

NT-100校正眼压公式的临床验证研究

艾千禧¹, 李莉², 葛希龙³, 周奇志^{2*}

¹湖北医药学院附属人民医院眼科, 湖北 十堰

²重庆市江北区爱尔眼科研究所, 重庆

³暨南大学附属第一医院眼科, 广东 广州

收稿日期: 2025年10月28日; 录用日期: 2025年11月21日; 发布日期: 2025年12月2日

摘要

目的: 比较屈光手术后全自动智能非接触式眼压计(Auto-NCT, NT-100)内置校正眼压公式适用情况。方法: 前瞻性研究, 收集2024年8月~2024年11月在重庆眼视光眼科医院屈光手术科行角膜激光手术的患者31例(59眼), 其中行全飞秒手术者(small-incision lenticule extraction, SMILE) 8例(16眼), 行半飞秒手术者(laser in situ keratomileusis, LASIK) 23例(43眼)。获取术前及术后1月NT-100和角膜生物力学分析仪(corneal visualization scheimpflug technology, Corvis-ST)测得眼压值, 联合Pentacam眼前节分析仪和NT-100得出5种校正眼压结果。应用独立样本t检验比较术前术后5种校正眼压值与Corvis-ST测得生物力学校正眼压(bIOP), 采用配对样本t检验比较术前术后校正眼压值。结果: 本次共收集31例(59眼)患者, 术前及术后Ehler校正眼压值、Orssengo/Pye校正眼压值和Kohlhaas校正眼压值及Auto-NCT、bIOP、IOPc测量值的差异具有统计学意义(P 均 < 0.01), Shah校正眼压值和Dresden校正眼压值差异无统计学意义($P > 0.05$), 其中Shah校正眼压值差异最小。术前术后bIOP变化较小(1.23 ± 1.96 mmHg), 术前bIOP与5种校正眼压值存在显著差异($P < 0.001$), 术后bIOP与Shah校正眼压值无明显差异($P > 0.05$), 而与另外4种校正眼压值有显著差异($P < 0.001$)。结论: 针对中低度近视行板层角膜屈光术后患者, 在NT-100内置5种校正眼压公式中, Shah公式相对可靠, 对临床医师准确获得屈光术后眼压以及术后用药有一定的指导意义。

关键词

非接触式眼压计, 校正眼压, 角膜激光手术

Clinical Validation of the Corrected Intraocular Pressure Formula for the NT-100

Qianxi Ai¹, Li Li², Xilong Ge³, Qizhi Zhou^{2*}

*通讯作者。

文章引用: 艾千禧, 李莉, 葛希龙, 周奇志. NT-100 校正眼压公式的临床验证研究[J]. 临床医学进展, 2025, 15(12): 446-456. DOI: 10.12677/acm.2025.15123431

¹Department of Ophthalmology, Renmin Hospital, Hubei University of Medicine, Shiyan Hubei

²Aier Eye Institute of Chongqing Jiangbei District, Chongqing

³Department of Ophthalmology, The First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou Guangdong

Received: October 28, 2025; accepted: November 21, 2025; published: December 2, 2025

Abstract

Objective: To compare the application of the built-in corrected intraocular pressure formula of the fully automatic intelligent non-contact tonometer (Auto-NCT, NT-100) after refractive surgery. **Methods:** A prospective study was conducted to collect 31 cases (59 eyes) of patients who underwent corneal laser surgery in the refractive surgery department of Chongqing Ophthalmology Hospital from August 2024 to November 2024, of which 8 cases (16 eyes) underwent full-femtosecond (SMILE) surgery, 8 cases (16 eyes) underwent half-femtosecond (laser-*in situ* keratomileusis, SMILE) surgery, and 1 case (16 eyes) underwent half-femtosecond (laser-*in situ* keratomileusis, SMILE) surgery. Among them, 8 cases (16 eyes) underwent full femtosecond (SMILE) surgery and 23 cases (43 eyes) underwent laser *in situ* keratomileusis (LASIK) surgery. Preoperative and 1-month postoperative IOP values were obtained from NT-100 and corneal visualization scheimpflug technology (Corvis-ST), and five corrected IOP results were obtained by combining the Pentacam anterior segment analyzer and NT-100. An independent samples t-test was applied to compare the preoperative and postoperative values of the five corrected IOPs with the biomechanically corrected intraocular pressure (bIOP) measured by Corvis-ST, and a paired samples t-test was used to compare the preoperative and postoperative values of the corrected IOPs. **Results:** A total of 31 patients (59 eyes) were collected, and the differences between preoperative and postoperative Ehler-corrected IOP values, Orssengo/Pye-corrected IOP values and Kohlhaas-corrected IOP values, and Auto-NCT, bIOP, and IOPc measurements were statistically significant (all $P < 0.01$), and the differences between Shah-corrected and Dresden-corrected IOP values were not statistically significant ($P > 0.05$), and the difference in Shah-corrected IOP values was the smallest. The preoperative and postoperative bIOP changes were small (1.23 ± 1.96 mmHg), with a significant difference between the preoperative bIOP and the five corrected IOP values ($P < 0.001$), and the postoperative bIOP was not significantly different from the Shah-corrected IOP values ($P > 0.05$), whereas it was significantly different from the other four corrected IOP values ($P < 0.001$). **Conclusion:** For patients undergoing lamellar corneal refractive surgery for low to moderate myopia, among the five built-in corrected IOP formulas in NT-100, the Shah formula is relatively reliable, and it is of some significance in guiding clinicians to accurately obtain the post-refractive IOP as well as postoperative medication.

