

**“VICTOR BABEȘ” UNIVERSITY OF MEDICINE AND  
PHARMACY FROM TIMISOARA  
FACULTY OF MEDICINE  
DEPARTMENT IX – SURGERY I**

**CHISĂLIȚĂ IONELA-IASMINA**



# **PhD THESIS**

**EFFICIENCY AND PREDICTABILITY OF ARTIFICIAL  
INTELLIGENCE-BASED BIOMETRIC FORMULAS**

## **ABSTRACT**

**Scientific Coordinator:**

**PROF. UNIV. DR. HABIL. MUNTEANU MIHNEA**

**Timișoara**

**2025**

## INTRODUCTION

With the global increase in life expectancy and the corresponding rise in cataract prevalence, the demand for surgical accuracy, particularly among patients seeking freedom from glasses, has become more pronounced. This underscores the critical role of accurate IOL power calculation in modern cataract procedures, which have evolved from restorative to refractive interventions, with patient satisfaction hinging on precise postoperative outcomes.

The process of determining the correct intraocular lens (IOL) power is a highly nuanced and intellectually challenging task, often underestimated in its complexity. The accurate calculation depends on a delicate balance of biometric factors such as corneal curvature, axial length, anterior chamber depth, lens thickness, and predicted effective lens position (ELP). Even minor inaccuracies in these measurements or the assumptions behind them can result in substantial refractive errors, particularly in eyes with unusual anatomical characteristics. This complexity underscores the need for precision in our work.

Over the past four decades, numerous IOL power calculation formulas have been developed in an ongoing quest for greater predictive accuracy. However, these traditional formulas, despite their evolution from simple statistical regressions to more sophisticated theoretical models, have not proven universally reliable across the full spectrum of eye anatomies, highlighting the need for a more advanced approach.

The evolution of IOL calculation methods can be categorized into distinct generational advancements, reflecting the continuous learning and progress in our field. For first-generation formulas like SRK, linear regression was relied upon and performed adequately only in average eyes. SRK II, a second-generation model, attempted to address shortcomings by factoring in axial length adjustments.

Third-generation formulas—such as Holladay 1, Hoffer Q, and SRK/T—ushered in improvements by applying principles of theoretical optics, incorporating keratometry and axial length into vergence-based models. Subsequent generations, including Holladay 2, Haigis, Olsen, and Barrett Universal II, employed multifactorial regression techniques and additional parameters like lens thickness. These refinements allowed for better ELP prediction and improved outcomes in atypical eyes.

However, many of these formulas are still constrained by oversimplified assumptions—like treating ELP as a static or linearly predictable value—which fail to capture the true

complexity of postoperative lens positioning. Despite the availability of high-resolution biometrics, predictive models often lag, limited by static formulas that do not fully exploit the depth of available data.

The limitations of traditional IOL power calculation formulas have spurred interest in the potential of artificial intelligence (AI), particularly machine learning (ML), to revolutionize predictive modeling in ophthalmology. AI-powered formulas, leveraging large-scale datasets to identify intricate, nonlinear relationships between variables, have the potential to significantly enhance predictive accuracy in cataract surgery planning.

Cutting-edge models such as the Hill-RBF, Kane, PEARL-DGS, and Ladas Super Formula lead a paradigm shift toward data-centric refractive surgery. For instance, the Hill-RBF approach applies radial basis function neural networks trained on data from thousands of eyes, bypassing traditional optics entirely in favor of statistical pattern recognition. The Kane formula merges theoretical optics with AI-driven insights, offering improved prediction accuracy, especially in eyes outside the biometric norm.

These AI-based formulas have consistently demonstrated superior refractive prediction accuracy, with lower mean absolute errors than traditional methods. Moreover, they benefit from continual learning—adapting and refining themselves as new data becomes available, enhancing their reliability over time.

Advances in biometric imaging technologies further magnify AI's power in IOL prediction. Devices utilizing swept-source OCT, partial coherence interferometry, and optical low-coherence reflectometry now allow for exact and repeatable measurements of key variables. Tools like the IOLMaster 700 and Lenstar LS 900 provide comprehensive, high-resolution datasets that enable machine learning algorithms to identify subtle patterns and correlations, significantly improving prediction reliability.

Together, these technological and computational advances establish AI as a cornerstone of modern cataract surgery planning—paving the way for unprecedented precision, personalization, and efficiency.

However, integrating AI into clinical practice is not without obstacles. One primary concern is the lack of transparency in many AI models. Unlike traditional formulas grounded in understandable optical principles, AI systems often function as opaque “black boxes,” raising

questions about trust and interpretability. Efforts are underway to make these systems more explainable, addressing clinician confidence and ethical standards.

Another issue is the risk of biased or incomplete training data. AI models perform best when trained on diverse datasets. However, many do not adequately represent biometric outliers—such as patients with post-refractive surgery eyes, children, or rare ocular anatomies. These gaps can impair generalizability and lead to inconsistent performance in real-world settings. Additionally, many AI models have only been validated on proprietary datasets, with limited external evaluation, further complicating their clinical applicability.

There are also broader considerations around regulation, algorithmic accountability, and patient consent. As the field moves toward precision medicine, ophthalmology must navigate the ethical terrain of AI implementation—balancing innovation with transparency, ensuring data privacy, and maintaining clinician autonomy in decision-making processes. AI should be a tool that supports the surgeon's expertise, not supplants.

