichten. Darüber hinaus waren sie im Vergleich zur monofokalen Kontrollgruppe deutlich unabhängiger von einer Brille, ohne dass sie vermehrt optische Nebenwirkungen wie Halos und Glare wahrnahmen.

Seit mehr als 20 Jahren werden multifokale Linsen als Alternative zu monofokalen IOLs eingesetzt, um Patienten eine Brillenunabhängigkeit in allen Entfernungen zu ermöglichen. Aufgrund von Nebenwirkungen konnten sich Multifokallinsen jedoch bis heute nicht entscheidend durchsetzen. In Europa sind etwa 4 % der implantierten Linsen Multifokallinsen, da Nachteile wie verminderte Kontrastempfindlichkeit, Halos und Blendung auftreten können [4]. Im Laufe der Jahre hat es technische Verbesserungen und Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der multifokalen IOL gegeben. Trifokallinsen haben Bifokallinsen weitgehend ersetzt und sind im Intermediärbereich deutlich besser [6].

Im Grunde stoßen jedoch all diese Linsen an die Grenzen der Physik und haben entsprechende Nebenwirkungen. Durch die Verteilung des Lichts auf mehrere Brennpunkte verschlechtert sich die Kontrastempfindlichkeit, und die Patienten verlieren an Brillanz beim Sehen in der Ferne [16].

Ohne Ausnahme gehen, je nach Linsentyp, etwa 15 % der Lichtenergie durch die Aufteilung des Lichtes verloren [17]. Infolgedessen klagen die Patienten über kontrastarmes Sehen und Schwierigkeiten beim Lesen unter schlechten Lichtverhältnissen. Darüber hinaus fühlen sich die Patienten häufig durch optische Phänomene wie Halos und Glare gestört. Dies führt zu erheblichen Einschränkungen des Nachtsehens und damit zu zahlreichen Kontraindikationen für die Implantation, z. B. für das berufliche Führen von Kraftfahrzeugen [5].

Wie in der "1.0 Einleitung" erläutert, wurden in den letzten Jahren EDOF-Linsen (Enhanced Depth of Focus) mit einem einzigen verlängerten Brennpunkt entwickelt, diese Linsen erzielen bessere Ergebnisse im mittleren Bereich und sollen mutmaßlich weniger optische Nebeneffekte aufweisen. Der Nachteil von trifokalen IOLs im Intermediärbereich und EDOF-IOLs im Nahbereich wird durch den Mix-and-Match-Ansatz kompensiert [15].

Ein weiteres Problem verbunden mit dem Einsatz von Multifokallinsen ist die Genauigkeit des refraktiven Ergebnisses. Im operativen Alltag erreichen Augenchirurgen realistisch in 72,7 % der Fälle eine Zielgenauigkeit von $\pm 0,5$ D. Eine Zielgenauigkeit von $\pm 0,5$ D und ein Zylinder von $\leq 1,0$ D werden nur in 55 % der Fälle erreicht [16]. Das Ziel des brillenfreien Sehens kann oft nicht ohne eine zusätzliche Korrektur, wie z.B. ein LASIK Touch-up, erreicht werden. Dieser LASIK Touch-up führt häufig zu einer Verstärkung des bereits bestehenden Sicca-Syndroms und somit zur Verstärkung der optischen Nebenwirkungen [19].

Das Behandlungskonzept der PMV zielt darauf ab, die Probleme von Multifokallinsen zu vermeiden. Es wird eine monofokale IOL in das dominante Auge implantiert, damit dieses Auge frei von optischen Phänomenen wie Halos und Blendung ist. Die Auswertungen zeigten, dass die binokulare Wahrnehmung von Halos gegenüber einer bilateralen monofokalen Implantation nicht erhöht war ($p = 0,340$). Im Vergleich zur bilateralen multifokalen Implantation, wie z.B. in der Studie von Monaco et al., waren Halos sowohl in der Trifokal- als auch in der EDOF-Gruppe das häufigste beklagte Phänomen (ca. 90% der Patienten). Demgegenüber war der Unterschied in der genannten Studie zu der monofokalen Gruppe signifikant [20]. Die Wahrnehmung von Halos in der PMV-Gruppe (nur 15 % der Patienten) war im Hinblick auf anderen Studien deutlich geringer [6, 21].

Die monofokale IOL im dominanten Auge zeichnet sich durch eine höhere optische Qualität gegenüber einer multifokalen IOL aus und bietet daher Vorteile für das Fern- und Kontrastsehen im Vergleich zur bilateralen Trifokallinsenimplantation. Die PMV-Gruppe zeigte eine vergleichbar gute Fernsehstärke zu unserer bilateral monofokalen Kontrollgruppe. Der erzielte UDVA der PMV war im Gegensatz zu den Studien zu Trifokallinsen von Cochener et al. und Mencucci et al. höher [22, 23]. In der Studie von Pilger et al. war die monofokale Gruppe der EDOF-Gruppe beim UDVA statistisch signifikant überlegen [24].