Keywords

Noncontact Tonometer, Corrected Intraocular Pressure, Corneal Laser Surgery

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着近视人群的比例越来越高，角膜屈光手术逐渐成为矫正屈光不正最常用的方法之一[1]。角膜屈

光术后会因为角膜的变薄以及生物力学等因素的改变会导致眼压(Intraocular pressure, IOP)的改变[2], 此时并非真实眼压。目前临床上最常用的眼压测量设备是非接触式眼压计(Non-contact tonometer, NCT), 这种眼压计以其学习曲线短、不接触被测者的角膜、测量快捷等优点, 深受临床医生的青睐。然而针对屈光术后患者, 此时 NCT 的测量值并不完全准确, 错误的眼压结果可能会造成潜在青光眼患者的误诊, 因此诞生了一些校正公式来对测得眼压进行修正, 力求得到相对真实的眼压。目前市面上大多数眼压计仅能测得最直观的眼压, 无法针对特定患者进行眼压校正。本研究基于北京九辰医疗研发的国产全自动智能非接触式眼压计(Auto-NCT, NT-100), 其内置 5 种校正眼压公式, 通过与角膜生物力学分析仪(corneal visualization scheimpflug technology, Corvis-ST)测得眼压值进行比较研究, 进一步验证 NT-100 校正眼压公式的临床应用前景。

2. 资料和方法

2.1. 一般资料

前瞻性研究。收集 2024 年 7 月~2024 年 9 月在重庆眼视光眼科医院屈光手术科行近视激光角膜屈光手术患者 31 例(59 眼), 其中行全飞秒手术者(small-incision lenticule extraction, SMILE) 8 例(16 眼), 行半飞秒手术者(laser in situ keratomileusis, LASIK) 23 例(43 眼), 男性 24 例(45 眼), 女性 7 例(14 眼), 平均年龄 22.60 ± 6.69 岁(17~45 岁)。术前球镜 -3.94 ± 1.88 D, 术前柱镜 -1.32 ± 0.94 D。

纳入标准: (1) 年龄 ≥ 18 岁; (2) 术前球镜 < -10.0 OD 和/或术前柱镜 < -5.00 D; (3) 屈光状态稳定, 近 2 年屈光度变化 < 0.5 D/年; (4) 软性角膜接触镜停戴 1 周以上, 硬性角膜接触镜停戴 3 周以上, 角膜塑形镜停戴 3 个月以上; (5) 中央角膜厚度 ≥ 450 μm , 且预测残余基质床厚度 ≥ 280 μm 。

排除标准: (1) 重度干眼、眼外伤、圆锥角膜、眼部活动性炎症、葡萄膜炎、青光眼、视网膜疾患等眼部疾病史; (2) 既往眼部手术史; (3) 具有高血压、糖尿病、免疫系统疾病等全身疾病史; (4) 具有精神疾病史。

本研究遵循《赫尔辛基宣言》, 经重庆眼视光眼科医院伦理委员会批准(IRB2023006), 经患者同意并签署知情同意书。

2.2. 方法

2.2.1. 测量设备

全自动智能非接触式眼压计 Auto-NCT (NT100, 九辰医疗设备有限公司, 中国)、可视化角膜生物力学分析仪 Corvis ST (Oculus, 德国)、Pentacam 眼前节分析仪(Oculus, 德国)。

2.2.2. 测量方法

术前采用 NT-100 及 Corvis ST 测量眼压, Pentacam 眼前节分析仪获取角膜参数。术后 1 月采用 NT-100、Corvis ST 测量眼压, Pentacam 眼前节分析仪获取角膜参数。所有检查结果均由同一眼科医师测量。

1) Pentacam 的测量方法

使用 Pentacam(Oculus, 德国)测量。被检者采取坐姿, 在暗室自然瞳孔下采集, 将患者将下颌置于下颌托上, 前额紧靠, 注视闪烁的蓝灯, 检查者使用操纵杆按屏幕提示进行瞄准和对焦, 只接受成像质量显示 OK 的检测结果, 收集中央角膜厚度(Central corneal thickness, CCT)、角膜曲率(K_{value})。

2) NT100 的测量方法

使用 Auto-NCT (NT-100, 中国九辰医疗有限公司)测量。被检者采取坐位姿势, 检查者调整眼压计及颌托至合适高度, 嘱被检者双眼固视眼压计注视灯, 检查者调整光标至角膜中央后开始测量, 每眼取连

续 3 次测量差值均 <2 mmHg 的平均值作为眼压值, 纳入术前及术后 1 月眼压数据(IOP)。将角膜曲率(K_{value})、中央角膜厚度(CCT)、术前及术后 1 月眼压输入校正眼压界面, 结合 5 种校正眼压公式: (1) Ehlers ($\Delta\text{IOP} = 0.071 \times (545 - \text{CCT})$) [3], (2) Shah ($\Delta\text{IOP} = 0.050 \times (550 - \text{CCT})$) [4], (3) Dresden ($\Delta\text{IOP} = 0.040 \times (550 \mu\text{m} - \text{CCT})$) [5], (4) Orssengo/Pye: ($\text{IOP} = \text{IOP}/K$) [6], (5) Kohlhaas ($\text{IOP} = \text{IOD (measured)} + (540 - \text{CCT})/71 + (43 - K)/2.7 + 0.5$ mmHg [7], 并分别记录为 IOP (Ehlers), IOP (Shah), IOP (Dresden), IOP (Orssengo /Pye), IOP (Kohlhaas)。