AI has revolutionized ophthalmic diagnostics, particularly in the enhancement of biometric formulas for calculating intraocular lens (IOL) power. While traditional formulas like SRK/T, Hoffer Q, and Haigis have been widely used in clinical practice, their reliance on linear modeling of biometric variables and assumptions about eye anatomy can be limiting. In contrast, AI-based formulas use machine learning algorithms to capture complex, nonlinear relationships within preoperative biometric data, thereby improving the accuracy and consistency of postoperative refractive predictions.

The primary objective of this thesis is to assess the performance and reliability of AI-driven biometric formulas compared to conventional methods across various clinical conditions. More specifically, the study evaluates the predictive precision of selected AI models across axial lengths and anterior chamber depths. It also compares their accuracy with that of standard formulas under similar conditions. It analyzes AI models' computational efficiency and adaptability in practical ophthalmology settings. Special attention is given to biometric outliers, including patients with high myopia, hyperopia, or a history of corneal refractive surgery.

Efficiency in this context not only refers to processing speed but also to the model's ability to seamlessly integrate into routine clinical workflows and handle incomplete or uncertain data inputs. AI systems, especially those using supervised learning, can be continually updated with new data, allowing them to evolve and remain effective over time.

This adaptability is a significant advantage over traditional formulas, which require manual adjustments to incorporate new findings or correct systematic biases.

The study is based on retrospective data from patients who underwent uncomplicated cataract surgery with monofocal IOL implantation. The analyses include statistical comparisons, subgroup evaluations, and assessment of error patterns to detect tendencies toward overcorrection or undercorrection. Key performance metrics—such as mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), and refractive surprise rates—are used to comprehensively evaluate the clinical utility of AI-powered formulas, ensuring their reliability.

Ultimately, this research aims to support clinical decision-making in IOL selection and significantly improve refractive outcomes. By deepening our understanding of how AI-based technologies function in practice, we can pave the way for precision medicine in cataract surgery. This research reinforces AI's emerging role as a cornerstone of modern ophthalmology, offering a promising future for cataract surgery and refractive outcomes.

## **MATERIALS AND METHODS**

### **STUDY POPULATION**

The study included 210 eyes from 175 patients, composed of 101 women and 74 men. Not all participants contributed both eyes; however, 35 individuals had bilateral data included in the analysis.

### **STUDY DESIGN**

This research was a retrospective observational study to analyze refractive outcomes following IOL implantation. The study took place at the Department of Ophthalmology, Victor Babeş University of Medicine and Pharmacy, Timișoara, Romania, over three years from July 2021 to June 2024. All patients underwent thorough preoperative ophthalmic evaluations, ensuring accurate baseline data on their refractive and ocular status.

The study population consisted of patients who received IOL implants for cataract removal or refractive correction. To ensure consistency, a single clinician performed all postoperative refractive assessments during one session. Three consecutive readings were taken and averaged for each patient to ensure measurement reliability. Biometric data were gathered using the ARGOS optical biometer (Alcon, Fort Worth, TX, USA), a device known for high precision and consistency in ocular measurements. Predicted refractive outcomes were then compared to actual postoperative results to evaluate the predictive accuracy of the formulas.

Follow-up examinations were conducted at two time points: the first between 1 and 3 months post-surgery and the second between 3 and 12 months. During these visits, spherical equivalent (SE) values were calculated. To maintain data quality, patients who failed to attend follow-up within the designated timeframes were excluded from the analysis.

### **EXCLUSION CRITERIA**

- History of ocular trauma.
- Previous ocular surgeries.
- AL measurements <21 mm or >26 mm.
- Corneal or vitreous opacities.
- Dry eye syndrome.

- Retinal pathologies.
- Glaucoma, or nystagmus.
- Participants who did not return for follow-up.

## SURGICAL PROCEDURE

The IOLs used were selected to have the SE value closest to zero according to BU II. The surgical procedure performed on the eyes involved a main incision made at an angle of 110 degrees, with an incision width of 2.2 mm. The first and second side incisions were created at angles of 30 degrees and 160 degrees, respectively, each having an incision width of 1.2 mm. The study utilized monofocal, Extended Depth of Focus (EDOF), and trifocal lenses. The most commonly used brands were Alcon (Alcon Laboratories, Inc., Fort Worth, TX, USA), ZEISS (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany), and Johnson & Johnson (New Brunswick, NJ, USA).

## EXAMINED VARIABLES

- Gender;
- Age of the participants;
- AL;
- ACD;
- LT;
- WTW;
- K (flat and steep);
- SE.

## STATISTICAL ANALYSIS

Statistical analyses were conducted using SPSS version 25 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Descriptive statistics included count, percentage, mean  $\pm$  standard deviation, median, minimum, and maximum values. The normality of the data was assessed using the Kolmogorov–Smirnov and Shapiro–Wilk tests. Given that the dataset employed in our investigation conformed to a normal distribution, a parametric approach was adopted by

applying an ANOVA repeated measures analysis. A sphericity analysis was conducted to assess the homogeneity of covariances across multiple measurements; in instances where covariance equality was not observed, the Greenhouse–Geisser correction was subsequently implemented. Moreover, the origins of the statistical differences among the evaluated formulas were examined using the Bonferroni test. A paired-sample t-test was used to compare the SE levels calculated at the first and last controls of the participants. Potential correlations were examined using Pearson correlation analysis. A p-value of less than 0.05 was considered the threshold for statistical significance.