Die systematische dreistufige Vorgehensweise erhöht die Wahrscheinlichkeit eines optimalen Refraktionsergebnisses. Zur Erreichung dieses wurden zudem häufig torische Linsen eingesetzt. Die sehr guten postoperativen SEQ-Werte und die geringen Beschwerden über verschwommenes Sehen in der PMV-Gruppe sprechen

für ein dreistufige Vorgehen. Die Studien von Gundersen et al. [25] und Gundersen und Potvin [26] haben gezeigt, dass Ametropie ein Hauptgrund für postoperative Korrekturen bei multifokaler IOL-Implantation ist. Bei 8-12 % der Patienten ist eine refraktive Korrektur erforderlich. Die sekundäre Implantation einer Sulkuslinse (AddOn®-Linse) ist eine sehr gute Lösung, da das Sicca-Syndrom nach der LASIK bei älteren Patienten vermieden wird. Grundersen und Potvin [27] haben die Augen mehr als 3 Jahre nach der AddOn®-Implantation untersucht und keine intralentikulären Trübungen und Pigmentdispersion festgestellt. Bislang wurde keiner der Patienten von PMV wegen eines Refraktionsfehlers nachbehandelt.

Man könnte erwarten, dass die unilaterale Implantation einer multifokalen IOL im Gegensatz zu einer bilateralen multifokalen IOL-Implantation zu schlechteren Ergebnissen im Intermediär- und Nahbereich führen würde. Die im UIVA erzielten PMV-Ergebnisse sind jedoch ähnlich gut, wie die Ergebnisse von bilateral implantierten EDOF- und Trifokallinsen, die in anderen Studien erzielt wurden [7, 22, 23]. Eine Fallserie von Lvinger ergab, dass Patienten nach einem unilateralen refraktiven Linsenaustausch mit einer Trifokallinse im nicht dominanten Auge sehr gute UIVA und UNVA erzielten [28]. Eine retrospektive Fallserie von Fernández-García zeigte, dass ein bilateraler refraktiver Linsenaustausch mit einer Trifokallinse statistisch besser war als ein unilateraler im UNVA mit $0,04 \pm 0,05$ gegenüber $0,09 \pm 0,08$ logMAR, in Bezug auf den UIVA wurde kein Unterschied festgestellt [29].

In der aktuellen Studie erzielte die MMV auch im Intermediärbereich zufriedenstellende Ergebnisse, allerdings ist die Brillenabhängigkeit mit 64% der Patienten höher als in der PMV-Gruppe mit 15%. PMV-Patienten erreichten in 100 % der Fälle eine unkorrigierte binokulare Sehschärfe von mindestens 0,30 logMAR. PMV zeigte auch sehr gute Ergebnisse im UNVA. Im Nahbereich erreichten wir bei 96 % der PMV-Patienten ein hohes Maß an Brillenunabhängigkeit und erzielten mit bilateralen trifokalen IOLs vergleichbar gute Sehleistungen [22, 23]. Die erzielten Ergebnisse scheinen besser zu sein als die nach bilateraler EDOF-Implantation [7, 22, 23]. Im Nahbereich war die MMV-Gruppe mit leichter Monovision erwartungsgemäß deutlich schwächer.

Das binokulare Sehen mit der einseitigen multifokalen AddOn® war in 70 % der Fälle gut und in weiteren 15 % der Fälle befriedigend. Erfahrungen von Kavassy [30] mit dem Lang-Test bei Erwachsenen mit regulären monokularen und binokularen Funktionen ergab, dass eine Verschleierung auf einem Auge das Stereosehen nur dann stört, wenn die Sehschärfe über 0,5 logMAR liegt. Wie erwartet war das Stereosehen in der MMV-Gruppe ohne Nahkorrektur stark eingeschränkt. In der Studie von Varón et al. zeigte die bilaterale multifokale Implantation eine herabgesetzte Stereowahrnehmung gegenüber einer bilateralen monofokalen Implantation mit Nahaddition [31]. In der Studie von Iida, Shimizu und Ito wurde hingegen festgestellt, dass die Stereowahrnehmung bei unilateraler multifokaler Implantation mit Nahaddition signifikant höher ist [32].

Die Ergebnisse der PMV im VF-14 waren in jeder Frage mindestens gleich gut wie die Ergebnisse der Studie von Alió, Vega-Estrada und Plaza-Puche mit beidseitiger Multifokallinsenimplantation. Überraschenderweise bewerteten unsere Patienten ihre Lesefähigkeit besser als die Patienten in der genannten Studie [33]. Wie erhofft, hatten die Patienten in unserer Studie deutlich weniger Schwierigkeiten beim Autofahren in der Nacht.