3) Corvis ST 的测量方法

使用 Corvis ST (Oculus, 德国)测量。被检者取坐位姿势, 调整好患者头位, 嘱患者固视红色固视标; 按屏幕箭头指引调整把手, 调整至圆环中央出现十字光标, 设备自动完成测量, 每眼取连续 3 次测量差值均 <2 mmHg 的平均值作为眼压值。记录术前及术后 1 月的直接测量值(IOPc)及生物力学校正眼压值(bIOP)。

2.3. 手术过程

2.3.1. SMILE 的手术过程

采用 VisuMax 飞秒激光手术系统(Carl Zeiss, 德国)进行手术, 嘱患者取仰卧位并注视固视灯, 角膜中心对位后负压吸引固定眼球, 以频率 500 KHz, 能量 120~140 nJ 激光脉冲制作角膜帽, 厚度 110 μm , 直径 7.50 mm, 然后制作透镜, 基底厚度为 10 μm , 光学区直径 6.5 mm, 侧切角 90°, 扫描透镜, 扫描完成后在 11:00 位作 2 mm 微切口, 分离透镜并取出, 平衡盐溶液冲洗。所有手术均由同一手术经验丰富的主任医师完成。

2.3.2. LASIK 的手术过程

采用 VisuMax 飞秒激光手术系统(Carl Zeiss, 德国)制作角膜瓣, 飞秒激光的频率为 500 KHz, 能量为 135~150 nJ, 角膜瓣厚度 100~110 μm , 直径 8.1mm。角膜瓣制作完成后, 采用 WaveLight Ex500 (Alcon, 美国)准分子激光机进行准分子激光切削, 频率为 500 Hz, 切削光区为 6.0~6.5 mm, 过渡区 1.25 mm, 平衡盐溶液冲洗后复位角膜瓣。所有手术均由同一手术经验丰富的主任医师完成。

2.4. 统计学方法

采用 SPSS 25.0 进行统计分析。对计量数据采用 Kolmogorov-Smirnov 检验评估计量资料的正态性, 对符合正态性的计量资料采用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)表示。术前术后的眼压值采用配对 t 检验, bIOP 与各校正眼压的测量值比较采用独立样本 t 检验。以 $P < 0.05$ 为有统计学意义。

3. 结果

3.1. 术前及术后 1 月校正眼压值的比较

将术前和术后 1 月各组眼压测量值进行比较, 在 LASIK + SMILE 组中, IOP (Shah)和 IOP (Dresden)差异无统计学意义($P > 0.05$), IOP (Ehlers)、IOP (Orssengo/Pye)和 IOP (Kohlhaas)及 Auto-NCT、bIOP、IOPc 测量值的差异具有统计学意义(P 均 < 0.01)。在 LASIK 组当中, IOP (Shah)和 IOP (Dresden)差异无统计学意义($P > 0.05$), IOP (Ehlers)、IOP (Orssengo/Pye)和 IOP (Kohlhaas)及 Auto-NCT、bIOP、IOPc 测量值的差异具有统计学意义(P 均 < 0.01)。在 SMILE 组当中, IOP (Shah)、IOP (Dresden)、IOP (Kohlhaas)差异无统计学意义($P > 0.05$), IOP (Ehlers)、IOP (Orssengo/Pye)、Auto-NCT、bIOP、IOPc 测量值的差异具有统计学意义(P 均 < 0.05)。见表 1 和表 2。

Table 1. Intraocular pressure values preoperatively and 1 month postoperatively
表 1. 术前及术后 1 月眼压值

眼压分组	LASIK 组		SMILE 组		LASIK + SMILE 组	
	术前	术后	术前	术后	术前	术后
NT-100	15.87 ± 2.15	12.03 ± 1.52	15.79 ± 2.06	11.98 ± 1.44	15.85 ± 2.11	12.02 ± 1.49
Ehlers	15.77 ± 2.87	17.63 ± 2.39	15.46 ± 1.80	16.88 ± 1.83	15.69 ± 2.61	17.43 ± 2.26
Shah	16.13 ± 2.46	16.51 ± 1.80	15.83 ± 1.69	15.87 ± 1.85	16.05 ± 2.27	16.34 ± 1.82
Dresden	16.09 ± 2.29	15.54 ± 1.57	15.86 ± 1.72	15.08 ± 1.65	16.02 ± 2.14	15.42 ± 1.59
Orssengo/Pye	16.34 ± 2.17	12.41 ± 1.74	16.26 ± 2.24	12.28 ± 1.45	16.32 ± 2.17	12.37 ± 1.66
Kohlhaas	16.37 ± 1.97	15.00 ± 1.39	16.34 ± 1.77	14.96 ± 2.01	16.53 ± 2.30	14.99 ± 1.56
IOPc	17.81 ± 2.85	14.30 ± 1.40	17.97 ± 2.44	14.09 ± 1.68	17.85 ± 2.73	14.25 ± 1.47
bIOP	17.54 ± 2.51	16.44 ± 1.54	17.32 ± 1.65	15.74 ± 1.52	17.48 ± 2.30	16.25 ± 1.55

注：Auto-NCT，Auto-NCT 眼压测量值；Ehlers，Ehlers 校正眼压值；Shah，Shah 校正眼压值；Dresden，Dresden 校正眼压值；Orssengo/Pye，Orssengo/Pye 校正眼压值；Kohlhaas，Kohlhaas 校正眼压值；IOPc，Corvis-ST 眼压测量值；bIOP，Corvis-ST 生物力学校正眼压值。

Table 2. Changes in intraocular pressure from preoperative to 1 month postoperative
表 2. 术前后 1 月眼压值变化