## ETHICAL CONSIDERATIONS

The study received ethical clearance from the Ethics Committee of Victor Babeş University of Medicine and Pharmacy, Timișoara, Romania. All procedures adhered to the ethical standards outlined in the Declaration of Helsinki.

## RESULTS

In our study, 210 eyes were examined. In total, 126 of the participants were female (60%) and 84 were male (40%). The mean age of the participants was  $63.44 \pm 11.62$  years. The youngest participant was 39, while the oldest was 91. The mean age of the female participants was  $64.18 \pm 10.54$  years, while the mean age for male participants was  $62.18 \pm 12.06$  years. There was no significant difference in age between the two groups. However, we found significant differences between genders for the descriptive features related to AL, K1, and WTW measurements (p-values of 0.01, 0.02, and 0.01, respectively). No significant differences were observed in K2, ACD, and LT

This study's two most frequently used lens brands were ALCON and ZEISS. The subtypes of ALCON lenses used included monofocal, EDOF, and trifocal lenses, of which monofocal lenses were the most commonly used. As for the ZEISS lenses, monofocal and multifocal subtypes were employed, with monofocal lenses being more frequently utilized compared to multifocal lenses.

The lens powers calculated using the BU II and LSFs were compared. The means of the two calculations were found to be very close, and no statistically significant difference was observed between them ( $p = 0.3$ ).



A potential correlation between the BU II and LSFs was analyzed using Pearson correlation analysis. The results showed that there was no statistically significant correlation between the data obtained from the two formulas ( $p = 0.5$ ).

We compared the SE values calculated during the participants' first and second postoperative follow-ups. The SE values were similar, with no statistically significant difference seen ( $p = 0.6$ ).

The analysis of the calculated SE values for both controls revealed that the frequencies of eyes falling within the  $\pm 1.00$  and  $\pm 0.50$  diopters were similar.

The lens powers calculated using the Kane formula, Hill-RBF, BU II formula, and LSF were compared. A statistically significant difference was observed between them. Mauchly's Test of Sphericity was conducted to assess the homogeneity of covariances among multiple measurements. The results indicated that the covariances were not equal. Consequently, the Greenhouse-Geisser correction was applied, revealing that the differences between the formulas were statistically significant. A Bonferroni correction analysis was performed to identify the source of the difference. The analysis using the Bonferroni correction indicates differences in lens power calculations among the formulas because the values obtained from the LSF are significantly higher than those from the other formulas. This difference is statistically significant.

IOL power values calculated using Kane, Hill-RBF, BU II and LSFs were compared for female and male participants. Accordingly, the values obtained from none of the formulas showed any difference between genders.

The IOL power values calculated using the Kane, Hill-RBF, BU II, and LSF methods were compared between female and male groups. A significant difference in the values was observed in both groups ( $p < 0.01$ ). Further analyses were conducted to identify the source of this difference. In women, the BU II value was found to be higher than the values from Hill-RBF, Kane, and LSF methods. In men, however, the Kane and BU II values were comparable, as were the Hill-RBF and LSF values. Overall, the Kane and BU II values were significantly higher in men.

Potential correlations between the formulas were analyzed for both groups using Pearson correlation analysis. The results indicated a statistically significant positive correlation

between the data obtained from the formulas. This correlation was found to be strong in both groups.

SE values determined in both groups' first and second controls were compared. SE values were significantly higher in men than in women ( $p=0.038$  and  $0.034$ , respectively).

## CONCLUSION

Accurate intraocular lens (IOL) power calculation is critical in cataract and refractive lens surgery. With the rise of AI-based prediction models, this study investigates whether newer, machine-learning-powered formulas outperform traditional approaches. It focuses on comparing the Barrett Universal II (BU II), a well-established biometric formula, and the Ladas Super Formula (LSF), which integrates outputs from multiple models via machine learning.

The study retrospectively analyzed patients who underwent phacoemulsification and IOL implantation. It aimed to determine whether AI-enhanced prediction yields superior refractive results. The lenses implanted were primarily monofocal types from ALCON and ZEISS, consistent with broader surgical trends due to their safety and cost-effectiveness.

Refractive outcomes were measured using spherical equivalent (SE) values at two postoperative follow-ups. Lens types were balanced between groups to prevent bias. IOL power predictions from BU II and LSF were statistically similar. While LSF incorporates AI and theoretically adapts to complex data, no significant practical advantage was observed over BU II in routine cases.

Although LSF represents a conceptual leap by blending multiple models, its mean IOL power predictions aligned closely with BU II's. Pearson correlation analysis revealed minimal linear association between the two formulas, suggesting they rely on distinct algorithmic principles yet produce comparable clinical results. This highlights that computational diversity does not necessarily translate into refractive superiority.

Refractive accuracy, judged by the percentage of eyes within  $\pm 0.50$  D and  $\pm 1.00$  D of target refraction, was also similar for both formulas. This underscores that, when high-quality biometry and consistent surgical techniques are applied, modern formulas perform equivalently in most patients.