Die erreichte Brillenunabhängigkeit der PMV sowie der MMV im Intermediär- und Nahbereich war vergleichbar mit den vorliegenden Werten der retrospektiven Studie von Rodov et al. zur Untersuchung verschiedener Linsensysteme [4].

Im Vergleich zur bilateralen monofokalen Implantation erzielte die PMV in allen Entfernungen gleichwertige oder bessere Ergebnisse. Gegenüber anderen Studien zur bilateralen Trifokallinsenimplantation waren die Visusergebnisse für die Ferne besser und erreichten im Intermediär- und Nahbereich ein vergleichbar hohes Niveau [6, 7].

Seit Jahren wird in der Literatur die bilaterale multifokale IOL-Implantation befürwortet [34]. Unsere Studie zeigte, dass Patienten mit einer unilateralen Implantation einer multifokalen AddOn®-Linse keine Probleme mit der Neuroadaptation hatten. Bisher hat kein Patient die Implantation einer zweiten multifokalen AddOn®-Linse oder die Explantation einer Linse verlangt. Es spricht für die große Flexibilität des zentralen Nervensystems, dass optische Nebenwirkungen bei dieser Methode unterdrückt werden.

Die aktuelle Studie bestätigt die erhofften Vorteile des PMV-Behandlungskonzepts. Dieses bietet Ärzten und Patienten ein breites Spektrum an Möglichkeiten. Nach einer bilateralen monofokalen Implantation wird den Patienten ein Ausstiegsszenario angeboten. Die Patienten könnten sich gegen die Implantation einer multifokalen AddOn®-Linse entscheiden, was zu einer erhöhten Gesamtzufriedenheit der monofokalen Patienten führt, die auch in unserer Studie beobachtet wurde. Kataraktpatienten können erst postoperativ bei voller Sehschärfe beurteilen, ob eine Lesebrille störend ist. Nach Implantation der multifokalen AddOn®-Linse in den Sulcus ciliaris ist eine nahezu atraumatische Explantation bei Unverträglichkeit oder dem Auftreten von Makula- oder Netzhauterkrankungen jederzeit möglich. Die PMV bietet auch die Möglichkeit der Erweiterung, so dass im Falle eines unbefriedigenden Seheindrucks im Intermediärbereich eine zweite multifokale AddOn® Linse in das Partnerauge implantiert werden kann. Unsere Studie ist durch das Fehlen eines direkten Vergleichs mit einer bilateralen Trifokal/EDOF-IOL-Implantation limitiert. Dennoch lassen sich aus dem Vergleich mit der monofokalen Gruppe, wie er auf der DOG 2020 vorgestellt wurde, wichtige Schlussfolgerungen ziehen [35].

Es ist wichtig zu erwähnen, dass ein dreistufiges Vorgehen mit einer zusätzlichen Operation das Risiko einer Endophthalmitis und anderer chirurgischer Komplikationen erhöht. Bei der AddOn® Implantation handelt es sich jedoch um einen kurzen atraumatischen Eingriff. In der Studie von Shekhar et al. wurde festgestellt, dass die Endophthalmitis-Rate bei erneuten Operationen höher war als bei der primären Operation. Insbesondere Augen mit einem Riss in der hinteren Kapsel, der eine Vitrektomie und eine sekundäre IOL-Implantation erforderte, hatten ein erhöhtes Endophthalmitis-Risiko (0,78 %) gegenüber Augen ohne Riss in der hinteren Kapsel (0,02 %) [36].

Als Modifikation könnte erwogen werden, die multifokale AddOn®-Linse während der Operation des ersten Auges zu implantieren. Dies ist technisch möglich und könnte bei Patienten mit sichergestellter genauer Biometrie und optimierten Berechnungsmethoden durchgeführt werden. Die Vorteile des Vorgehens in drei Schritten, wie die verbesserte Genauigkeit durch die Korrektur mit der AddOn® und

das beschriebene Ausstiegsszenario, müssten dann allerdings aufgegeben werden.

In unserer Studie wurden 17 AddOn®-Linsen ohne sphärische Korrektur und 10 AddOn® mit max. $\pm 0,5$ D verwendet. Bei einem Patienten wurde der Zylinder von ± 1 D mit dem AddOn® nachkorrigiert.

Die Methode soll sicherstellen, dass insbesondere CLE-Patienten keine Verschlechterung der Fernsicht und der optischen Qualität gegenüber dem Zustand vor der Operation erleiden. Die weiterhin brillante Fernsehstärke ist für die Zufriedenheit der Patienten wesentlich.