眼压分组	LASIK 组			SMILE 组			LASIK + SMILE 组		
	变化量	t 值	P 值	变化量	t 值	P 值	变化量	t 值	P 值
NT-100	3.84 ± 2.08	12.08	<0.01	3.81 ± 2.00	7.62	<0.01	3.83 ± 2.04	14.39	<0.01
Ehlers	-1.86 ± 3.09	-3.95	<0.01	-1.42 ± 2.13	-2.66	0.018	-1.74 ± 2.85	-4.69	<0.01
Shah	-0.38 ± 2.63	-0.95	0.348	0.04 ± 2.35	-0.06	0.950	-0.29 ± 2.54	-0.87	0.388
Dresden	0.55 ± 2.41	1.49	0.145	0.78 ± 2.22	1.40	0.183	0.61 ± 2.34	1.99	0.051
Orssengo/Pye	3.94 ± 2.29	11.29	<0.01	3.98 ± 2.16	7.36	<0.01	3.95 ± 2.24	13.57	<0.01
Kohlhaas	1.37 ± 2.13	4.21	<0.01	1.38 ± 2.72	2.03	0.061	1.37 ± 2.29	4.61	<0.01
IOPc	3.51 ± 2.17	10.62	<0.01	3.88 ± 3.00	5.16	<0.01	3.61 ± 2.40	11.55	<0.01
bIOP	1.10 ± 1.73	4.15	<0.01	1.58 ± 2.50	2.53	0.023	1.23 ± 1.96	4.81	<0.01

注：Auto-NCT，Auto-NCT 眼压测量值；Ehlers，Ehlers 校正眼压值；Shah，Shah 校正眼压值；Dresden，Dresden 校正眼压值；Orssengo/Pye，Orssengo/Pye 校正眼压值；Kohlhaas，Kohlhaas 校正眼压值；IOPc，Corvis-ST 眼压测量值；bIOP，Corvis-ST 生物力学校正眼压值。

3.2. bIOP 与校正眼压值的比较

将术前 5 组校正眼压值与 bIOP 值比较，在 LASIK + SMILE 组，bIOP 均高于 5 组校正眼压值，IOP (Kohlhaas)最大，IOP (Ehlers)最小，bIOP 与 5 种校正眼压值均有显著性差异(P < 0.01)，如图 1 所示。在 LASIK 组，bIOP 均高于 5 组校正眼压值，IOP (Kohlhaas)最大，IOP (Ehlers)最小，bIOP 与 5 种校正眼压值均有显著性差异(P < 0.01)，如图 2 所示。在 SMILE 组，bIOP 均高于 5 组校正眼压值，IOP (Kohlhaas)最大，IOP (Ehlers)最小，bIOP 与 IOP (Ehlers)、IOP (Shah)以及 IOP (Dresden)具有显著性差异(P < 0.05)，

与 IOP (Orssengo/Pye)以及 IOP (Kohlhaas)无显著差异($P > 0.05$), 如图 3 所示。

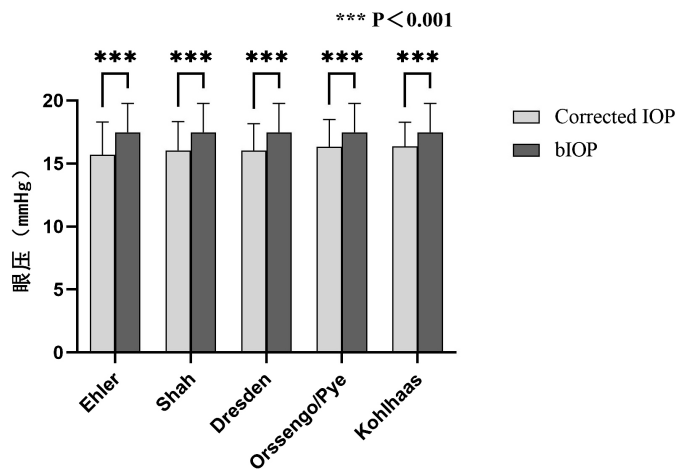


Figure 1. Comparison of preoperative corrected intraocular pressure formula and bIOP in the LASIK + SMILE group
图 1. LASIK + SMILE 组术前校正眼压公式与 bIOP 的比较

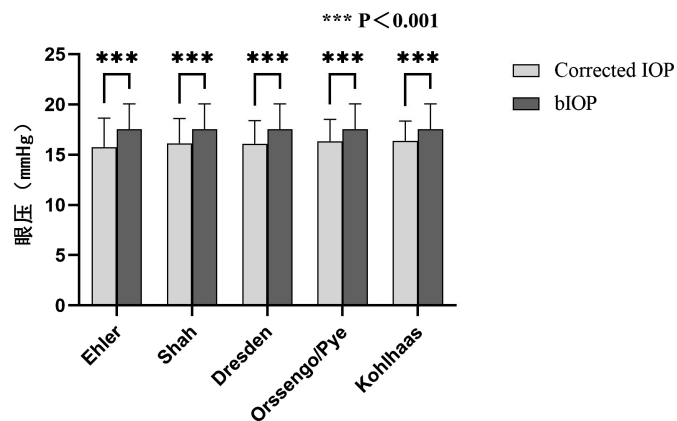


Figure 2. Comparison of preoperative corrected intraocular pressure formula and bIOP in the LASIK group
图 2. LASIK 组术前校正眼压公式与 bIOP 的比较