The broader comparison with Kane and Hill-RBF formulas revealed that LSF tended to predict higher IOL powers, a statistically significant difference confirmed through Mauchly's and Bonferroni tests. Though formula outputs showed high correlation, the absolute values diverged, especially with LSF. These differences could influence visual outcomes, especially when aiming for emmetropia or planning for premium lenses.

Gender-based analysis revealed notable biometric differences: males had longer axial lengths and wider corneal diameters, while keratometry and anterior chamber depth showed little variation. These anatomical differences subtly influenced how formulas behaved across genders. For example, BU II tended to yield higher power values in females, while Kane and BU II values were more aligned in males.

Despite these variations, no formula showed a consistent IOL power difference when genders were analyzed in isolation. However, postoperative SE values were higher in males, pointing to potential clinical implications during refractive planning. These findings indicate that while gender isn't an explicit factor in most formulas, biometric variations associated with gender indirectly affect results.

The study concludes that while AI-based formulas like LSF hold promise, they don't yet offer substantial benefits over traditional models in average cases. Moreover, biometric variance—including that related to gender—can subtly affect formula performance. For optimal outcomes, IOL calculation should be individualized, and future research should expand to include outlier eyes and explore gender-specific refinements in formula design.

**UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE  
“VICTOR BABEȘ” DIN TIMIȘOARA  
FACULTATEA DE MEDICINĂ  
Departamentul IX – CHIRURGIE I**

**CHISĂLIȚĂ IONELA-IASMINA**



# **TEZĂ DE DOCTORAT**

**EFICIENȚA ȘI PREDICTIBILITATEA FORMULELOR BIOMETRICE  
BAZATE PE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ**

## **R E Z U M A T**

**Conducător de doctorat:**

**PROF. UNIV. DR. HABIL. MUNTEANU MIHNEA**

**Timișoara**

**2025**

## INTRODUCERE

Odată cu creșterea speranței de viață la nivel global și creșterea corespunzătoare a prevalenței cataractei, cererea pentru o precizie chirurgicală sporită – în special în rândul pacienților care doresc independență față de ochelari – a devenit mai pronunțată. Acest context subliniază rolul esențial al calculului precis al puterii lentilei intraoculare (IOL) în procedurile moderne de cataractă, care au evoluat de la intervenții cu scop restaurativ la intervenții refractive, satisfacția pacienților depinzând de obținerea unor rezultate postoperatorii exacte.

Procesul de determinare a puterii corecte a lentilei intraoculare (IOL) este o sarcină extrem de nuanțată și solicitantă din punct de vedere intelectual, adesea subestimată în ceea ce privește complexitatea sa. Calculul exact depinde de un echilibru delicat al unor factori biometrici precum curbura corneei, lungimea axială, adâncimea camerei anterioare, grosimea cristalinului și poziția efectivă preconizată a lentilei (ELP). Chiar și inexactități minore în aceste măsurători sau în presupunerile care stau la baza lor pot genera erori refractive substanțiale, în special la ochii cu caracteristici anatomice neobișnuite. Această complexitate evidențiază necesitatea de precizie în munca noastră.

În ultimele patru decenii au fost dezvoltate numeroase formule de calcul al puterii lentilei intraoculare, într-o încercare continuă de a obține o acuratețe predictivă sporită. Cu toate acestea, formulele tradiționale, în ciuda evoluției lor de la simple regresii statistice la modele teoretice mai sofisticate, nu s-au dovedit universal fiabile pe întregul spectru de anatomii oculare, evidențiind necesitatea unei abordări mai avansate.

Evoluția metodelor de calcul al puterii IOL poate fi împărțită în etape generaționale distincte, reflectând învățarea continuă și progresul din domeniul nostru. Formulele de primă generație, precum SRK, se bazau pe regresii liniare și ofereau rezultate adecvate doar în cazul ochilor cu parametri medii. SRK II, un model de generația a doua, a încercat să remedieze neajunsurile primei generații prin includerea unor ajustări în funcție de lungimea axială.

Formulele de generația a treia – precum Holladay 1, Hoffer Q și SRK/T – au adus îmbunătățiri prin aplicarea principiilor opticii teoretice, incorporând datele de keratometrie și lungime axială în modele bazate pe vergență. Generațiile ulterioare, inclusiv Holladay 2, Haigis, Olsen și Barrett Universal II, au utilizat tehnici de regresie multifactorială și parametri suplimentari precum grosimea cristalinului. Aceste perfecționări au permis o predicție mai bună a ELP și rezultate îmbunătățite la ochii atipici.

Totuși, multe dintre aceste formule rămân limitate de presupuneri excesiv de simplificate – de exemplu tratarea ELP ca pe o valoare statică sau previzibilă liniar – care nu reușesc să surprindă complexitatea reală a poziționării postoperatorii a lentilei. În pofida disponibilității tehnologiilor biometrice de înaltă rezoluție, modelele predictive rămân deseori în urmă, fiind limitate de formule statice ce nu valorifică pe deplin profunzimea datelor disponibile.

Limitările formulelor tradiționale de calcul al puterii IOL au stimulat interesul pentru potențialul inteligenței artificiale (AI), în special al învățării automate (ML), de a revoluționa modelarea predictivă în oftalmologie. Formulele bazate pe AI, care valorifică seturi de date de mare amploare pentru a identifica relații complexe și neliniare între variabile, au potențialul de a îmbunătăți semnificativ acuratețea predicțiilor în planificarea intervențiilor de cataractă.