Die durchgeführte Studie eröffnet, nach der genaueren Betrachtung der erzielten Resultate, weitere Untersuchungsfelder. Zum einen sollte das stereoskopische Sehen der PMV im direkten Vergleich zu einem Mix-and-Match-Konzept und/oder einer bilateralen Trifokallinsenimplantation genauer untersucht werden. Die erreichten Ergebnisse der PMV im Stereosehen waren überraschend gut und sollten näher betrachtet werden. Im Rahmen dieser retrospektiven Studie wurde präoperativ die Richtungsdominanz bestimmt. Die Ergebnisse von Aulhorn et al. zeigten, dass bei 2/3 der untersuchten Patienten die Dominanz der Richtungslokalisierung und die Dominanz in der Helligkeitswahrnehmung übereinstimmten, während bei 1/3 der Patienten diese Übereinstimmung nicht bestand.

In künftigen Studien könnte zusätzlich die sensorische Dominanz für Helligkeitsempfindung oder für Farben und Konturen in Wechselwirkung zur visuellen Zufriedenheit bei der einseitigen Implantation einer Multifokallinsen untersucht werden. Zum anderen sollten die Erkenntnisse aus der Studie auf bereits bestehende Konzepte wie Mix-und Match angewandt werden.

Es scheint sinnvoll die EDOF-Linse mit vermeintlich weniger Halos und Glare in das dominante Auge einzusetzen, während die Trifokallinse mit tendenziell mehr Halos und Glare in das nicht dominante Auge implantiert werden sollte.

Die Studie konnte belegen, dass mit einer unilateralen Implantation einer Trifokallinse sehr gute visuelle Ergebnisse und eine hohe Brillenunabhängigkeit erzielt werden können. Die derzeit erhältlichen multifokalen Linsen, wie auch die in der Arbeit verwendete AddOn®-Linse, sind angesichts ihrer Lichtverteilung für eine bilaterale Implantation ausgelegt. Die Messungen der Modulationsübertragungsfunktion (MTF; Modulation Transfer Function Measurements) von Carson et al. für verschiedene

Fokuspunkte ergab eine Übergewichtung des Fernpunkts bei verschiedenen Linsentypen [17]. Kawamorita beschrieb dies als einen Kompromiss zwischen den MTFs der Fern- und der Nahfokuspunkte, der außerdem von der Pupillengröße beeinflusst wird [38].

Im PMV-Konzept ist jedoch das dominante Auge mit der monofokalen IOL für den Hauptteil der Fernfunktion verantwortlich, während das nicht dominante Auge die Nahfunktion repräsentiert. Mit den gewonnenen Erkenntnissen aus der gezielt einseitigen Implantation könnten Trifokallinsen in Ihrer Konzeption neu gedacht werden. In der Gestaltung der multifokalen Linsen könnte die Lichtverteilung zugunsten von Intermediär- und Nahbereich verändert werden. Als Plattform einer solchen Optik würde sich eine Add-on Linse aufgrund der Reversibilität anbieten. Aus dem Zusammenspiel der beiden Augen könnten so die bekannten physikalischen Grenzen der Trifokallinsenoptik in der Lichtverteilung durch die Neuroadaption des Gehirns ausgeglichen werden.

Neben den Hauptuntersuchung wurde ein einfacher Halo-Test durchgeführt. Dabei wurden 3 PMV-Patienten aus unserer Studie in einem vollständig abgedunkelten Raum in verschiedenen Szenarien mit einer Taschenlampe konfrontiert. Im ersten Szenario wurden die Patienten bei beidseits geöffneten Augen angeleuchtet und nach Halos oder Glare gefragt. Diese wurden von allen 3 Patienten verneint, übereinstimmend mit den Angaben aus dem QoV Fragebogen der Patienten. Im zweiten Fall wurden die Patienten gebeten ihr dominantes Auge abzudecken, in dieser Situation gaben alle drei Patienten an Halos wahrzunehmen.

Abschließend wurde das dominante Auge wieder aufgedeckt, alle 3 Patienten gaben an keine Halos wahrzunehmen. Dieser simple Versuch zeigte beeindruckend die Möglichkeit der Neuroplastizität und das Zusammenspiel beide Augen, welches tiefgehend untersucht und von der refraktiven Chirurgie vollends ausgeschöpft werden sollte.

Unsere Studie hat gezeigt, dass die Halos im nicht dominanten Auge unterdrückt werden. Wir konnten jedoch zeigen, dass beim Abdecken des dominanten Auges und Blendung des nicht dominanten Auges Halos wahrgenommen werden.

Abschließend kann konstatiert werden, dass PMV-Patienten weitestgehend brillunenabhängig sind. Sie profitieren von einer sehr guten Lesefähigkeit, haben keine Nachteile im Fernvisus und weisen keine optischen Nebenwirkungen wie Halos

und Glare auf. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie legen nahe, dass das PMV-Konzept gut für den Wunsch nach Brillenunabhängigkeit mit nur einer multifokalen Add-on Linse und ohne optische Nebenwirkungen geeignet ist. Außerdem können mit dieser Methode noch Jahre nach einer erfolgten Kataraktoperation Patienten multifokal versorgt werden.