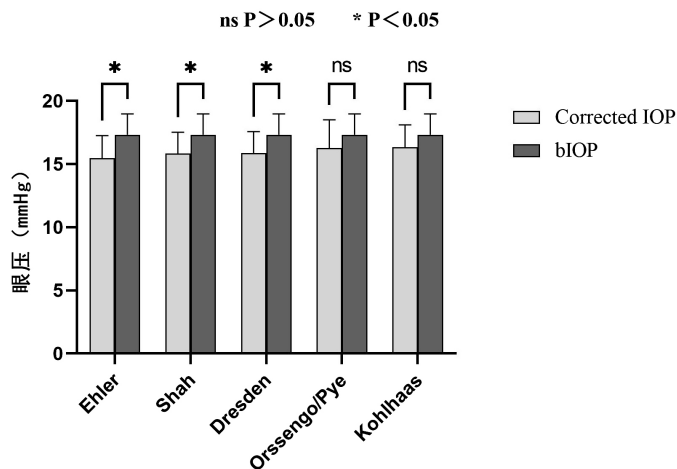


Figure 3. Comparison of preoperative intraocular pressure correction formula and bIOP in the SMILE group
图 3. SMILE 组术前校正眼压公式与 bIOP 的比较

将术后 5 组校正眼压值与 bIOP 值比较, 在 LASIK + SMILE 组, IOP (Ehlers)最大, IOP (Orssengo/Pye)最小, bIOP 低于 IOP (Ehlers)和 IOP (Shah), 高于 IOP (Dresden)、IOP (Orssengo/Pye)和 IOP (Kohlhaas)。其中, bIOP 与 IOP (Shah)无显著差异($P = 0.782$), 与其他 4 种校正眼压值均有显著性差异($P < 0.01$), 如图 4 所示。在 LASIK 组, IOP (Ehlers)最大, IOP (Orssengo/Pye)最小, bIOP 低于 IOP (Ehlers)和 IOP (Shah), 高于 IOP (Dresden)、IOP (Orssengo/Pye)和 IOP (Kohlhaas)。其中, bIOP 与 IOP (Shah)无显著差异($P = 0.842$), 与其他 4 种校正眼压值均有显著性差异($P < 0.01$), 如图 5 所示。在 SMILE 组, IOP (Ehlers)最大, IOP (Orssengo/Pye)最小, bIOP 低于 IOP (Ehlers)和 IOP (Shah), 高于 IOP (Dresden)、IOP (Orssengo/Pye)和 IOP (Kohlhaas)。其中, bIOP 与 IOP (Orssengo/Pye)有显著差异($P < 0.01$), 与其他 4 种校正眼压值均无显著性差异($P > 0.05$), 如图 6 所示。

3.3. Shah 校正眼压值与 bIOP 的一致性分析

在 LASIK 组中, 将术后 Shah 校正眼压公式与 bIOP 进行比较, 有 95% (41/43)的点在 95%可信区间 (-3.64, 3.79)之内; 在 SMILE 组中, 将术后 Shah 校正眼压公式与 bIOP 进行比较, 有 94% (15/16)点在 95%可信区间 (-3.21, 3.46)之内; 在 LASIK + SMILE 组中, 将术后 Shah 校正眼压公式与 bIOP 进行比较, 有 97% (57/59)的点在 95%可信区间 (-3.50, 3.67)之内, 如图 7 所示。

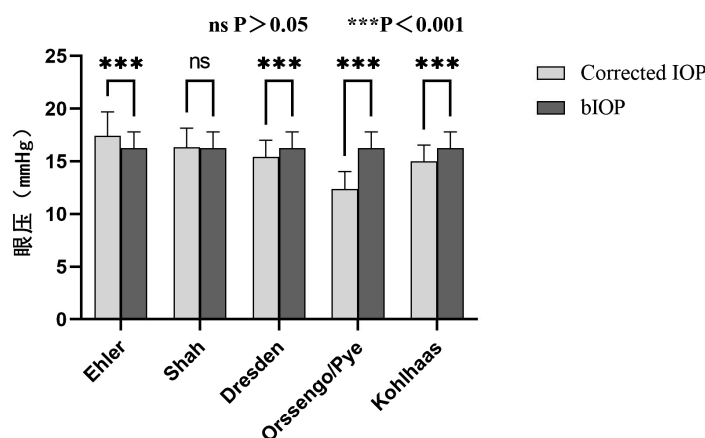


Figure 4. Comparison of postoperative corrected intraocular pressure formula and bIOP in the LASIK + SMILE group
图 4. LASIK + SMILE 组术后校正眼压公式与 bIOP 的比较

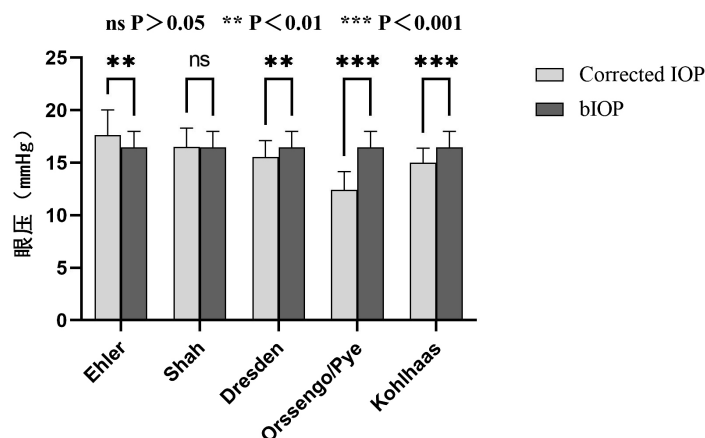


Figure 5. Comparison of postoperative corrected intraocular pressure formula and bIOP in the LASIK group
图 5. LASIK 组术后校正眼压公式与 bIOP 的比较