Modele de ultimă generație, precum Hill-RBF, Kane, PEARL-DGS și Ladas Super Formula, conduc o schimbare de paradigmă spre o chirurgie refractivă centrată pe date. De exemplu, abordarea Hill-RBF utilizează rețele neuronale cu funcție de bază radială antrenate pe date provenite din mii de cazuri, evitând complet optica tradițională în favoarea recunoașterii statistice a tiparelor. Formula Kane îmbină optica teoretică cu perspective generate de AI, oferind o acuratețe de predicție îmbunătățită, în special pentru ochii cu parametri biometrici atipici.

Aceste formule bazate pe AI au demonstrat în mod constant o acuratețe superioară în predicția refractivă, prezentând erori medii absolute mai mici decât metodele tradiționale. Mai mult, ele beneficiază de învățare continuă – adaptându-se și perfecționându-se pe măsură ce devin disponibile date noi, ceea ce le sporește fiabilitatea în timp.

Progresele în tehnologiile de imagistică biometrică amplifică și mai mult puterea AI în predicția puterii IOL. Dispozitivele care utilizează OCT de tip swept-source, interferometrie cu coerență parțială și reflectometrie optică cu coerență joasă permit acum măsurători exacte și repetabile ale variabilelor cheie. Instrumente precum IOLMaster 700 și Lenstar LS 900 furnizează seturi de date cuprinzătoare, de înaltă rezoluție, care permit algoritmilor de învățare automată să identifice tipare subtile și corelații, îmbunătățind semnificativ fiabilitatea predicțiilor.

Împreună, aceste progrese tehnologice și computaționale consolidează AI ca element de bază în planificarea modernă a chirurgiei cataractei – deschizând calea către o precizie, personalizare și eficiență fără precedent.

Totuși, integrarea AI în practica clinică nu este lipsită de obstacole. Un prim aspect îngrijorător îl reprezintă lipsa de transparență a multor modele de AI. Spre deosebire de formulele tradiționale, întemeiate pe principii optice ușor de înțeles, sistemele bazate pe AI funcționează adesea ca niște „cutii negre” opace, ridicând semne de întrebare privind încrederea și posibilitatea de interpretare a rezultatelor. Se depun eforturi pentru a face aceste sisteme mai explicabile, răspunzând preocupărilor legate de încrederea clinicienilor și respectarea standardelor etice.

O altă problemă este riscul ca seturile de date de antrenament să fie părtinitoare sau incomplete. Modelele AI oferă performanțe optime atunci când sunt antrenate pe seturi de date diverse. Cu toate acestea, multe modele nu reprezintă adecvat cazurile atipice din punct de vedere biometric – cum ar fi pacienții cu intervenții chirurgicale refractive anterioare, copii sau anatomii oculare rare. Aceste lacune pot diminua capacitatea de generalizare și pot conduce la performanțe inconsistente în condiții reale. În plus, multe modele AI au fost validate doar pe seturi de date proprietare, cu o evaluare externă limitată, ceea ce complică și mai mult aplicabilitatea lor clinică.

Există, de asemenea, considerente mai largi legate de reglementare, responsabilitatea algoritmică și consimțământul pacientului. Pe măsură ce domeniul se îndreaptă către medicina de precizie, oftalmologia trebuie să navigheze pe terenul etic al implementării AI – echilibrând inovația cu transparența, asigurând confidențialitatea datelor și menținând autonomia clinicianului în procesul decizional. AI ar trebui să fie un instrument care sprijină expertiza chirurgului, nu să o înlocuiască.

AI a revoluționat diagnosticul oftalmologic, în special prin îmbunătățirea formulelor biometrice de calcul al puterii lentilei intraoculare (IOL). În timp ce formulele tradiționale precum SRK/T, Hoffer Q și Haigis au fost utilizate pe scară largă în practica clinică, dependența lor de modelarea liniară a variabilelor biometrice și de presupunerile despre anatomia oculară poate reprezenta un factor limitativ. În schimb, formulele bazate pe AI folosesc algoritmi de învățare automată pentru a surprinde relații complexe și neliniare în datele biometrice preoperatorii, îmbunătățind astfel acuratețea și consistența predicțiilor refractive postoperatorii.

Obiectivul principal al acestei lucrări este de a evalua performanța și fiabilitatea formulelor biometrice bazate pe AI în comparație cu metodele convenționale, în diverse condiții clinice. Mai precis, studiul evaluează precizia predictivă a unor modele AI selectate pe diferite lungimi axiale și adâncimi ale camerei anterioare. De asemenea, compară acuratețea acestora cu cea

a formulelor standard în condiții similare. Sunt analizate eficiența computațională și adaptabilitatea modelelor AI în contextul practicii oftalmologice. O atenție specială este acordată cazurilor atipice din punct de vedere biometric, incluzând pacienții cu miopie mare, hipermetropie sau antecedente de chirurgie refractivă corneeană.