5. Zusammenfassung

Bewertung der Ergebnisse der partiellen Monovision (PMV) im Vergleich zu einer bilateralen monofokalen Implantation (MMV).

Die PMV-Gruppe wurde bilateral mit einer monofokalen Intraokularlinsen-Implantation (IOL) behandelt, gefolgt von der Implantation einer multifokalen AddOn®-Linse (+ 3,00 D) in das nicht dominante Auge 3 Monate später. Die MMV-Gruppe erhielt eine bilaterale monofokale IOL-Implantation mit dem Ziel einer leichten Anisometropie (0,0 D/ - 0,50 D). Der Nahvisus (UNVA), der Intermediärvisus (UIVA), der Fernvisus (UDVA), die Defokuskurve und der Lang-Stereotest II wurden unkorrigiert, binokular und mindestens 3 Monate nach der letzten Operation durchgeführt. Für den Kontrastempfindlichkeitstest wurden die Patienten refraktiv korrigiert. Der Fragebogen zur Qualität des Sehens (QoV), der Fragebogen zur visuellen Funktion (VF-14), die Brillenunabhängigkeit und die allgemeine Zufriedenheit wurden ebenfalls bewertet.

Insgesamt wurden 27 PMV-Patienten und 28 MMV-Patienten ohne visusrelevante Augenkrankheiten untersucht. Die PMV-Gruppe war signifikant besser im UNVA ($0,11 \pm 0,08$ logMAR gegenüber $0,56 \pm 0,16$ logMAR) und in der Defokuskurve zwischen - 2,00 und - 4,00 D ($p < 0,001$). Bezüglich des UIVA war die PMV-Gruppe leicht besser ($0,11 \pm 0,10$ logMAR vs. $0,20 \pm 0,18$ logMAR), aber nicht signifikant ($p = 0,054$). Der UDVA ($- 0,13 \pm 0,09$ logMAR vs. $- 0,09 \pm 0,14$ logMAR) ($p = 0,315$) und die Kontrastempfindlichkeit ($p = 0,667$) zeigten keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Im Stereosehen zeigte sich ein Vorteil für die PMV ($p = 0,008$). Die Brillenunabhängigkeit der PMV war in der Ferne, im Zwischenbereich und in der Nähe statistisch besser (Ferne $p = 0,012$; Zwischenbereich $p < 0,001$; Nähe $p < 0,001$). Im VF-14-Fragebogen war die PMV statistisch gesehen überlegen ($p < 0,001$). Der QoV-Fragebogen zeigte keine Unterschiede in Bezug auf Häufigkeit und Schweregrad der Sehstörungen. Beide Gruppen waren sehr zufrieden ($p = 0,509$).

Die PMV-Patienten sind unabhängiger von einer Brille und können ohne Einschränkungen des Fernsehens, durch Halos und Glare, lesen. Das Konzept der PMV eignet sich gut für den Wunsch nach Brillenunabhängigkeit, ohne optische Nebenwirkungen.

6. Abstract

To assess the results of partial monovision (PMV) in comparison to a bilateral monofocal implantation (MMV).

The PMV group was treated bilaterally with a monofocal intraocular lens (IOL) implantation, followed 3 months later by the implantation of a multifocal AddOn® lens (+ 3.00 D) into the non-dominant eye. The MMV group received a bilateral monofocal IOL implantation intending to achieve a slight anisometropia (0.0 D/ – 0.50 D). The near visual acuity (UNVA), intermediate visual acuity (UIVA), distance visual acuity (UDVA), defocus curve, and Lang-Stereotest II were conducted uncorrected, binocular, and minimum 3 months after the last operation. For the contrast sensitivity test, the patients were refractively corrected. The Quality of Vision Questionnaire (QoV), Visual Function Questionnaire (VF-14), spectacle independence, and general satisfaction were also assessed.

A total of 27 PMV patients and 28 MMV patients without ocular diseases relevant to visual acuity were examined. The PMV group was significantly better at UNVA (0.11 ± 0.08 logMAR vs 0.56 ± 0.16 logMAR) and between – 2.00 and – 4.00 D in the defocus curve ($p < 0.001$). At the UIVA, the PMV group was slightly better (0.11 ± 0.10 logMAR vs 0.20 ± 0.18 logMAR) but not significant ($p = 0.054$). The UDVA (-0.13 ± 0.09 logMAR vs -0.09 ± 0.14 logMAR) ($p = 0.315$) and contrast sensitivity ($p = 0.667$) revealed no differences between the groups. The stereo vision was in favor of PMV ($p = 0.008$). Spectacle independence was statistically better for PMV at distance, intermediate, and near (distance $p = 0.012$; intermediate $p < 0.001$; near $p < 0.001$). In the VF-14 Questionnaire, the PMV was statistically superior ($p < 0.001$). The QoV Questionnaire showed no differences regarding frequency and severity of visual disturbances. Both groups were highly satisfied ($p = 0.509$).