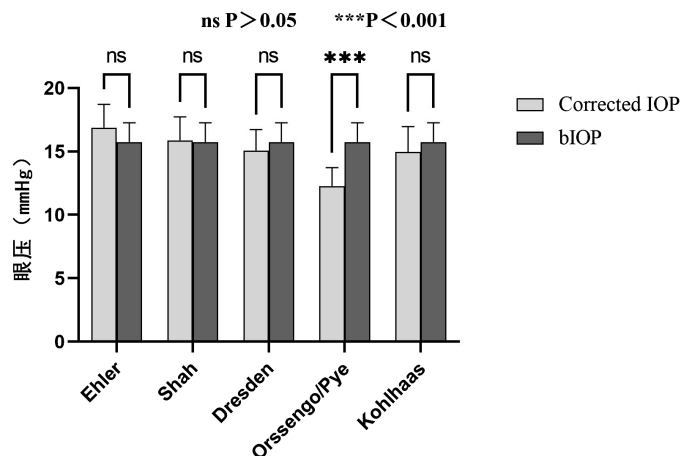


Figure 6. Comparison of postoperative intraocular pressure correction formula and bIOP in the SMILE group
图 6. SMILE 组术后校正眼压公式与 bIOP 的比较

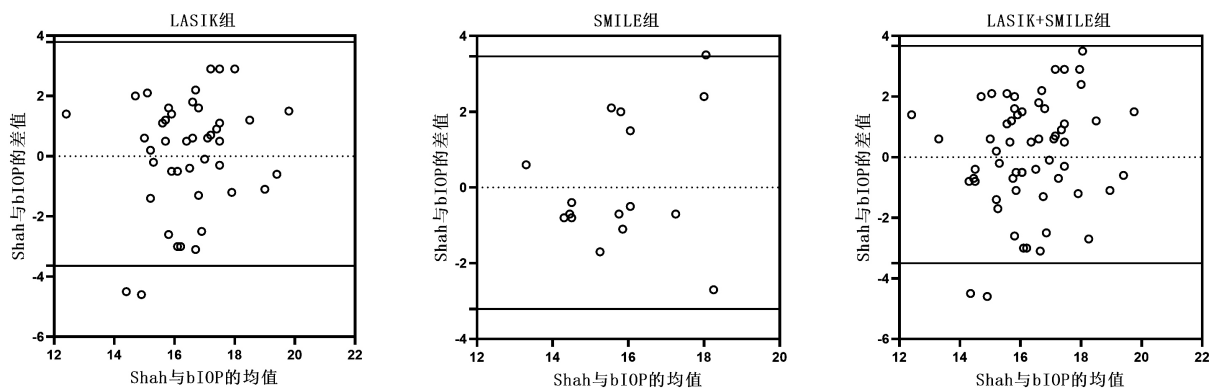


Figure 7. Comparison of concordance between Shah's corrected IOP formula and bIOP
图 7. Shah 校正眼压公式与 bIOP 的一致性比较

4. 讨论

近视已经成为了全世界范围内公共卫生关注的焦点, 近视人群的占比呈逐年上升趋势, 至 2050 年近视人群占比可高达全球人口的 49.8% (约 48 亿人) [8]。随着人们生活水平的提高, 越来越多的近视人群, 尤其是年轻人为了更清晰地视物亦或是强烈的脱镜意愿, 会选择行角膜屈光手术来得到更清晰的视觉质量。飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE)和准分子激光原位角膜磨镶术(LASIK)作为主流的角膜屈光手术方式, 已被证实具有良好的安全性、有效性和可预测性[9] [10]。行角膜屈光术后会导致测得眼压偏低[11], 但是实际眼内压并不会降低[12]。角膜激光术后会出现炎症反应、术后干眼等并发症, 临床医生会常规使用弱激素眼药制剂来减少其发生以及促进角膜组织的修复, 然而角膜激光术后常规眼压计测量得到的偏低眼压, 为屈光医师术后根据眼压信息调整激素用量造成困难。近视作为开角型青光眼的危险因素[13], 术后常规应用激素会引起眼压的升高, 甚至导致激素性青光眼的发生, 此时眼压的隐匿性会造成医师的误判, 影响患者的安全。因此, 屈光术后如何获取精准真实的眼压是临床医生值得关注的问题。

针对屈光手术后选用哪种眼压测量设备能够获得最真实的眼压尚无明确标准, 既往已有研究使用 GAT、ORA、Corvis-ST、NCT 等设备测量屈光术后眼压, 但是得到的结果大多都是低于术前[14] [15], 其中有一项研究指出金标准 GAT 术后眼压降低幅度更大, 而使用 Corvis-ST 测得的生物力学校正眼压 bIOP

与术前相差最小[16]。Corvis-ST 是一种较新的非接触式眼压计,能够实时动态观察眼内压测量过程记录眼压,并同时纳入生物力学参数,诸如角膜第一压平时硬度参数(SPA1)、角膜应力应变指数(SS1)、Corvis-ST 生物力学综合指数(CBI)等。bIOP 是根据有限元分析,通过考虑角膜的组织材料特性、角膜地形图等因素,得出的根据 Corvis-ST 测得眼压进行生物力学校正的结果[17],bIOP 已被证实不受年龄、性别以及生物力学因素的影响[18],且在屈光术后 bIOP 对比其他的眼压计,测量结果更准确,一致性更好[19]。因此 bIOP 较适合作为屈光术后眼压测量的“标准”。我们的研究显示,无论是在 LASIK 组、SMILE 组还是 LASIK + SMILE 组,相较 Auto-NCT 差值和 IOPc 差值,bIOP 手术前后差值最小,与尹娜等人的研究结果相似,表明比起非接触式眼压计,bIOP 手术前后差异更小,测量结果更加可靠,眼压较为真实[20]。