Eficiența, în acest context, nu se referă doar la viteza de procesare, ci și la capacitatea modelului de a se integra fără probleme în fluxurile de lucru clinice de rutină și de a gestiona datele de intrare incomplete sau incerte. Sistemele AI, în special cele care utilizează învățarea supravegheată, pot fi actualizate continuu cu date noi, permițându-le să evolueze și să rămână eficiente în timp. Această adaptabilitate reprezintă un avantaj semnificativ față de formulele tradiționale, care necesită ajustări manuale pentru a include noile descoperiri sau pentru a corecta erori sistematice.

Studiul se bazează pe date retrospective de la pacienți care au suferit o intervenție de cataractă fără complicații, cu implant de lentilă intraoculară (IOL) monofocală. Analizele includ comparații statistice, evaluări pe subgrupuri și examinarea tiparelor de eroare pentru a detecta tendințe de supracorecție sau subcorecție. Indicatori cheie de performanță – precum eroarea medie absolută (MAE), rădăcina mediei pătratice a erorilor (RMSE) și ratele surprizelor refractive – sunt utilizați pentru a evalua în mod cuprinzător utilitatea clinică a formulelor bazate pe AI, confirmând fiabilitatea acestora.

În cele din urmă, această cercetare își propune să sprijine procesul decizional clinic în selecția lentilei intraoculare (IOL) și să îmbunătățească semnificativ rezultatele refractive. Prin aprofundarea înțelegerii modului în care tehnologiile bazate pe AI funcționează în practică, putem deschide calea către medicina de precizie în chirurgia cataractei. Această cercetare reconfirmă rolul emergent al AI ca element de bază al oftalmologiei moderne, oferind un viitor promițător pentru chirurgia cataractei și rezultatele refractive.

## **MATERIALE ȘI METODE**

### **POPULAȚIA STUDIATĂ**

În studiu au fost examinați 210 ochi aparținând unui număr de 175 de pacienți, dintre care 101 femei și 74 bărbați. Nu toți participanții au avut ambii ochi incluși; totuși, pentru 35 de indivizi ambii ochi au fost incluși în analiză.

### **DESIGNUL STUDIULUI**



Acest studiu a fost unul observațional retrospectiv care a analizat rezultatele refractive după implantarea de IOL. Studiul s-a desfășurat în cadrul Departamentului de Oftalmologie al Universității de Medicină și Farmacie Victor Babeș din Timișoara, România, pe parcursul a trei ani, din iulie 2021 până în iunie 2024. Toți pacienții au fost supuși unor evaluări oftalmologice preoperatorii amănunțite, asigurând obținerea unor date inițiale exacte privind starea lor refractivă și oculară.

Populația de studiu a constat din pacienți care au primit implant de IOL pentru înlăturarea cataractei sau pentru corecție refractivă. Pentru a asigura consistența, un singur clinician a efectuat toate evaluările refractive postoperatorii într-o singură sesiune. Pentru fiecare pacient s-au efectuat trei măsurători consecutive, ale căror rezultate au fost apoi mediate, pentru a asigura fiabilitatea măsurătorilor. Datele biometrice au fost colectate folosind biometrul optic ARGOS (Alcon, Fort Worth, TX, SUA), un dispozitiv cunoscut pentru precizia și consistența ridicate ale măsurătorilor oculare. Rezultatele refractive preconizate au fost apoi comparate cu rezultatele reale postoperatorii, pentru a evalua acuratețea predictivă a formulelor.

Controalele ulterioare au fost efectuate la două intervale de timp: primul la 1–3 luni postoperator, iar al doilea la 3–12 luni postoperator. În cadrul acestor vizite s-au calculat valorile echivalentului sferic (SE). Pentru a menține calitatea datelor, pacienții care nu s-au prezentat la controalele de urmărire în intervalele de timp stabilite au fost excluși din analiză.

## **CRITERII DE EXCLUDERE**

- Antecedente de traumatisme oculare.
- Intervenții chirurgicale oculare anterioare.
- Lungime axială (AL) < 21 mm sau > 26 mm.
- Opacități corneene sau vitreene.
- Sindrom de ochi uscat.
- Patologii retiniene.
- Glaucom sau nistagmus.
- Pacienți care nu s-au prezentat la controlul de urmărire.

## **PROCEDURA CHIRURGICALĂ**

IOL-urile utilizate au fost selectate astfel încât să aibă valoarea SE cât mai aproape de zero, conform formulei BU II. Procedura chirurgicală efectuată a constat într-o incizie principală realizată la 110°, cu o lăţime de 2,2 mm. Prima şi a doua incizie laterală au fost practicate la 30°, respectiv 160°, fiecare având o lăţime de 1,2 mm. În studiu au fost utilizate lentile monofocale, EDOF (Extended Depth of Focus) şi trifocale. Mărcile cele mai frecvent folosite au fost Alcon (Alcon Laboratories, Inc., Fort Worth, TX, SUA), ZEISS (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germania) şi Johnson & Johnson (New Brunswick, NJ, SUA).