Patients with PMV are more independent of glasses and are able to read without disadvantages in distance vision, due to halos and glare. The concept of PMV is well suited for the desire of eyeglass independence, without optical side effects.

7. Abkürzungsverzeichnis

AddOn®	sulkusfixierte Add-on Linse
BCVA	bestkorrigierter Fernvisus
CLE	klare Linsenextraktion (clear lens extraction)
cm	Zentimeter
D	Dioptrien
DOG	Deutsche Ophthalmologische Gesellschaft
EDOF	Enhanced Depth of Focus
ETDRS	Early Treatment Diabetic Retinopathy Study / Studie zur frühzeitigen Behandlung der diabetischen Retinopathie
FrACT	Freiburg Vision Test
GAT	Goldmann Applanation Tonometer
Glare	Blendungen
Halos	Lichthöfe
IOL	intraokulare Linse
LASIK	Laser-in-situ-Keratomileusis
logMAR	Logarithmus des Mindestwinkels von Resolution
m	Meter
MMV	monofokale Kontrollgruppe
MTF	Modulationsübertragungsfunktion
PMV	Partielle Monovision
QoV	Fragebogen zur Qualität des Sehens (Quality of Vision questionnaire)
SEQ	sphärisches Äquivalent
UDVA	unkorrigierter Fernvisus
UIVA	unkorrigierter Intermediärvisus
UNVA	unkorrigierter Nahvisus
VF-14	Fragebogen zur visuellen Funktion (Visual Function Questionnaire-14)

Gender-Hinweis:

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der Sprachformen männlich, weiblich und divers (m/w/d) verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für alle Geschlechter.

8. Literaturverzeichnis

1. Wolffsohn JS, Davies LN (2019) Presbyopia: Effectiveness of correction strategies. *Prog. Retin. Eye Res.* 68:124–143
2. Fricke TR, Tahhan N, Resnikoff S, et al (2018) Global Prevalence of Presbyopia and Vision Impairment from Uncorrected Presbyopia. *Ophthalmology* 125:1492–1499. doi: 10.1016/j.ophtha.2018.04.013
3. Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al (2016) Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology* 123:1036–1042. doi: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006
4. Rodov L, Reitblat O, Levy A, Assia EI, Kleinmann G (2019) Visual Outcomes and Patient Satisfaction for Trifocal, Extended Depth of Focus and Monofocal Intraocular Lenses. *J Refract Surg* 35:434–440 .
<https://doi.org/10.3928/1081597X-20190618-01>
5. Braga-Mele R, Chang D, Dewey S, Foster G, Henderson BA, Hill W, Hoffman R, Little B, Mamalis N, Oetting T, Serafino D, Talley-Rostov A, Vasavada A, Yoo S, ASCRS Cataract Clinical Committee (2014) Multifocal intraocular lenses: relative indications and contraindications for implantation. *J Cataract Refract Surg* 40:313–322 . <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2013.12.011>
6. Shen Z, Lin Y, Zhu Y, Liu X, Yan J, Yao K (2017) Clinical comparison of patient outcomes following implantation of trifocal or bifocal intraocular lenses: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep* 7:45337 .
<https://doi.org/10.1038/srep45337>
7. Liu J, Dong Y, Wang Y (2019) Efficacy and safety of extended depth of focus intraocular lenses in cataract surgery: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmol* 19:198 . <https://doi.org/10.1186/s12886-019-1204-0>
8. Tarib I, Kasier I, Herbers C, Hagen P, Breyer D, Kaymak H, Klabe K, Lucchesi R, Teisch S, Diakonis VF, Hahn U, Fabian H, Kretz FTA (2019) Comparison of visual outcomes and patient satisfaction after bilateral implantation of an EDOF IOL and a mix-and-match approach. *J Refract Surg* 35:408–416 .
<https://doi.org/10.3928/1081597X-20190417-02>
9. Cassagne M, Porterie M, Gauthier L, Chapotot E, Soler V, Malecaze F, Fournié P (2018) Primary sulcus implantation of a diffractive multifocal