将 Pentacam 测得中央角膜厚度以及角膜曲率输入 Auto-NCT 校正眼压操作界面,得出 5 种校正眼压。在行 LASIK 手术的患者中,仅 Shah 校正眼压值与 bIOP 无显著差异,而在行 SMILE 手术的患者中,bIOP 与 Orssengo/Pye 校正眼压值有显著差异,与其他 4 种校正眼压值均无显著性差异,其中 Shah 校正眼压值与 bIOP 最接近。将术前术后 5 组校正眼压值相比较,发现在行 LASIK 手术患者中,Shah 校正眼压值以及 Dresden 校正眼压值无显著差异,Shah 校正眼压值变化最小,与 Yang 等人[21]的研究相似,然而既往的研究表明 Ehlers 校正眼压公式适合作为 LASIK 术后眼压的校正[22],与我们的研究并不一致。在行 SMILE 手术的患者中,Shah 校正眼压值、Dresden 校正眼压值以及 Kohlhaas 校正眼压值无显著差异,Shah 校正眼压值变化最小,与李华等人[23]的研究相符合,认为 Shah 校正眼压公式可作为 SMILE 术后眼压测量的首选方式。5 种校正眼压公式仅 Kohlhaas 同时考虑了角膜厚度与曲率,而其余 4 种公式仅考虑了角膜厚度。每种公式定义的角膜标准不同,例如 Shah 公式以 550 μm 为标准角膜厚度,而 Ehler 公式的标准角膜厚度定义为 550 μm ,眼压校正值每变化 1 mmHg,Shah 公式角膜厚度变化 20 μm ,而 Ehler 公式角膜厚度变化 15 μm ,因此即便它们都使用了相同的角膜厚度,但是 5 种结果都不尽相同。在我们的研究中,发现无论是与 bIOP 的比较还是手术前后变化值的差异,行 SMILE 手术的患者相比行 LASIK 手术的患者似乎变化更小。既往研究表明行 SMILE 术后就生物力学而言较 LASIK 更稳定[24],因为 LASIK 手术需要制备角膜瓣,而 SMILE 仅需制备角膜帽,角膜帽较角膜瓣保留了角膜组织的完整性,提供了更稳定的生物力学[25],并且相比 SMILE,LASIK 诱导了更多的细胞炎症、凋亡以及增值[26],以上原因可能导致了 LASIK 术后眼压的不稳定。

然而本研究存在一定的局限性,我们的研究对象主要为中低度近视患者,当对象为高度近视患者,角膜切削量大时是否会出现不同的结果,且 SMILE 与 LASIK 为板层角膜激光手术,未纳入表层角膜激光手术患者进行研究,尚不清楚表层角膜激光术后患者是否适用,并且样本量需要进一步扩充,以及随访时间仅纳入术后 1 月,随访时间过短等,未来还将针对以上不足进一步进行探究。

综上所述,针对屈光术后患者,bIOP 较为真实,能够反应屈光术后眼压状况,作为补充,在 NT-100 内置 5 种校正眼压公式中,针对中低度近视行板层角膜屈光术后患者,Shah 公式相对可靠,对临床医师准确获得屈光术后眼压以及术后用药有一定的指导意义。

基金项目

湘江公益基金(XJPF-KY2022002)。

参考文献

- [1] Randleman, J.B. (2021) The State of Refractive Surgery: 2021 and Beyond. *Journal of Refractive Surgery*, **37**, 6. <https://doi.org/10.3928/1081597x-20201221-01>
- [2] Fu, D., Li, M., Knorz, M.C., Wei, S., Shang, J. and Zhou, X. (2020) Intraocular Pressure Changes and Corneal Biomechanics after Hyperopic Small-Incision Lenticule Extraction. *BMC Ophthalmology*, **20**, Article No. 129.