## **VARIABLE EXAMINATE**

- Sexul
- Vârsta participanţilor
- AL (axial length – lungimea axială)
- ACD (anterior chamber depth – adâncimea camerei anterioare)
- LT (lens thickness – grosimea cristalinului)
- WTW (white-to-white – diametrul corneean limbus-la-limbus)
- K1 şi K2 (curburile corneene plană şi abruptă)
- SE (echivalent sferic)

## **ANALIZA STATISTICĂ**

Analizele statistice au fost realizate utilizând pachetul SPSS versiunea 25 (IBM Corp., Armonk, NY, SUA). Statistica descriptivă a inclus numărul de cazuri, procentajele, media  $\pm$  deviaţia standard, mediana, valorile minimă şi maximă. Normalitatea datelor a fost evaluată prin testele Kolmogorov–Smirnov şi Shapiro–Wilk. Având în vedere că setul de date din acest studiu respecta o distribuţie normală, a fost adoptată o abordare parametrică, aplicând o analiză ANOVA pentru măsuri repetate. S-a efectuat Testul de sfericitate Mauchly pentru a evalua omogenitatea covarianţelor între măsurătorile multiple; în cazurile în care nu a fost îndeplinită egalitatea covarianţelor, s-a aplicat ulterior corecţia Greenhouse–Geisser. În plus, originea diferenţelor statistice dintre formulele evaluate a fost examinată utilizând testul Bonferroni. Un test t pentru eşantioane pereche a fost folosit pentru a compara nivelurile SE calculate la primul şi ultimul control al participanţilor. Posibilele corelaţii au fost examinate prin analiza de

corelație Pearson. Un prag de semnificație de  $p < 0,05$  a fost considerat drept criteriu de semnificație statistică.

## CONSIDERAȚII ETICE

Studiul a primit aprobarea Comisiei de Etică a Universității de Medicină și Farmacie Victor Babeș din Timișoara, România. Toate procedurile au respectat standardele etice prevăzute în Declarația de la Helsinki.

## REZULTATE

În studiul nostru au fost examinați 210 ochi. În total, 126 dintre participanți au fost de sex feminin (60%) și 84 de sex masculin (40%). Vârsta medie a participanților a fost de  $63,44 \pm 11,62$  ani. Cel mai tânăr participant a avut 39 de ani, iar cel mai în vârstă 91 de ani. Vârsta medie a participantelor a fost de  $64,18 \pm 10,54$  ani, în timp ce pentru participanții de sex masculin a fost de  $62,18 \pm 12,06$  ani. Nu s-a înregistrat nicio diferență semnificativă statistic între cele două grupuri în ceea ce privește vârsta. Cu toate acestea, am constatat diferențe semnificative între genuri pentru caracteristicile descriptive legate de măsurătorile AL, K1 și WTW (valorile  $p$  fiind 0,01, 0,02 și 0,01, respectiv). Nu s-au observat diferențe semnificative în cazul parametrilor K2, ACD și LT.

În acest studiu, cele două mărci de lentile utilizate cel mai frecvent au fost ALCON și ZEISS. Subtipurile de lentile ALCON folosite au inclus lentile monofocale, EDOF și trifocale, dintre care lentilele monofocale au fost cele mai des utilizate. În ceea ce privește lentilele ZEISS, s-au folosit subtipuri monofocale și multifocale, lentilele monofocale fiind utilizate mai frecvent comparativ cu cele multifocale.

Puterea lentilelor calculată folosind formula BU II și formula LSF a fost comparată. Mediile celor două calcule au fost foarte apropiate și nu s-a observat nicio diferență semnificativă statistic între ele ( $p = 0,3$ ).

S-a analizat o eventuală corelație între rezultatele furnizate de formula BU II și formula LSF, utilizând analiza de corelație Pearson. Rezultatele au indicat că nu a existat o corelație semnificativă statistic între datele obținute de cele două formule ( $p = 0,5$ ).

Am comparat valorile SE calculate la primul și al doilea control postoperator al participanților. Valorile SE au fost similare, neînregistrându-se nicio diferență semnificativă statistic ( $p = 0,6$ ).

Analiza valorilor SE calculate pentru ambele controale a relevat că frecvențele ochilor încadrați în intervalele  $\pm 1,00$  D și  $\pm 0,50$  D au fost similare.

Puterea lentilelor calculată folosind formulele Kane, Hill-RBF, BU II și LSF a fost comparată. S-a observat o diferență semnificativă statistic între acestea. S-a efectuat Testul de sfericitate Mauchly pentru a evalua omogenitatea covarianțelor între măsurătorile multiple. Rezultatele au indicat că covarianțele nu erau egale. În consecință, s-a aplicat corecția Greenhouse-Geisser, care a arătat că diferențele dintre formule erau semnificative statistic. S-a efectuat o analiză cu corecția Bonferroni pentru a identifica sursa diferenței. Analiza cu corecția Bonferroni a indicat existența unor diferențe în calculele puterii lentilei între formule, valorile obținute prin formula LSF fiind semnificativ mai mari decât cele obținute prin celelalte formule. Această diferență este semnificativă din punct de vedere statistic.

Valorile puterii IOL calculate folosind formulele Kane, Hill-RBF, BU II și LSF au fost comparate pentru participanții de sex feminin și cei de sex masculin. Rezultatele nu au evidențiat nicio diferență între genuri pentru niciuna dintre formule.