- pseudophakic piggyback intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 44:266–273 . <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.11.019>
10. Prager F, Amon M, Wiesinger J, Wetzel B, Kahraman G (2017) Capsular bag–fixated and ciliary sulcus-fixated intraocular lens centration after supplementary intraocular lens implantation in the same eye. *J Cataract Refract Surg* 43:643–647 . <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.01.020>
 11. Fernández EJ, Schwarz C, Prieto PM, Manzanera S, Artal P (2013) Impact on stereo-acuity of two presbyopia correction approaches: monovision and small aperture inlay. *Biomed Opt Express* 4:822–830 . <https://doi.org/10.1364/BOE.4.000822>
 12. Julious SA (2005) Sample size of 12 per group rule of thumb for a pilot study. *Pharm Stat* 4:287–291 . <https://doi.org/10.1002/pst.185>
 13. Bach M (2007) The Freiburg Visual Acuity Test-variability unchanged by post-hoc re-analysis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 245:965–971 . <https://doi.org/10.1007/s00417-006-0474-4>
 14. McAlinden C, Pesudovs K, Moore JE (2010) The development of an instrument to measure quality of vision: the Quality of Vision (QoV) questionnaire. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 51:5537–5545 . <https://doi.org/10.1167/iovs.10-5341>
 15. Chiang PP-C, Fenwick E, Marella M, Finger R, Lamoureux E (2011) Validation and reliability of the VF-14 questionnaire in a German population. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 52:8919–8926 . <https://doi.org/10.1167/iovs.11-7702>
 16. Rosen E, Alió JL, Dick HB, Dell S, Slade S (2016) Efficacy and safety of multifocal intraocular lenses following cataract and refractive lens exchange: Metaanalysis of peer-reviewed publications. *J Cataract Refract Surg* 42:310–328 . <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.01.014>
 17. Carson D, Xu Z, Alexander E, Choi M, Zhao Z, Hong X (2016) Optical bench performance of 3 trifocal intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 42:1361–1367 . <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.06.036>
 18. Lundström M, Dickman M, Henry Y, Manning S, Rosen P, Tassignon M-J, Young D, Stenevi U (2018) Risk factors for refractive error after cataract surgery: Analysis of 282 811 cataract extractions reported to the European Registry of Quality Outcomes for cataract and refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 44:447–452 . <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.01.031>

19. Levitt AE, Galor A, Weiss JS, Felix ER, Martin ER, Patin DJ, Sarantopoulos KD, Levitt RC (2015) Chronic dry eye symptoms after LASIK: parallels and lessons to be learned from other persistent post-operative pain disorders. *Mol Pain* 11:21 . <https://doi.org/10.1186/s12990-015-0020-7>
20. Monaco G, Gari M, Di Censo F, Poscia A, Ruggi G, Scialdone A (2017) Visual performance after bilateral implantation of 2 new presbyopia-correcting intraocular lenses: Trifocal versus extended range of vision. *J Cataract Refract Surg* 43:737–747 . <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2017.03.037>
21. Gundersen KG, Potvin R (2017) Trifocal intraocular lenses: a comparison of the visual performance and quality of vision provided by two different lens designs. *Clin Ophthalmol* 11:1081–1087 . <https://doi.org/10.2147/OPTH.S136164>
22. Cochener B, Boutillier G, Lamard M, Auberger-Zagnoli C (2018) A comparative evaluation of a new generation of diffractive trifocal and extended depth of focus intraocular lenses. *J Refract Surg* 34:507–514 . <https://doi.org/10.3928/1081597X-20180530-02>
23. Mencucci R, Favuzza E, Caporossi O, Savastano A, Rizzo S (2018) Comparative analysis of visual outcomes, reading skills, contrast sensitivity, and patient satisfaction with two models of trifocal diffractive intraocular lenses and an extended range of vision intraocular lens. *Graefe's Arch Clin Exp Ophthalmol* 256:1913–1922 . <https://doi.org/10.1007/s00417-018-4052-3>
24. Pilger D, Homburg D, Brockmann T, Torun N, Bertelmann E, von Sonnleithner C (2018) Clinical outcome and higher order aberrations after bilateral implantation of an extended depth of focus intraocular lens. *Eur J Ophthalmol* 28:425–432 . <https://doi.org/10.1177/1120672118766809>
25. Gundersen KG, Makari S, Ostenstad S, Potvin R (2016) Retreatments after multifocal intraocular lens implantation: an analysis. *Clin Ophthalmol* 10:365–371 . <https://doi.org/10.2147/OPTH.S100840>
26. Gundersen KG, Potvin R (2016) Comparison of visual outcomes and subjective visual quality after bilateral implantation of a diffractive trifocal intraocular lens and blended implantation of apodized diffractive bifocal intraocular lenses. *Clin Ophthalmol* 10:805–811 . <https://doi.org/10.2147/OPTH.S107162>