- <https://doi.org/10.1186/s12886-020-01384-2>
- [3] Ehlers, N., Bramsen, T. and Sperling, S. (1975) Applanation Tonometry and Central Corneal Thickness. *Acta Ophthalmologica*, **53**, 34-43. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.1975.tb01135.x>
 - [4] Shah, S., Chatterjee, A., Mathai, M., Kelly, S.P., Kwartz, J., Henson, D., *et al.* (1999) Relationship between Corneal Thickness and Measured Intraocular Pressure in a General Ophthalmology. *Ophthalmology*, **106**, 2154-2160. [https://doi.org/10.1016/s0161-6420\(99\)90498-0](https://doi.org/10.1016/s0161-6420(99)90498-0)
 - [5] Kohlhaas, M. (2006) Effect of Central Corneal Thickness, Corneal Curvature, and Axial Length on Applanation Tonometry. *Archives of Ophthalmology*, **124**, 471-476. <https://doi.org/10.1001/archophth.124.4.471>
 - [6] Orssengo, G. (1999) Determination of the True Intraocular Pressure and Modulus of Elasticity of the Human Cornea in Vivo. *Bulletin of Mathematical Biology*, **61**, 551-572. <https://doi.org/10.1006/bulm.1999.0102>
 - [7] Kohlhaas, M., Spoerl, E., Boehm, A.G. and Pollack, K. (2006) A Correction Formula for the Real Intraocular Pressure after LASIK for the Correction of Myopic Astigmatism. *Journal of Refractive Surgery*, **22**, 263-267. <https://doi.org/10.3928/1081-597x-20060301-11>
 - [8] Holden, B.A., Fricke, T.R., Wilson, D.A., Jong, M., Naidoo, K.S., Sankaridurg, P., *et al.* (2016) Global Prevalence of Myopia and High Myopia and Temporal Trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*, **123**, 1036-1042. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2016.01.006>
 - [9] Randleman, J.B. (2020) Small Incision Lenticule Extraction (SMILE): What Now? What Next? *Ophthalmology*, **127**, 1035-1036. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2020.03.013>
 - [10] Taneri, S., Knepper, J., Rost, A. and Dick, H.B. (2021) PRK, LASIK, SMILE im Langzeitverlauf. *Der Ophthalmologe*, **119**, 163-169. <https://doi.org/10.1007/s00347-021-01449-7>
 - [11] Cacho, I., Sanchez-Naves, J., Batres, L., Pintor, J. and Carracedo, G. (2015) Comparison of Intraocular Pressure before and after Laser *in Situ* Keratomileusis Refractive Surgery Measured with Perkins Tonometry, Noncontact Tonometry, and Transpalpebral Tonometry. *Journal of Ophthalmology*, **2015**, Article ID: 683895. <https://doi.org/10.1155/2015/683895>
 - [12] Siganos, D.S., Papastergiou, G.I. and Moedas, C. (2004) Assessment of the Pascal Dynamic Contour Tonometer in Monitoring Intraocular Pressure in Unoperated Eyes and Eyes after Lasik. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **30**, 746-751. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2003.12.033>
 - [13] Ha, A., Kim, C.Y., Shim, S.R., Chang, I.B. and Kim, Y.K. (2022) Degree of Myopia and Glaucoma Risk: A Dose-Response Meta-Analysis. *American Journal of Ophthalmology*, **236**, 107-119. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2021.10.007>
 - [14] Chou, C., Shih, P., Lin, H., Chen, J., Yen, J. and Wang, I. (2021) Changes in Intraocular Pressure after Transepithelial Photorefractive Keratectomy and Femtosecond Laser *in Situ* Keratomileusis. *Journal of Ophthalmology*, **2021**, Article ID: 5592195. <https://doi.org/10.1155/2021/5592195>
 - [15] Wang, K., Wang, W.W., Tsai, C. and Wang, I. (2019) Intraocular Pressure Changes in Eyes with Small Incision Lenticules and Laser *in Situ* Keratomileusis. *Clinical and Experimental Optometry*, **102**, 399-405. <https://doi.org/10.1111/cxo.12861>
 - [16] Chen, S., Lopes, B.T., Huang, W., Zheng, X., Wang, J., Zhu, R., *et al.* (2020) Effectiveness of 4 Tonometers in Measuring IOP after Femtosecond Laser-Assisted LASIK, SMILE, and Transepithelial Photorefractive Keratectomy. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*, **46**, 967-974. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.000000000000204>
 - [17] Vinciguerra, R., Elsheikh, A., Roberts, C.J., Ambrósio, R., Kang, D.S.Y., Lopes, B.T., *et al.* (2016) Influence of Pachymetry and Intraocular Pressure on Dynamic Corneal Response Parameters in Healthy Patients. *Journal of Refractive Surgery*, **32**, 550-561. <https://doi.org/10.3928/1081597x-20160524-01>
 - [18] Bao, F., Huang, W., Zhu, R., Lu, N., Wang, Y., Li, H., *et al.* (2019) Effectiveness of the Goldmann Applanation Tonometer, the Dynamic Contour Tonometer, the Ocular Response Analyzer and the Corvis ST in Measuring Intraocular Pressure Following FS-LASIK. *Current Eye Research*, **45**, 144-152. <https://doi.org/10.1080/02713683.2019.1660794>
 - [19] Cao, K., Liu, L., Yu, T., Chen, F., Bai, J. and Liu, T. (2019) Changes in Corneal Biomechanics during Small-Incision Lenticule Extraction (SMILE) and Femtosecond-Assisted Laser *in Situ* Keratomileusis (FS-LASIK). *Lasers in Medical Science*, **35**, 599-609. <https://doi.org/10.1007/s10103-019-02854-w>
 - [20] 尹娜, 陈晓蓓, 周娜. Corvis ST 校正眼压与 Pentacam 系统校正眼压的对比研究[J]. 临床眼科杂志, 2023, 31(1): 14-18.
 - [21] Yang, Z., Miao, N., Wang, L. and Ma, K. (2022) Comparison of Different Correction Formulas and Measurement Methods for the Accurate Determination of Intraocular Pressure after SMILE and FS-LASIK Surgery. *BMC Ophthalmology*, **22**, Article No. 404. <https://doi.org/10.1186/s12886-022-02620-7>
 - [22] 洪莲花, 李英俊. Pentacam 眼前节分析系统在 Epi-LASIK 术后眼压值校正中应用[J]. 中华实用眼科杂志, 2014, 32(9): 1068-1071.

-
- [23] 李华, 王雁, 窦瑞, 等. 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术后眼压测量及其影响因素分析[J]. 中华眼科杂志, 2016, 52(1): 22-29
 - [24] Chen, M., Yu, M. and Dai, J. (2016) Comparison of Biomechanical Effects of Small Incision Lenticule Extraction and Laser-assisted Subepithelial Keratomileusis. *Acta Ophthalmologica*, **94**, e586-e591. <https://doi.org/10.1111/aos.13035>
 - [25] Wang, C., Li, X., Guo, Y., He, R., Guo, H. and Chen, W. (2022) Effects of Laser *in Situ* Keratomileusis and Small-Incision Lenticule Extraction on Corneal Biomechanical Behavior: A Finite Element Analysis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, **10**, Article 855367. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.855367>
 - [26] Dong, Z., Zhou, X., Wu, J., Zhang, Z., Li, T., Zhou, Z., *et al.* (2013) Small Incision Lenticule Extraction (SMILE) and Femtosecond Laser LASIK: Comparison of Corneal Wound Healing and Inflammation. *British Journal of Ophthalmology*, **98**, 263-269. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2013-303415>