Valorile puterii IOL calculate prin metodele Kane, Hill-RBF, BU II și LSF au fost comparate în cadrul grupurilor de femei și de bărbați, separat. S-a observat o diferență semnificativă a valorilor în ambele grupuri ( $p < 0,01$ ). S-au efectuat analize suplimentare pentru a identifica sursa acestei diferențe. La femei, valoarea calculată prin formula BU II a fost mai mare decât valorile obținute prin formulele Hill-RBF, Kane și LSF. La bărbați, însă, valorile obținute prin formulele Kane și BU II au fost comparabile, la fel și valorile obținute prin formulele Hill-RBF și LSF. Per ansamblu, valorile calculate cu formulele Kane și BU II au fost semnificativ mai ridicate la bărbați.

Posibile corelații între formule au fost analizate pentru ambele grupuri prin analiza de corelație Pearson. Rezultatele au indicat o corelație pozitivă semnificativă statistic între datele obținute din formule, corelație care s-a dovedit a fi puternică în ambele grupuri.

Valorile SE măsurate la primul și la al doilea control postoperator au fost comparate între cele două grupuri. S-a constatat că valorile SE au fost semnificativ mai mari la bărbați decât la femei ( $p = 0,038$ , respectiv  $0,034$ ).

## CONCLUZIE

Calculul precis al puterii lentilei intraoculare (IOL) este esențial în chirurgia cataractei și în chirurgia refractivă a cristalinului. Odată cu apariția modelelor de predicție bazate pe AI, acest

studiu investighează dacă formulele mai noi, susținute de algoritmi de învățare automată, oferă performanțe superioare abordărilor tradiționale. Studiul se concentrează pe compararea formulei Barrett Universal II (BU II), o formulă biometrică consacrată, cu Ladas Super Formula (LSF), care îmbină rezultatele mai multor modele prin tehnici de învățare automată.

Studiul a analizat retrospectiv pacienți care au suferit facoemulsificare cu implant de IOL. Scopul a fost de a determina dacă predicția îmbunătățită prin AI oferă rezultate refractive superioare. Lentilele implantate au fost în principal de tip monofocal, de la producători precum ALCON și ZEISS, în concordanță cu tendințele chirurgicale generale datorită siguranței și cost-eficienței acestora.

Rezultatele refractive au fost evaluate pe baza valorilor echivalentului sferic (SE) la două controale postoperatorii. Tipurile de lentile au fost distribuite în mod echilibrat între grupuri pentru a preveni introducerea unui bias. Predicțiile puterii IOL obținute cu formulele BU II și LSF au fost similare din punct de vedere statistic. Deși LSF încorporează AI și, teoretic, se adaptează la date complexe, nu s-a observat niciun avantaj practic semnificativ față de BU II în cazurile obișnuite.

Deși LSF reprezintă un salt conceptual prin îmbinarea mai multor modele, predicțiile sale medii de putere IOL au fost foarte apropiate de cele ale formulei BU II. Analiza corelației Pearson a evidențiat o asocierie liniară minimă între cele două formule, sugerând că acestea se bazează pe principii algoritmice diferite, dar produc rezultate clinice comparabile. Acest fapt evidențiază că diversitatea computațională nu se traduce neapărat în superioritate refractivă.

Acuratețea refractivă, evaluată prin procentul de ochi care se încadrează în  $\pm 0,50$  D și  $\pm 1,00$  D față de ținta refracției, a fost similară pentru ambele formule. Acest lucru subliniază că, atunci când se utilizează biometrie de înaltă calitate și tehnici chirurgicale consecvente, formulele moderne au performanțe echivalente la majoritatea pacienților.

Compararea mai extinsă, incluzând formulele Kane și Hill-RBF, a arătat că LSF a avut tendința să prezică puteri IOL mai ridicate – o diferență semnificativă din punct de vedere statistic, confirmată prin testele Mauchly și Bonferroni. Deși valorile generate de formule au prezentat o corelație înaltă, valorile absolute au diferit, în special în cazul LSF. Aceste diferențe ar putea influența rezultatele vizuale, mai ales atunci când se urmărește emmetropia sau se planifică implantarea de lentile premium.

Analiza în funcție de gen a evidențiat diferențe biometrice notabile: bărbații au avut lungimi axiale mai mari și diametre corneene mai largi, în timp ce valorile de keratometrie și adâncimea camerei anterioare au prezentat variații minore. Aceste diferențe anatomice au influențat subtil modul în care formulele s-au comportat în funcție de gen. De exemplu, formula BU II a avut tendința să furnizeze valori ale puterii mai mari la femei, în timp ce valorile obținute cu formulele Kane și BU II au fost mult mai apropiate între ele la bărbați.

În ciuda acestor variații, nicio formulă nu a evidențiat o diferență consistentă a puterii IOL atunci când genurile au fost analizate separat. Totuși, valorile SE postoperatorii au fost mai mari la bărbați, subliniind posibile implicații clinice în planificarea refractivă. Aceste constatări indică faptul că, deși genul nu este un factor explicit în majoritatea formulelor, variațiile biometrice asociate genului afectează indirect rezultatele.

Studiul concluzionează că, deși formulele bazate pe AI precum LSF sunt promițătoare, ele nu oferă încă beneficii substanțiale față de modelele tradiționale în cazurile obișnuite. Mai mult, variațiile biometrice – inclusiv cele legate de gen – pot influența subtil performanța formulelor. Pentru rezultate optime, calculul puterii IOL ar trebui individualizat, iar cercetările viitoare ar trebui extinse pentru a include ochii cu valori extreme și pentru a explora ajustări ale formulelor în funcție de gen.