27. Gundersen KG, Potvin R (2020) Refractive and Visual Outcomes After Implantation of a Secondary Toric Sulcus Intraocular Lenses. *Clin Ophthalmol* Volume 14:1337–1342 . <https://doi.org/10.2147/OPTH.S255725>
28. Levinger E, Levinger S, Mimouni M, Trivizki O, Levinger N, Barequet IS, Rabina G (2019) Unilateral Refractive Lens Exchange with a Multifocal Intraocular Lens in Emmetropic Presbyopic Patients. *Curr Eye Res* 44:726–732 . <https://doi.org/10.1080/02713683.2019.1591460>
29. Fernández-García JL, Llovet-Rausell A, Ortega-Usobiaga J, Bilbao-Calabuig R, Llovet-Osuna F, Druchkiv V, Arias-Puente A (2021) Unilateral Versus Bilateral Refractive Lens Exchange With a Trifocal Intraocular Lens in Emmetropic Presbyopic Patients. *Am J Ophthalmol* 223:53–59 . <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2020.09.044>
30. Kavassy A (1995) Binokulare Wahrnehmung und der Lang-Test. *Spektrum der Augenheilkd* 9:175–176 . <https://doi.org/10.1007/BF03163791>
31. Varón C, Gil MA, Alba-Bueno F, Cardona G, Vega F, Millán MS, Buil JA (2014) Stereo-acuity in patients implanted with multifocal intraocular lenses: is the choice of stereotest relevant? *Curr Eye Res* 39:711–719 . <https://doi.org/10.3109/02713683.2013.865758>
32. Iida Y, Shimizu K, Ito M (2011) Pseudophakic monovision using monofocal and multifocal intraocular lenses: Hybrid monovision. *J Cataract Refract Surg* 37:2001–2005 . <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.05.032>
33. Alió JL, Vega-Estrada A, Plaza-Puche AB (2015) Clinical outcomes with a new microincisional diffractive multifocal IOL. *Eye Vis* 2:2 . <https://doi.org/10.1186/s40662-015-0012-8>
34. Alió JL, Pikkel J (2019) 5.6 Monocular and Binocular Neuroadaptation. In: *Multifocal Intraocular Lenses, Second Edi.* Springer, Alicante (Spain)/Safed (Israel) pp 58–59
35. Knecht V, Colosi H A, Hassenstein A (2020) Partielle Monovision durch die unilaterale Implantation einer multifokalen AddOn-Linse bei beidseitiger Pseudophakie: Auswertung und Ergebnisse. (Partial Monovision achieved by unilateral implantation of a multifocal add-on lens with bilateral pseudophakia: evaluation and results.) *DOG 2020 online.* <https://doi.org/10.1007/s00347-020-01197-0> Meeting Abstracts.S108.199

36. Shekhar M, Lamba P, Haripriya A, Ravindran S, Palod S, Mishra C, Sundar B, Sen S (2021) Acute postoperative endophthalmitis after resurgery following primary cataract surgery: 9 years experience from a tertiary eyecare center. *J Cataract Refract Surg* 47:1050-1055 . <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000584>
37. Aulhorn E, Eisert S, Harms H (1969) Die Beeinflussung der binocularen Helligkeitsempfindung durch die sensorische Prävalenz. *Documenta Ophthalmologica* 26:230–239. doi: 10.1007/bf00943980
38. Kawamorita T, Uozato H (2005) Modulation transfer function and pupil size in multifocal and monofocal intraocular lenses in vitro. *Journal of cataract and refractive surgery* 31(12), 2379–2385. doi: 10.1016/j.jcrs.2005.10.024

III. Darstellung des Eigenanteils

Eigenanteil:

- Literaturrecherche zu Presbyopie, multifokalen Linsen
- Erarbeitung des Studiendesigns/Studienprotokolls (Auswahl der Untersuchungen/Einschlusskriterien)
- Rekrutierung der Patienten
- Untersuchung der Patienten
- Datenakquisition
- Statistische Auswertung der Ergebnisse in Zusammenarbeit mit Privatdozent MD, MS, PhD Horațiu Alexandru Colosi
- Erstellung einer ersten Version des Manuskriptes
- Korrespondenz mit dem Journal (Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology)
- Präsentation auf der DOG 2020, Tagung der Vereinigung Norddeutscher Augenärzte 2021, DOC 2022

Anteil der Co-Autoren:

- Statistische Analyse: Privatdozent MD, MS, PhD Horațiu Alexandru Colosi
Erstellung des/ fachliche Revision des Manuskriptes: Privatdozentin Dr. med. Andrea Hassenstein, Privatdozent MD, MS, PhD Horațiu Alexandru Colosi
- Studiendesign und Studienkoordination: Privatdozentin Dr. med. Andrea Hassenstein

IV. Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei Frau Privatdozentin Dr. med. Andrea Hassenstein und Herrn Privatdozent MD, MS, PhD Horațiu Alexandru Colosi für die exzellente Betreuung und Unterstützung bedanken und hoffe auf weitere produktive Zusammenarbeit.

Zusätzlich danke ich Frau Braklo für die Erstellung eines Datenschutzkonzeptes, sowie meiner Familie, meiner Freundin und meinen Freunden für die motivierende Unterstützung.

V. Lebenslauf

entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen

VI. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: