



## ND:YAG-LASER IRIDOTOMY: A LITERATURE REVIEW

*L'iridotomia mediante Nd:YAG Laser: revisione della letteratura***Angelica Dipinto**

Luigi Sacco Hospital, Milan

**INTRODUCTION**

Laser iridotomy, is the creation of a hole through the iris near its base using a laser beam. It is a simple and effective procedure widely-used in the treatment of pupillary block. In 1981, Quigley became the first to introduce Argon Laser iridotomy in clinical practice, making it possible to treat patients conservatively who would otherwise have had to undergo an iridectomy<sup>1</sup>. Argon Laser use, often, required various sessions and a number of spots for perforating the iris, with greater risk of negative effects on dark irises. In 1983, Fankhauser demonstrated the possibility of using Neodymium-doped Yttrium Aluminium Garnet (Nd:YAG) Laser to perform single spot iridotomy<sup>2</sup>. One year later, Pollak et al investigated the method's potential by using it to create iridotomies in monkeys and humans<sup>3</sup>. The Nd:YAG Laser makes it possible to perform iridotomy using less total energy than a pure Argon Laser and has a lower risk of closure<sup>4</sup>. The Nd:YAG Laser is a pulsed, solid-state laser which causes photodisruption, lead to the excision of tissue through plasma formation. Argon Lasers, on the other hand, use photocoagulation for a thermal effect<sup>5</sup>. This article aims to provide a literature review on iridotomy with an Nd:YAG

**INTRODUZIONE**

*L'iridotomia laser, ossia la creazione di un'apertura a livello dell'iride periferica mediante applicazione laser, è una procedura semplice ed efficace diffusamente utilizzata per il trattamento del blocco pupillare. Quigley nel 1981 fu il primo a introdurre l'iridotomia mediante argon laser nella pratica clinica, permettendo di gestire in modo conservativo pazienti che, altrimenti, sarebbero stati candidati ad intervento di iridectomia<sup>1</sup>. L'utilizzo dell'argon laser determinava, spesso, la necessità di più sedute e numerosi spot per perforare l'iride, con maggiore difficoltà per le iridi scure. Frankauser nel 1983 evidenziò la possibilità di usare il neodymium-doped yttrium aluminium garnet (Nd:YAG) laser per eseguire iridotomie in singolo spot<sup>2</sup>. Un anno dopo Pollak e colleghi ne investigarono le potenzialità applicandolo alla realizzazione d'iridotomie sia nella scimmia che nell'uomo<sup>3</sup>. Il Nd:YAG laser permetteva di eseguire iridotomie utilizzando una potenza complessiva inferiore rispetto al solo argon e con una minore tendenza alla chiusura<sup>4</sup>. Il Nd:YAG laser è un laser pulsato solido che fotodistrugge, tagliando i tessuti mediante la formazione di un plasma. L'argon laser, invece, brucia mediante fotocoagulazione<sup>5</sup>. Questo articolo ha lo scopo di fornire una revisione della letteratura circa l'iridotomia*

**CORRESPONDING AUTHOR**

Angelica Dipinto  
angelica.dipinto@gmail.com  
+393408239010

**KEY WORDS**

Nd:YAG Laser iridotomy,  
pupillary block,  
angle-closure suspect,  
Pigment Dispersion  
Syndrome

**PAROLE CHIAVE**

Nd:YAG laser, iridotomia,  
blocco pupillare, chiusura  
angolare sospetta,  
sindrome da dispersione di  
pigmento



Laser, paying particular attention to the indications and possible side effects associated with this procedure.

### INDICATIONS

Gonioscopy is the basic technique to view the irideocorneal angle. In primary angle-closure, there is iridotrabecular contact with anterior synechiae or ocular hypertension, but, there is no sign of optic neuropathy which indicates primary angle-closure glaucoma. Anterior synechiae adhesion between the cornea and the iris underpins the presence of a long-standing process. Angle-closure can vary depending on the pathophysiological mechanism that underpins it<sup>6</sup>. Laser iridotomy is particularly indicated for treating pupillary block, which is the predominant mechanism in 75% of primary angle-closure cases<sup>7</sup>. In predisposed eyes, circulation of the aqueous humour from the posterior to the anterior chamber may be impeded due to adhesion between the anterior lens surface and posterior surface of the iris. This obstacle to outflow can be induced, for example, following a mydriatic eye drop instillation. It creates a pressure gradient between the anterior surface and the posterior surface of the iris, which, through anterior bowing, creates the angle-closure for iridotrabecular contact. The iridotomy works by eliminating the trans-irido delta blood pressure. The pupillary block mechanism can, however, coexist with more posterior causes of angle-closure, such as a intumescent crystalline lens pressing the lens-iris diaphragm forward<sup>8</sup>. Iridotomy has proven extremely effective in the early treatment of angle-closure from pupillary block, however, it may prove less helpful

*mediante Nd:YAG laser, con particolare attenzione per le indicazioni ed i possibili effetti collaterali legati a tale procedura.*

### INDICAZIONI

*La gonioscopia è la tecnica fondamentale per lo studio dell'angolo irido-corneale. Nella chiusura angolare primaria è presente contatto irido-trabecolare con sinechie anteriori o ipertono ma non vi è segno di neuropatia ottica che invece caratterizza il glaucoma primario ad angolo chiuso. Il riscontro di sinechie anteriori tra la cornea e l'iride sottende la presenza di un processo di lunga data. La chiusura angolare può essere differenziata in base al meccanismo fisiopatologico che la sottende<sup>6</sup>. In particolare l'iridotomia laser trova la sua indicazione nel trattamento del blocco pupillare, che costituisce il meccanismo predominante nel 75% dei casi di chiusura angolare primaria<sup>7</sup>. In occhi predisposti, l'umore acqueo può trovare un impedimento nel passaggio dalla camera posteriore a quella anteriore, a causa di un contatto tra faccia anteriore del cristallino e iride. Quest'ostacolo al deflusso può essere indotto, ad esempio, in seguito all'instillazione di un collirio midriatico. Si crea un gradiente pressorio tra la faccia anteriore e quella posteriore dell'iride che, incurvandosi anteriormente, determina la chiusura angolare per apposizione irido-trabecolare. L'iridotomia agisce andando ad annullare il delta pressorio trans-irideo. Il meccanismo di blocco pupillare può, tuttavia, coesistere con cause più posteriori di chiusura d'angolo, come quella indotta da un cristallino intumescente che spinge anteriormente il diaframma irideo<sup>8</sup>. L'iridotomia si è rivelata estremamente efficace nel trattamento precoce della chiusura angolare da blocco pupillare mentre può risultare insufficiente nell'ottenere il*



in controlling intraocular pressure, in cases where glaucomatous or anterior synechiae damage already exist<sup>9</sup>. If an eye had an angle-closure attack<sup>10,11</sup>, the contralateral eye has a 50% risk of suffering the same condition, if not treated with prophylactic iridotomy. Nd:YAG iridotomy not only plays an essential therapeutic role in angle-closure glaucoma, but also has an important diagnostic role. This procedure resolves the pupillary block, so in cases where angle-closure persists other pathologies<sup>8</sup>, such as Plateau Iris, should be sought. Despite being identifiable through gonioscopy or angle-imaging techniques, such as anterior segment OCT, Plateau Iris Syndrome is often unrecognised or undiagnosed.

While iridotomy is the widely-shared indication in cases of primary angle-closure and for the contralateral eye, the use of prophylactic iridotomy on patients with Occludable Angle is less uniformly shared. Occludable Angle is a condition also known as primary angle-closure suspect. An angle is considered occludable when the posterior (pigmented) part of the trabecular meshwork is not visible in three out of four quadrants, unless indentation is performed<sup>6,12,13</sup>. A survey of 546 British ophthalmologists was published in 2005 in which 74.7% of those surveyed said they performed prophylactic iridotomies. Of these, 85% based their decision on the patients' symptoms, and 65.6% based them on the patients' IOP. 96.6% said they do gonioscopy, 2.2% primarily assessed anterior chamber depth using the Van Herrick and 23.8% reported using provocation tests (mydriatic eye drop instillation, Mapstone Test, "Dark Prone" Test)<sup>14</sup>. In a similar work conducted with 126 ophthalmologists

*controllo della pressione intraoculare, nei casi in cui siano già presenti un danno glaucomatoso o delle sinechie anteriori<sup>9</sup>. L'occhio adelfo, di un occhio andato incontro a chiusura d'angolo, inoltre, presenta un rischio del 50% di svilupparla anch'esso<sup>10,11</sup> se non trattato con iridotomia profilattica.*

*L'iridotomia Nd:YAG non solo riveste un fondamentale ruolo terapeutico nel glaucoma ad angolo chiuso, ma ha anche una valenza diagnostica. Essa risolve il blocco pupillare, quindi in caso di chiusura angolare persistente bisognerà ricercare altri meccanismi patologici<sup>8</sup>, come ad esempio un'iride plateau. Quella dell'iride plateau è un'entità che, pur essendo identificabile alla gonioscopia o mediante tecniche di imaging dell'angolo, come l'OCT del segmento anteriore, viene spesso misconosciuta.*

*Se l'indicazione all'iridotomia in caso di chiusura angolare primaria o nell'occhio adelfo di quello colpito sono ampiamente condivise, minore uniformità vi è per quanto riguarda l'esecuzione d'iridotomie profilattiche in pazienti con angolo occludibile, condizione indicata come chiusura angolare primaria sospetta. Si definisce occludibile un angolo in cui la porzione posteriore del trabecolato, quella pigmentata, non sia visualizzabile in tre quadranti su quattro, senza indentazione<sup>6,12,13</sup>. Nel 2005 è stato pubblicato un sondaggio condotto su 546 oculisti inglesi i cui il 74,7% ha dichiarato di eseguire iridotomie profilattiche. Di questi l'85.0% riferiva di decidere in base ai sintomi del paziente, il 65.6% in base alla pressione intraoculare alla presentazione. Il 96.6% ha dichiarato di eseguire la gonioscopia, il 2.2% la valutazione della profondità della camera anteriore prevalentemente mediante metodo di Van Herrick e il 23.8% ha riferito di utilizzare test di provocazione (instillazione di colliri*



in Singapore, where approximately 10% of the over-50s population has an occludable angle, 84.9% reported performing laser iridotomy in cases of primary angle-closure suspects<sup>15</sup>. In patient evaluation, 85.4% used gonioscopy, 92.9% assessed anterior chamber depth, and 17.5% performed provocative tests<sup>15</sup>. While it may appear to be widespread practice in some countries, a recent article by Carlesimo et al found that prophylactic iridotomy is often not performed, with practitioners waiting for pupillary block with ocular hypertension to appear before intervening. The authors, however, agree with Kanski's indications supporting the use of prophylactic iridotomy in occludable angles<sup>16</sup>.

They point out that, while on the one hand, an acute attack of glaucoma is a rare occurrence, on the other hand, it is not possible to know if and when a gonioscopically-narrow angle will develop anterior synechiae. Iridotomy may not only prevent a pupillary block from developing in a predisposed eye, but also prevents an appositional (reversible) angle transforming into a synechial (irreversible) angle<sup>17</sup>. The complexity of the prophylactic iridotomy issue is underlined by one of the conclusions of the Association of International Glaucoma Societies (AIGS) during the third AIGS Global Consensus Meeting on angle-closure glaucoma in 2006. On that occasion, the AIGS stressed that prophylactic iridotomy use in the presence of any form of gonioscopically-visible iridotrabecular contact had no literature-based evidence to support it and, therefore, further research was required to clarify the procedure's role. Similarly, provocation tests held no scientifically proven use for the AIGS<sup>18</sup>.

*midriatici, Mapstone test, "dark prone" test)<sup>14</sup>. In un lavoro simile condotto su 126 oculisti di Singapore, dove circa il 10% della popolazione al di sopra dei 50 anni presenta un angolo occludibile, l'84.9% ha riferito di eseguire iridotomie laser in caso di chiusura primaria angolare sospetta<sup>15</sup>. Nella valutazione dei pazienti 85.4% ha dichiarato di utilizzare la gonioscopia, il 92.9% la valutazione della profondità della camera anteriore e il 17.5% i test di provocazione<sup>15</sup>. Se in alcune nazioni sembra essere una pratica diffusa, in un recente articolo Carlesimo e colleghi sottolineano come, spesso, l'iridotomia profilattica non venga eseguita, aspettando l'instaurarsi di un blocco pupillare con ipertono per intervenire. Gli autori, invece, condividono le indicazioni riportate da Kanski e supportano l'esecuzione dell'iridotomia profilattica in angoli occludibili<sup>16</sup>. Essi sottolineano come se da un lato l'attacco acuto di glaucoma sia un'evenienza rara, dall'altro non è possibile sapere se è quando un angolo gonioscopicamente stretto svilupperà delle sinechie anteriori. L'iridotomia può prevenire non solo l'instaurarsi di un blocco pupillare in un occhio predisposto, ma anche il trasformarsi di un'apposizione angolare in un angolo sinechiato in modo irreversibile<sup>17</sup>. La complessità del tema dell'iridotomia profilattica è sottolineata da una delle conclusioni dell'Association of International Glaucoma Societies (AIGS) durante il terzo Global AIGS Consensus Meeting sul glaucoma ad angolo chiuso del 2006. In tale occasione l'AIGS ha sottolineato come l'esecuzione dell'iridotomia profilattica in presenza di una qualunque forma di contatto iridotrabecolare visibile alla gonioscopia, non avesse evidenze tali in letteratura da giustificare la pratica, con l'esigenza di nuovi studi per chiarire il ruolo. Allo stesso modo i test di provocazione*



Iridotomy's role in the management of Pigment Dispersion Syndrome is also interesting. This syndrome predominantly affects myopic males and constitutes a risk factor in the development of secondary glaucoma<sup>19</sup>. It is characterised by iris transillumination defects, deposition of iris pigment on the anterior segment structures, floppy base of iris which can assume a concave configuration. Campbell was the first to identify posterior bowing of the middle-peripheral iris, as a key cause of this syndrome<sup>20</sup>. Karickhoff delved deeper in the concept of "reverse pupillary block", wherein the level of lens-iris contact determines a valve mechanism which allows aqueous humour to pass from the posterior chamber to the anterior but not vice versa. If pressure becomes higher in the anterior chamber than the posterior, posterior bowing of the iris occurs forcing rubbing of the iris pigment epithelium against the lens zonules and causing pigment dispersion<sup>21</sup>. Physical exercise, accommodation, blinking and dilatation may exacerbate this mechanism, increasing the pigment dispersion<sup>22,23,24</sup>. Laser iridotomy balances the pressure gradient between the anterior and posterior chamber, eliminating the reverse pupillary block, causing the iris to flatten and reducing iris pigment dispersion<sup>21</sup>. The changes in iris configuration can be documented using anterior segment imaging techniques such as ultrasound biomicroscopy or optical coherence tomography<sup>25,26</sup>. Unfortunately, iridotomy is not successful in all cases. It appears to be more advantageous as a prophylactic procedure before pigmentary glaucoma develops. According to Niyadurupola and Broadway, the ideal candidate is

*non presentavano per l'AGS un'utilità scientificamente provata<sup>18</sup>. Interessante è anche il ruolo nell'iridotomia nella gestione della sindrome da dispersione di pigmento, la quale colpisce prevalentemente maschi miopi e costituisce un fattore di rischio per lo sviluppo di glaucoma secondario<sup>19</sup>. Essa è caratterizzata da difetti di transilluminazione dell'iride, deposizione di pigmento a livello delle strutture del segmento anteriore dell'occhio, radice dell'iride "floppy" che può assumere una configurazione concava. Campbell fu il primo a identificare l'incurvamento posteriore dell'iride medio-periferica, come meccanismo chiave di questa sindrome<sup>20</sup>. Karickhoff ha poi approfondito il concetto di "blocco pupillare inverso", in cui la posizione dell'iride a contatto con la lente determina un meccanismo a valvola per cui l'acqueo può passare dalla camera posteriore all'anteriore ma non viceversa, con aumento della pressione nella camera anteriore rispetto alla posteriore, incurvamento posteriore dell'iride e dispersione di pigmento per sfregamento tra epitelio pigmentato irideo e zonula<sup>21</sup>. L'esercizio fisico, l'accomodazione, l'ammiccamento e la dilatazione possono esacerbare questo meccanismo, aumentando la dispersione di pigmento<sup>22,23,24</sup>. L'iridotomia laser uguaglia la pressione tra camera anteriore e posteriore, elimina il blocco pupillare inverso, rende l'iride piana e riduce la dispersione del pigmento irideo<sup>21</sup>. La modifica della conformazione iridea può essere documentata anche mediante tecniche di imaging del segmento anteriore come la biomicroscopia ad ultrasuoni o la tomografia a coerenza ottica<sup>25,26</sup>. Purtroppo l'iridotomia non ha successo in tutti i casi, sembra essere più vantaggiosa come procedura profilattica prima che si sviluppi un glaucoma pigmentario. Secondo Niyadurupola e*



a patient with Pigment Dispersion Syndrome with posterior bowing of the iris, increased intraocular pressure induced by exercise or dilation and pigmentary glaucoma in the other eye<sup>19</sup>. Obviously, in this case, as with prophylactic iridotomy in patients with occludable angles, the idea of subjecting a patient without a current illness - but solely at risk of developing it - to invasive surgery remains controversial.

The importance of selecting patients with pigment dispersion as a candidate for prophylactic iridotomy has also emerged from the recent study by Gandolfi and colleagues. Patients who present with positive Phenylephrine Test, considered high risk, (liberation of at least 10 pigment particles visible with single slit-lamp beam of light) were treated with iridotomy only in one eye. In the high risk group, 14.3% of treated eyes and 61.9% of untreated eyes showed a rise in IOP of at least 5 mm Hg during the 10-year follow-up period. A similar increase in intraocular pressure was observed in 11.4% of eyes with pigment dispersion and considered low risk (negative Phenylephrine Test). The authors showed that Phenylephrine Test may help in identifying patients at risk of developing ocular hypertension and that, in this category, prophylactic iridotomy reduces the likelihood of developing ocular hypertension to levels comparable with low-risk patients<sup>27</sup>.

### PROCEDURE

In the case of acute angle-closure, the first step is to use topical and systemic medications to reduce IOP and corneal edema. Only after this can instillation of pilocarpine 2% or 4% begin in order to prepare the iris for perforation.

*Broadway il soggetto ideale è quello con sindrome da dispersione di pigmento con incurvamento posteriore dell'iride, aumento della pressione intraoculare indotto da esercizio o dilatazione e glaucoma pigmentario nell'altro occhio<sup>19</sup>. Ovviamente, anche in questo caso, come per l'iridotomia profilattica in pazienti con angolo occludibile, resta controverso il fatto di sottoporre ad una procedura invasiva un soggetto senza malattia in atto ma semplicemente a rischio di svilupparla. L'importanza di selezionare il paziente con dispersione di pigmento da candidare ad iridotomia profilattica è emersa anche dal recente studio di Gandolfi e colleghi. Pazienti che presentavano un test della fenilefrina positivo, considerati ad alto rischio, (liberazione di almeno 10 particelle di pigmento visibili alla lampada a fessura in un singolo fascio di luce) sono stati trattati con iridotomia solo in un occhio. Il 14,3% degli occhi ad alto rischio trattati e il 61,9% di quelli non trattati hanno presentato un rialzo pressorio di almeno 5mmHg durante il periodo di follow-up di 10 anni. Un simile aumento della pressione intraoculare è stato riscontrato nell'11,4% degli occhi con dispersione di pigmento e basso rischio (test della fenilefrina negativo). Gli autori evidenziano come il test della fenilefrina possa aiutare nell'individuazione dei pazienti a rischio di sviluppare ipertono e che, in questa categoria, l'iridotomia profilattica permetta di ridurre la probabilità di sviluppare ipertono a livelli paragonabili a quelli riscontrati nei pazienti a basso rischio<sup>27</sup>.*

### PROCEDURA

*Nel caso di una chiusura acuta angolare bisognerà innanzitutto ridurre la pressione oculare e l'edema corneale mediante l'uso di ipotonizzanti topici e sistemici. Solo in seguito andrà iniziata*



Subsequently, a topical anesthetic is applied and an iridotomy lens such as an Abraham lens is positioned. This lens helps to keep the eyelids open, enlarges the area to be treated, and facilitates the focusing of the laser. The laser should be performed in the iris crypt, which is thinner and, therefore, easier to drill. The peripheral iris should be favoured, in an area protected by the upper eyelid. EGS (European Glaucoma Society) guidelines suggest bringing the defocus to zero and focusing the laser in the stroma and not on the surface of the iris.

As with all laser procedures, minimum effective energy should be used. One-three pulses at between 1 and 6 mJ are usually sufficient to achieve an acceptable iridotomy. Iridotomy is completed when pigment and aqueous humour flow freely between the chambers through the iridotomy just performed<sup>28</sup>.

The Nd:YAG Laser is the tool of choice in the execution of iridotomies on patients with light-coloured irides. Dark irises, such as those of African or Asian patients, may be thicker and more complex to perforate. Some authors have shown that using combination treatment first with Argon Laser and subsequently with Nd:YAG Laser can benefit the procedure, reduce the total energy required and the risk of bleeding<sup>29</sup>. de Silva et al have proposed a two-step pre-treatment with Argon Laser. Initially, low levels of Argon Laser energy, between 95 and 180 mW for 0:05 s, 50-µm diameter, are applied to create an area of pitted iris stroma of approximately 250 µm in diameter. Then a high power of of 700 mW is applied for 0.1 s with a diameter of 50 mm to produce a punched-out crater to the level of the radial muscle

*l'instillazione di pilocarpina al 2% o 4%, che tende l'iride e ne facilita la perforazione. Successivamente, dopo l'instillazione di anestetico topico, si procede al posizionamento di una lente da iridotomia, come quella di Abraham che aiuta nel mantenere le palpebre aperte, ingrandisce la zona da trattare e facilita la focalizzazione del laser. Il laser va eseguito a livello di una cripta, dove l'iride è più sottile e quindi più facile da perforare. Va prediletta l'iride periferica, in una zona protetta dalla palpebra superiore. L'EGS (European Glaucoma Society) nelle sue linee guida suggerisce di portare il defocus a zero e focalizzare il laser non sulla superficie iridea ma a livello dello stroma. Come per tutte le procedure laser va usata la minima potenza efficace. Uno-tre colpi con potenze tra gli 1 e i 6 mJ sono di solito sufficienti ad ottenere un'iridotomia passante. Quando l'iridotomia è pervia si assiste a un tipico flusso di pigmento e acqueo attraverso l'iridotomia stessa<sup>28</sup>.*

*Il Nd:YAG laser risulta essere lo strumento di elezione per l'esecuzione di iridotomie in pazienti con iride chiara. Le iridi scure, come quelle dei pazienti africani o asiatici, possono risultare più spesse e complesse da perforare. Alcuni autori hanno evidenziato come l'utilizzo di un trattamento sequenziale prima con argon laser e successivamente con Nd:YAG laser possa facilitare la procedura, ridurre l'energia complessiva necessaria ed il rischio di sanguinamento<sup>29</sup>. de Silva e colleghi hanno proposto un pretrattamento con argon laser in due step. All'inizio viene applicato un basso potere tra i 95 ed i 180 mW per 0.05 s, con 50 µm di diametro, per determinare una zona di bruciatura a livello dell'iride di circa 250 µm. Successivamente viene applicato un potere elevato di 700 mW, per 0.1 s con un diametro di 50 µm, per produrre un cratere a livello del muscolo*



fibres and vasculature. The iridotomy is completed using a Nd:YAG Laser at 1-3 mJ to perforate the epithelium pigment<sup>29</sup>. Chung et al compared the traditional combined approach with Argon-Nd:YAG Laser with one that includes a pre-treatment with a PASCAL Laser (Optimedica Corp., Santa Clara, CA, USA), which has been recently introduced into clinical practice for retinal photocoagulation. It is a frequency-doubled Nd:YAG laser with a wavelength of 532nm. The shorter duration of exposure characteristic of this type of laser, compared to Argon, seems to permit further reduction of total energy and the corneal damage. In the group treated by PASCAL Nd:YAG, in fact, total energy used was found to be  $1.85 \pm 1.17$  J compared to  $13.25 \pm 1.67$  J in the Argon-Nd:YAG Laser group<sup>30</sup>.

To be effective the iridotomy must permit a sufficient outflow of aqueous humour to resolve the pupillary block, with a constant aqueous flow. The pressure differential in the two chambers increases with the decreasing diameter of the iridotomy. According to Fleck, an iridotomy should be at least 150-200 microns in diameter. Peri-iridotomy edema, epithelial pigment proliferation and pupil dilatation can, in fact, reduce the diameter of an initially effective iridotomy<sup>31</sup>.

### COMPLICATIONS

#### Post-Procedure ocular Hypertension

The most frequent complication following Nd:YAG Laser iridotomy is an increase in IOP post-procedure. The percentage ocular hypertension varies from 5.7% to 40% depending on the studies. It is important to emphasise, however, that different studies present different ocular

e della vascolarizzazione iridea. L'epitelio pigmentato viene, infine, perforato utilizzando il Nd:YAG laser ad una potenza di 1-3 mJ<sup>29</sup>. Chung e colleghi hanno confrontato il classico approccio sequenziale con argon-Nd:YAG con uno che prevede un pretrattamento con un laser recentemente introdotto nella pratica clinica per la fotocoagulazione retinica, il PASCAL (Optimedica Corp., Santa Clara, CA, USA), un Nd:YAG laser a frequenza doppia a 532 nm. La minore durata di esposizione caratteristica di questo tipo di laser, rispetto all'argon, sembra permettere una ulteriore riduzione dell'energia totale erogata e del danno corneale. Nel gruppo trattato mediante PASCAL - Nd:YAG, infatti, l'energia totale utilizzata risultava essere di  $1.85 \pm 1.17$  J contro i  $13.25 \pm 1.67$  J del gruppo sottoposto ad argon-Nd:YAG laser<sup>30</sup>.

Un'iridotomia per essere efficace deve consentire un deflusso di acqueo tale da risolvere il blocco pupillare, con un flusso di acqueo costante. La differenza di pressione dai due lati dell'iridotomia aumenta al diminuire del diametro dell'iridotomia stessa. Secondo Fleck l'iridotomia dovrebbe avere un diametro di sicurezza pari a 150-200 microns. L'edema peri-iridotomia, la proliferazione dell'epitelio pigmentato e la dilatazione pupillare, infatti, possono ridurre il diametro di un'iridotomia inizialmente efficace<sup>31</sup>.

### COMPLICANZE

#### Ipertono post procedura

La complicanza più frequente dopo iridotomia Nd:YAG laser è l'aumento della pressione intraoculare (IOP) post-procedura. La percentuale d'ipertono varia dal 5.7% al 40% a seconda degli studi. È importante comunque sottolineare come studi diversi presentino cut off di ipertono





hypertension cut-offs<sup>4,32-36</sup>. It relates to a transient pressure increase, which usually occurs in the first hours following the procedure.

In Jiang's study of patients with primary angle-closure suspects treated only with Nd:YAG Laser, the eyes with post-iridotomy ocular hypertension had shallower anterior chambers ( $P = 0.012$ ), had requested higher laser energy ( $P < 0.001$ ) and a higher number of laser pulses ( $P = 0.039$ ) to obtain valid iridotomy<sup>35</sup>. In another study of Asian patients (with primary angle-closure suspects, primary angle-closure, primary angle-closure glaucoma and primary acute angle closure) who were treated with combined approach Argon-Nd:YAG Laser, no correlation between ocular hypertension and energy used was found. Patients with primary acute angle-closure were more likely to present pressure spikes ( $P = 0.0003$ ). According to the authors, this difference may lie in the different techniques used. Using only the Nd:YAG Laser can induce greater pigment dispersion and bleeding than the combined approach, while greater pressure spikes are correlated with greater energy used<sup>37</sup>.

Significant pressure increases, particularly  $>30$  mmHg, can put the patient at risk of occlusion of the central retinal vein or result in the loss of central vision in people with advanced glaucoma and, as such, should be managed carefully<sup>38</sup>. Clonidine, apraclonidine, dorzolamide 2% and topical brimonidine have all been effective in reducing incidences of post-iridotomy ocular hypertension<sup>33,39,40,41,42</sup>. Utilising palmitoylethanolamide (PEA) or oral administration of an association of forskolin and rutin as pre-treatment in

*diversi<sup>4,32-36</sup>. Si tratta di un incremento pressorio transitorio, che di solito avviene nelle prime ore successive alla procedura.*

*Nello studio di Jiang su pazienti con chiusura primaria di angolo sospetta, trattati con solo Nd:YAG laser, gli occhi che avevano evidenziato ipertono post iridotomia presentavano una camera anteriore più bassa ( $P = 0.012$ ), avevano richiesto una maggiore potenza laser complessiva ( $P < 0.001$ ) ed un più elevato numero di colpi laser ( $P = 0.039$ ) per ottenere iridotomie valide<sup>35</sup>. In un altro lavoro condotto su pazienti asiatici con chiusura primaria d'angolo sospetta, chiusura primaria d'angolo, glaucoma da chiusura primaria d'angolo e chiusura primaria d'angolo acuta, trattati con approccio sequenziale argon-Nd:YAG laser, non è stata trovata correlazione tra ipertono ed energia erogata. I pazienti con chiusura primaria d'angolo acuta presentavano una maggiore probabilità di spikes pressori ( $P = 0.0003$ ). Secondo gli autori, questa differenza può risiedere nella diversa tecnica utilizzata, in quanto l'utilizzo del solo Nd:YAG laser può indurre maggiore dispersione di pigmento e sanguinamento rispetto all'approccio sequenziale, giustificando spikes pressori più ampi quanto maggiore è l'energia utilizzata<sup>37</sup>.*

*Rialzi pressori importanti, in particolare  $>30$  mmHg, possono mettere il paziente a rischio di un'occlusione della vena centrale della retina o determinare la perdita della visione centrale in soggetti con glaucoma avanzato e vanno pertanto gestiti<sup>38</sup>. La clonidina, l'apraclonidina, la dorzolamide 2%, la brimonidina topici si sono rivelate efficaci nel ridurre l'incidenza d'ipertono post iridotomia<sup>33,39,40,41,42</sup>. Anche il pretrattamento, nei giorni precedenti*



the days before the procedure, also seem to be effective in reducing post-laser ocular hypertension<sup>43-44</sup>.

### Bleeding

Iridotomy bleeding can cause blurred vision, hyphema and contribute to post-procedure blood pressure increase<sup>1</sup>. It is good practice to avoid visible iris vessels when selecting the iridotomy site and apply pressure with the lens to help stop bleeding.

Golan et al found an incidence of 34.6% of post-iridotomy bleeding with Nd:YAG Laser in patients with primary angleclosure suspects, were not statistically influenced by concomitant use of anticoagulant or antiplatelet treatments. Patients who have bleeding in one eye, have an increased risk of occurrence in the contralateral eye. The total energy used, iris colour and the patient's age does not seem to significantly influence the risk of bleeding<sup>45</sup>.

The combined approach with pre-treatment using continuous wave laser, which acts through protein coagulation, such as the Argon Laser, can reduce bleeding when compared to using only the Nd:YAG Laser<sup>46</sup>.

### Lenticular Damage

In 1986, Welch identified the presence of lesions on the crystalline lenses of patients who had undergone intracapsular cataract extraction the day after iridotomy by Nd:YAG Laser. It is advisable, therefore, to perform peripheral iridotomies in order to go beyond the edge of the crystalline lens<sup>47</sup>. In the mid-2000s, there was debate about the influence of Nd:YAG Laser iridotomy on the development of a subsequent cataract<sup>48,49</sup>. In a retrospective review of a large sample of patients treated with Nd:YAG

*la procedura, con palmitoletanolamide (PEA) o un'associazione di forskolina e rutina per os sembrano essere efficaci, nel ridurre l'ipertono post laser<sup>43-44</sup>.*

### Sanguinamento

*Il sanguinamento dall'iridotomia può determinare offuscamento visivo, ipoema e contribuire al rialzo pressorio post procedura<sup>1</sup>. È buona norma evitare i vasi iridei visibili nella scelta del sito dell'iridotomia ed esercitare pressione con la lente per facilitare l'interruzione del sanguinamento qualora questo si verificasse.*

*Golan e colleghi hanno riscontrato un'incidenza del 34.6% di sanguinamento post iridotomia mediante Nd:YAG laser in pazienti con chiusura primaria di angolo sospetta, non statisticamente influenzata dal concomitante uso di trattamenti anticoagulanti o antiplastrinici. Pazienti che hanno presentato sanguinamento in un occhio, presentano un rischio aumentato anche nell'occhio controlaterale. L'energia totale utilizzata, il colore dell'iride e l'età del paziente non sembrano influenzare il rischio di sanguinamento in modo significativo<sup>45</sup>. L'approccio combinato con pretrattamento mediante laser ad onda continua, che agiscono attraverso la coagulazione delle proteine, come l'argon laser, può ridurre il sanguinamento rispetto all'utilizzo del solo Nd:YAG laser<sup>46</sup>.*

### Danno lenticolare

*Nel 1986 Welch ha evidenziato la presenza di lesioni a livello del cristallino di pazienti sottoposti ad estrazione di cataratta intracapsulare il giorno successivo all'esecuzione dell'iridotomia mediante Nd:YAG laser. Si consiglia, pertanto, di eseguire iridotomie alla periferia iridea, in modo da andare oltre il limite del cristallino<sup>47</sup>.*



Laser iridotomy, a higher incidence of cataract surgery in comparison to a control group (28% of the group treated by laser iridotomy compared with 20% of the group who didn't undergo iridotomy,  $P=0.11$ ) was not found<sup>50</sup>.

Minor lens damage does not usually cause progressive opacification and remains confined below the iridotomy. Posterior subcapsular cataracts, however, were found to occasionally develop causing a substantial visual decline<sup>51</sup>.

The laser procedure can, also, albeit remotely, cause damage to the zonula, with implications for the crystalline lens support structure<sup>52-54</sup>.

### Endothelial Damage

The study of corneal thickness and endothelial cell counts of 18 patients treated with Nd:YAG Laser iridotomy showed a slight decrease in the number of endothelial cells at the treatment site, and no statistically significant change in corneal thickness<sup>55</sup>. A subsequent study has confirmed evidence of a reduction in the average number of endothelial cells ( $55.8 \pm 4.08$  cells per linear millimetre prior to the laser treatment compared to  $47.01 \pm 5.39$  cells per linear millimetre post-treatment,  $P < 0.001$ ). Reduction of these cells was inversely proportional to the distance of the iridotomy from the endothelium and from the scleral spur<sup>56</sup>. According to Wu endothelial cell reduction does not appear to be related to the total energy delivered during the treatment<sup>57</sup>. The use of a positive lens such as the Abraham lens can help minimise endothelial cell loss<sup>58</sup>.

In a study comparing iridotomies performed with an Argon Laser and Nd:YAG Laser, endothelial cell

*A metà degli anni 2000 si è dibattuto circa l'influenza dell'iridotomia Nd:YAG sullo sviluppo di una successiva cataratta<sup>48,49</sup>. In un'analisi retrospettiva condotta su un ampio campione di pazienti trattati mediante iridotomia Nd:YAG non è stata evidenziata una maggiore incidenza d'intervento di cataratta rispetto a un gruppo controllo (28% nel gruppo trattato mediante iridotomia laser contro il 20% del gruppo non sottoposto ad iridotomia,  $P=0.11$ )<sup>50</sup>.*

*Piccoli insulti della lente non causano di solito opacizzazione progressiva e restano confinati al di sotto dell'iridotomia. È stato, tuttavia riscontrato l'occasionale sviluppo di cataratta sottocapsulare posteriore determinante sostanziale calo visivo<sup>51</sup>. La procedura laser può, inoltre, seppure remotamente, determinare un danno della zonula, con implicazioni sulla struttura di sostegno del cristallino<sup>52-54</sup>.*

### Danno endoteliale

*Lo studio dello spessore corneale e della conta delle cellule endoteliali su 18 pazienti trattati mediante iridotomia con Nd:YAG ha evidenziato una lieve diminuzione del numero delle cellule endoteliali a livello del sito di trattamento, senza modifica statisticamente significativa dello spessore corneale<sup>55</sup>. Uno studio successivo ha confermato l'evidenza di una riduzione del numero medio di cellule endoteliali ( $55.8 \pm 4.08$  cellule per millimetro lineare prima del trattamento laser contro  $47.01 \pm 5.39$  cellule per millimetro lineare dopo il trattamento,  $P < 0.001$ ); la riduzione di tali cellule è risultata inversamente proporzionale alla distanza dell'iridotomia dall'endotelio e dallo sperone sclerale<sup>56</sup>. Secondo Wu la riduzione delle cellule endoteliali non sembra essere correlata all'energia totale erogata durante il trattamento<sup>57</sup>.*

*L'utilizzo di una lente positiva come*



reduction in the central portion of the cornea was estimated at  $8\% \pm 7\%$  for the Argon Laser compared with  $0\% \pm 0.5\%$  for the Nd:YAG Laser ( $P < 0.01\%$ )<sup>4</sup>. The clinical implications tied to endothelial damage are undoubtedly more significant in the case of iridotomies performed with only Argon Laser where corneal edema and bullous keratopathy represent major side effects<sup>59</sup>. In a recent review, Wang et al highlighted the following as risk factors for endothelial damage: presence of iris-endothelial contact, acute glaucoma attack, iris pigmentation and pre-existing endothelial disease. The weighting of these factors has yet to be determined<sup>60</sup>.

### Visual Disturbances

Visual disturbances after iridotomy have been repeatedly reported in literature. A unified interpretation of this phenomenon has not yet been reached, and several causes have been pointed to.

Murphy and Trope showed a 2.7% incidence in their series of patients, with a 3 year follow-up. An iridotomy which is only partially protected by the upper eyelid can cause visual disturbances such as monocular blurring or seeing a coloured line. According to the authors, positioning iridotomy under the upper eyelid helped to reduce instances of these disturbances<sup>61</sup>. The use of a toric lens, with opaque tint superimposed over the iridotomy, can eliminate symptoms by acting as a visual screen<sup>62</sup>. Weintraub and Berke have speculated that the glare described by some patients undergoing iridotomy can be explained by the base-up prism effect of the tear meniscus at the upper lid. The disturbance, in their opinion, is

*la lente di Abraham può aiutare a minimizzare la perdita di cellule endoteliali<sup>63</sup>.*

*In uno studio di confronto tra iridotomie eseguite con argon laser e Nd:YAG laser la riduzione delle cellule endoteliali, nella porzione corneale centrale, è stata stimata pari all' $8\% \pm 7\%$  per l'argon rispetto allo  $0\% \pm 0.5\%$  per il Nd:YAG ( $P < 0.01\%$ )<sup>4</sup>. Le implicazioni cliniche legate al danno endoteliale sono senza dubbio più marcate nel caso delle iridotomie eseguite con solo argon laser dove edema corneale e cheratopatia bollosa costituiscono importanti effetti collaterali<sup>59</sup>.*

*In una recente review Wang e colleghi hanno evidenziato come fattori di rischio per il danno endoteliale: la presenza di contatto irido-endoteliale, l'attacco acuto di glaucoma, la pigmentazione iridea, la pre-esistente presenza di patologia endoteliale. Il peso di tali fattori resta ancora da determinare<sup>60</sup>.*

### Disturbi visivi

*Disturbi visivi post Iridotomia sono stati più volte segnalati in letteratura. L'interpretazione del fenomeno non è tuttavia univoca e diversi meccanismi sono stati chiamati in causa. Murhy e Trope hanno evidenziato un'incidenza del 2.7% nella loro serie di pazienti, con un follow-up di 3 anni. Un'iridotomia solo parzialmente protetta dalla palpebra superiore può indurre la comparsa di disturbi visivi quali visione offuscata o percezione di una linea colorata. Secondo gli autori, il posizionamento dell'iridotomia al di sotto della palpebra superiore dovrebbe aiutare a ridurre l'evenienza di questi disturbi<sup>61</sup>. L'uso di una lente torica, con una zona opaca posizionata al di sopra dell'iridotomia, può eliminare il sintomo visivo agendo da schermo<sup>62</sup>. Weintraub e Berke hanno ipotizzato che il bagliore descritto da alcuni pazienti*



independent of the iridotomy position and can also occur in cases where the opening in the iris seems to be fully protected by the eyelid<sup>63</sup>.

One month after treatment, Spaeth et al found incidences of visual disturbances such as perception of lines, crescents, ghost images and shadows in 4% of their patient population who had undergone iridotomy (172 eyes). These symptoms seem to be more frequent in patients with partially or completely exposed iridotomy compared to those in which the upper lid completely covers the surgical site. Other visual disturbances such as flashes, blurred vision and halos, however, do not seem related to the position of the lid<sup>64</sup>.

A recent randomised, prospective study evaluated the occurrence of linear visual disturbances, linear dysphotopsia, in patients undergoing iridotomy. The authors found a lower incidence of linear dysphotopsia in patients with temporal iridotomy than in those who had superior iridotomy (2.4% versus 10.7%). In the superior iridotomy group, 6.5% of patients with the disturbances also presented iridotomies which were fully covered by the upper eyelid. This finding has been explained as being caused by the tear meniscus-induced light deviation which, acting like a prism, can allow light to pass through the upper lid-covered iridotomy by focusing it on the retina at a relatively short distance. In the case of temporal iridotomy, the rays that pass through the breaks in the iris must take a longer path to reach the retina, causing a blurred image, most likely less perceptible by the patient<sup>65</sup>.

Monocular diplopia can be found in the cases of large, exposed iridotomies<sup>66</sup>.

*sottoposti ad iridotomia possa essere spiegato chiamando in causa l'effetto prismatico del menisco lacrimale a livello del margine della palpebra superiore. Il disturbo è, a loro parere, indipendente dalla posizione dell'iridotomia e si verifica anche in casi in cui l'apertura iridea sembra essere completamente protetta dalla palpebra<sup>63</sup>.*

*Spaeth e colleghi hanno riscontrato un'incidenza di disturbi visivi quali percezione di linee, crescent, immagini fantasma, ombre, pari al 4% della loro popolazione di pazienti sottoposti ad iridotomia (172 occhi) ad un mese dal trattamento. Questi sintomi sembrano essere più frequenti in pazienti con iridotomia parzialmente o completamente esposta rispetto a quelli in cui la palpebra superiore copre completamente il sito chirurgico. Altri disturbi visivi come bagliori, visione offuscata o aloni non sembrano, invece, correlati alla posizione della palpebra<sup>64</sup>.*

*In un recente studio prospettico, randomizzato, è stata valutata la comparsa di disturbi visivi di tipo lineare, disfotopsia lineare, in pazienti sottoposti ad iridotomia. Gli autori hanno riscontrato una minore incidenza di disfotopsia lineare nei pazienti con iridotomia temporale rispetto a quelli che presentavano iridotomia posizionata superiormente (2.4% contro 10.7%). Il 6.5% dei pazienti con disturbo e iridotomia superiore, inoltre, presentava un'iridotomia completamente coperta dalla palpebra superiore. Questo dato è stato spiegato come causato dalla deviazione della luce indotta dal menisco lacrimale che agendo come un prisma può permettere alla luce di passare attraverso un'iridotomia coperta dalla palpebra superiore e venire focalizzata sulla retina ad una distanza relativamente breve. Nel caso di un'iridotomia temporale, i raggi che*



The analysis of visual disturbances in a group of patients in the Zhongshan Angle-Closure Prevention (ZAP) Trial, however, showed no statistically significant increase in the treated eyes compared with control ones 18 months after peripheral iridotomy<sup>67</sup>.

### Other Complications

Iritis, or more often an inflammatory reaction in the anterior chamber, can follow a laser iridotomy. To reduce incidences, it is common practice to prescribe a short course of topical steroids.

Among other rare iridotomy laser complications are lesions on the retina or choroid (such as retinal detachment, choroidal detachment, cystoid macular edema, retinal photocoagulation)<sup>65</sup>. Closure of a previously patent iridotomy may be attributed to proliferation of the Iris Pigment Epithelium<sup>68</sup>. This occurrence is more common in eyes characterised by significant inflammation, as in the case of concomitant uveitis. Iris transillumination alone is not sufficient in expressing the validity of an iridotomy. Even the EGS guidelines recommend always repeating the gonioscopy after the procedure and to eventually use tools which permit the study of the angle, such as the Anterior Segment OCT<sup>28</sup>.

### CONCLUSION

Laser iridotomy is a rapid and efficient procedure that has revolutionised the treatment of angle-closure. Even if it is an easy and minimally invasive procedure to perform, it's important to keep possible side effects in mind. Communication with the patient is crucial in the case of angle-closure suspect in which the treatment is performed prophylactically on an

*passano attraverso la discontinuità dell'iride devono effettuare un cammino più lungo per giungere a livello retinico, determinando un'immagine sfocata, verosimilmente meno percepibile da parte del paziente<sup>65</sup>.*

*Una franca diplopia monoculare può essere riscontrata nel caso di ampie iridotomie esposte<sup>66</sup>. L'analisi dei disturbi visivi in un gruppo di pazienti del Zhongshan Angle-Closure Prevention (ZAP) Trial, invece, non ne ha evidenziato un incremento statisticamente significativo negli occhi trattati rispetto ai controlli a 18 mesi dall'esecuzione dell'iridotomia periferica<sup>67</sup>.*

### Altre complicanze

*Irite o più frequentemente una reazione infiammatoria in camera anteriore possono seguire un'iridotomia laser. Per ridurre l'incidenza è pratica comune la prescrizione di un breve ciclo di steroidi topici.*

*Tra le altre rare complicanze dell'iridotomia laser figurano le lesioni a livello retinico o coroideale (come distacco di retina, distacco di coroide, edema maculare cistoide, fotocoagulazione retinica)<sup>6</sup>.*

*La chiusura di un'iridotomia precedentemente pervia può essere imputabile a proliferazione dell'epitelio pigmentato irideo<sup>68</sup>. Si tratta di un'evenienza più comune negli occhi caratterizzati da importante infiammazione, come nel caso di una concomitante uveite. La sola transilluminazione iridea non è sufficiente per definire la validità di un'iridotomia. Anche nelle linee guida dell'EGS viene consigliato di ripetere sempre la gonioscopia dopo la procedura ed eventualmente usare il supporto di strumenti che permettano lo studio dell'angolo, come OCT del segmento anteriore<sup>28</sup>.*



asymptomatic subject.

While gonioscopy remains a cornerstone in evaluating the iris-corneal angle, today, thanks to advances in ophthalmological instruments (ultrasound biomicroscopy, optical coherence tomography of the anterior segment, Pentacam), additional support is available to practitioners in understanding of the pathological mechanisms at the root of angle-closure. These methods also allow study of the morphological changes that iridotomy induces in the anterior segment<sup>25,69-81</sup> evaluating its effectiveness and the possible presence of other pathogenetic mechanisms alongside pupillary block which iridotomy cannot resolve.

### ABSTRACT

Iridotomy performed using a Neodymium-doped Yttrium Aluminium Garnet (Nd:YAG) Laser is a quick and effective procedure for the treatment of angle-closure caused by pupillary block. Understanding the fundamental pathological mechanisms of angle-closure, through gonioscopy and imaging techniques of the anterior segment, makes it possible to identify cases where this procedure is best suited. Some debate still exists surrounding the role of prophylactic iridotomy in cases of angle-closure suspects. Furthermore, although it is a simple procedure, the possible side effects associated with it should not be overlooked.

### CONCLUSIONE

*L'iridotomia laser è una procedura rapida ed efficace che ha rivoluzionato il trattamento della chiusura angolare. Per quanto si tratti di una pratica di facile esecuzione e minima invasività è bene tener presente i possibili effetti collaterali. La comunicazione con il paziente risulta cruciale nel caso della chiusura angolare sospetta in cui il trattamento viene eseguito a scopo profilattico in un soggetto asintomatico.*

*Se la gonioscopia resta un caposaldo nella valutazione dell'angolo irido-corneale, oggi, grazie ai progressi della strumentazione in campo oftalmologico (biomicroscopia ad ultrasuoni, tomografia a coerenza ottica del segmento anteriore, Pentacam) abbiamo un supporto ulteriore nella comprensione dei meccanismi patologici alla base della chiusura angolare. Tali metodiche, inoltre, ci permettono di studiare le modifiche morfologiche che l'iridotomia induce a livello del segmento anteriore<sup>25,69-81</sup> valutandone l'efficacia e la possibile presenza di altri meccanismi patogenetici concomitanti con il blocco pupillare che l'iridotomia non è in grado di risolvere.*

### RIASSUNTO

*L'iridotomia mediante neodymium-doped yttrium aluminium garnet (Nd:YAG) laser è una procedura rapida ed efficace volta al trattamento della chiusura angolare da blocco pupillare. La comprensione dei meccanismi patologici alla base della chiusura d'angolo, grazie all'esecuzione della gonioscopia e all'aiuto derivante dalle tecniche di imaging del segmento anteriore, permette di individuare i casi in cui vi è indicazione a tale procedura. Resta ancora dibattuto il ruolo dell'iridotomia profilattica in caso di chiusura angolare sospetta.*

*Inoltre, seppure si tratti di una procedura semplice, non bisogna dimenticare i*



## REFERENCES

- 1) Quigley HA. *Long-term follow-up of laser iridotomy*. *Ophthalmology* 1981;88:218-24
- 2) Fankhauser F. The Q-switched laser: principles and clinical results. In: *YAG Laser Ophthalmic Microsurgery*. Trokel SL, ed. Norwalk: Appleton-Century-Crofts, 1983:101-46
- 3) Pollack IP, Robin AL, Dragon DM, et al. *Use of the neodymium:YAG laser to create iridotomies in monkeys and humans*. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1984;82:307-28
- 4) Robin AL, Pollack IP. *A comparison of neodymium: YAG and argon laser iridotomies*. *Ophthalmology* 1984;91:1011-16
- 5) Haut J, Gaven I, Moulin F, Larricart P, Marre JM, Van Effenterre G. *Study of the first hundred phakic eyes treated by peripheral iridotomy using the N.D. Yag laser*. *Int Ophthalmol* 1986;9:227-35
- 6) Ritch R, Shields MB, Krupin T. In: *The glaucomas vol. 2*. St Louis: Mosby, 1989:839-53
- 7) European Glaucoma Society. *Classification and Terminology*. In: *Terminology and Guidelines for Glaucoma*. Savona: PubliComm, 2014:101-02
- 8) Rosenblum H, Radcliffe N. *Case-based approach to managing angle closure glaucoma with anterior segment imaging*. *Can J Ophthalmol* 2014;49:512-18
- 9) Nolan WP, Foster PJ, Devereux JG, Uranchimeg D, Johnson GJ, Baasanhu J. *YAG laser iridotomy treatment for primary angle closure in east Asian eyes*. *Br J Ophthalmol* 2000;84:1255-59
- 10) Snow JT. *Value of prophylactic peripheral iridectomy on the second eye in angle-closure glaucoma*. *Trans Ophthalmol Soc U K* 1977;97:189-91
- 11) Lowe RF. *Acute Angle-Closure Glaucoma: The Second Eye: An Analysis of 200 Cases*. *Br J Ophthalmol* 1962;46:641-50
- 12) Nongpiur ME, Ku JY, Aung T. *Angle closure glaucoma: a mechanistic review*. *Curr Opin Ophthalmol* 2011;22:96-101
- 13) He M, Friedman DS, Ge J, et al. *Laser peripheral iridotomy in primary angle-closure suspects: biometric and gonioscopic outcomes: the Liwan Eye Study*. *Ophthalmology* 2007;114:494-500
- 14) Sheth HG, Goel R, Jain S. *UK national survey of prophylactic YAG iridotomy*. *Eye (Lond)* 2005;19:981-84
- 15) Ang MH, Baskaran M, Kumar RS, et al. *National survey of ophthalmologists in Singapore for the assessment and management of asymptomatic angle closure*. *J Glaucoma* 2008;17:1-4
- 16) Kanski JJ. *Clinical ophthalmology: a systematic approach*. 5th ed. Edinburgh: Butterworth Heinemann, 2003:258-59
- 17) Carlesimo SC, Di Santo L, Bruni P, Librando A, Falace AP, Barbato A. *Nd:Yag laser iridotomy in Shaffer-Etienne grade 1 and 2: angle widening in our case studies*. *Int J Ophthalmol* 2015;8:709-13
- 18) Friedman DS, Thomas R, Alsbirk PH, et al. *Detection of primary angle closure and angle closure glaucoma*. In: *Angle Closure And Angle Closure Glaucoma*. Weinreb RN, Friedman DS, eds. The Hague, The Netherlands: Kugler Publications, 2006:55-63
- 19) Niyadurupola N, Broadway DC. *Pigment dispersion syndrome and pigmentary glaucoma-a major review*. *Clin Experiment Ophthalmol* 2008;36:868-82
- 20) Campbell DG. *Pigmentary dispersion and glaucoma. A new theory*. *Arch Ophthalmol* 1979;97:1667-72
- 21) Karickhoff JR. *Pigmentary dispersion syndrome and pigmentary glaucoma: a new mechanism concept, a new treatment, and a new technique*. *Ophthalmic Surg* 1992;23:269-77
- 22) Karickhoff JR. *Reverse pupillary block in pigmentary glaucoma: follow-up and new developments*. *Ophthalmic Surg* 1993;24:562-63
- 23) Jensen PK, Nissen O, Kessing SV. *Exercise and reversed pupillary block in pigmentary glaucoma*. *Am J Ophthalmol* 1995;120:110-12
- 24) Pavlin CJ, Harasiewicz K, Foster FS. *Posterior iris bowing in pigmentary dispersion syndrome caused by accommodation*. *Am J Ophthalmol* 1994;118:114-16
- 25) Carassa RG, Bettin P, Fiori M, Brancato R. *Nd:YAG laser iridotomy in pigment dispersion syndrome: an ultrasound biomicroscopic study*. *Br J Ophthalmol* 1998;82:150-53
- 26) Laemmer R, Mardin CY, Juenemann AG. *Visualization of changes of the iris configuration after peripheral laser iridotomy in primary melanin dispersion syndrome using optical coherence tomography*. *J Glaucoma* 2008;17:569-70
- 27) Gandolfi SA, Ungaro N, Tardini MG, Ghirardini S, Carta A, Mora P. *A 10-year follow-up to determine the effect of YAG laser iridotomy on the natural history of pigment dispersion syndrome: a randomized clinical trial*. *JAMA Ophthalmol* 2014;132:1433-38
- 28) European Glaucoma Society. *Treatment Principles and Options*. In: *Terminology and Guidelines for Glaucoma*. Savona: PubliComm, 2014:161-63
- 29) de Silva DJ, Gazzard G, Foster P. *Laser iridotomy in dark irides*. *Br J Ophthalmol* 2007;91:222-25.





- 30) Chung HJ, Park HY, Kim SY. *Comparison of laser iridotomy using short duration 532-nm Nd:YAG laser (PASCAL) vs conventional laser in dark irides*. *Int J Ophthalmol* 2015;8:288-91
- 31) Day AC, Foster PJ. *How large should an iridotomy be?* *Br J Ophthalmol* 2011;95:747-48
- 32) Krupin T, Stone RA, Cohen BH, Kolker AE, Kass MA. *Acute intraocular pressure response to argon laser iridotomy*. *Ophthalmology* 1985;92:922-26
- 33) Kitazawa Y, Taniguchi T, Sugiyama K. *Use of apraclonidine to reduce acute intraocular pressure rise following Q-switched Nd:YAG laser iridotomy*. *Ophthalmic Surg* 1989;20:49-52
- 34) Hong C, Song KY, Park WH, Sohn YH. *Effect of apraclonidine hydrochloride on acute intraocular pressure rise after argon laser iridotomy*. *Korean J Ophthalmol* 1991;5:37-41
- 35) Jiang Y, Chang DS, Foster PJ, et al. *Immediate changes in intraocular pressure after laser peripheral iridotomy in primary angle-closure suspects*. *Ophthalmology* 2012;119:283-88
- 36) Drake MV. *Neodymium:YAG laser iridotomy*. *Surv Ophthalmol* 1987;32:171-77
- 37) Lee TL, Yuxin Ng J, Nongpiur ME, Tan WJ, Aung T, Perera SA. *Intraocular pressure spikes after a sequential laser peripheral iridotomy for angle closure*. *J Glaucoma* 2014;23:644-48
- 38) Tranos P, Bhar G, Little B. *Postoperative intraocular pressure spikes: the need to treat*. *Eye (Lond)* 2004;18:673-79
- 39) Kitazawa Y, Sugiyama K, Taniguchi T. *The prevention of an acute rise in intraocular pressure following Q-switched Nd:YAG laser iridotomy with clonidine*. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 1989;27:13-6
- 40) Rosenberg LF, Krupin T, Ruderman J, et al. *Apraclonidine and anterior segment laser surgery. Comparison of 0.5% versus 1.0% apraclonidine for prevention of postoperative intraocular pressure rise*. *Ophthalmology* 1995;102:1312-18
- 41) Hartenbaum D, Wilson H, Maloney S, Vacarelli L, Orillac R, Sharpe E. *A randomized study of dorzolamide in the prevention of elevated intraocular pressure after anterior segment laser surgery*. *Dorzolamide Laser Study Group*. *J Glaucoma* 1999;8:273-75
- 42) Chen TC. *Brimonidine 0.15% versus apraclonidine 0.5% for prevention of intraocular pressure elevation after anterior segment laser surgery*. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:1707-12
- 43) Pescosolido N, Librando A, Puzzone M, Nebbioso M. *Palmitoylethanolamide effects on intraocular pressure after Nd:YAG laser iridotomy: an experimental clinical study*. *J Ocul Pharmacol Ther* 2011;27:629-35
- 44) Nebbioso M, Belcaro G, Librando A, Rusciano D, Steigerwalt RD, Jr., Pescosolido N. *Forskolin and rutin prevent intraocular pressure spikes after Nd:YAG laser iridotomy*. *Panminerva Med* 2012;54:77-82
- 45) Golan S, Levkovitch-Verbin H, Shemesh G, Kurtz S. *Anterior chamber bleeding after laser peripheral iridotomy*. *JAMA Ophthalmol* 2013;131:626-29
- 46) Ho T, Fan R. *Sequential argon-YAG laser iridotomies in dark irides*. *Br J Ophthalmol* 1992;76:329-31
- 47) Welch DB, Apple DJ, Mendelsohn AD, Reidy JJ, Chalkley TH, Wilensky JT. *Lens injury following iridotomy with a Q-switched neodymium-YAG laser*. *Arch Ophthalmol* 1986;104:123-25
- 48) Lim LS, Husain R, Gazzard G, Seah SK, Aung T. *Cataract progression after prophylactic laser peripheral iridotomy: potential implications for the prevention of glaucoma blindness*. *Ophthalmology* 2005;112:1355-59
- 49) Yip JL, Jones E, Foster PJ, Nolan WP, Friedman DS. *Cataract after laser iridotomy*. *Ophthalmology* 2006;113:1467; author reply
- 50) Bobrow JC. *Factors influencing cataract formation after Nd:YAG laser peripheral iridotomy*. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2008;106:93-7; discussion 7-9
- 51) Dhawahir-Scala FE, Clark D. *Neodymium:YAG laser peripheral iridotomy: cause of a visually incapacitating cataract?* *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2006;37:330-32
- 52) Melamed S, Barraquer E, Epstein DL. *Neodymium:YAG laser iridotomy as a possible contribution to lens dislocation*. *Ann Ophthalmol* 1986;18:281-82
- 53) Berger CM, Lee DA, Christensen RE. *Anterior lens capsule perforation and zonular rupture after Nd:YAG laser iridotomy*. *Am J Ophthalmol* 1989;107:674-75
- 54) Athanasiadis Y, de Wit DW, Nithyanandrajah GA, Patel A, Sharma A. *Neodymium:YAG laser peripheral iridotomy as a possible cause of zonular dehiscence during phacoemulsification cataract surgery*. *Eye (Lond)* 2010;24:1424-25
- 55) Panek WC, Lee DA, Christensen RE. *The effects of Nd:YAG laser iridotomy on the corneal endothelium*. *Am J Ophthalmol* 1991;111:505-07
- 56) Marraffa M, Marchini G, Pagliaruso A, et al. *Ultrasound biomicroscopy and corneal endothelium in Nd:YAG-laser iridotomy*. *Ophthalmic Surg Lasers* 1995;26:519-23
- 57) Wu SC, Jeng S, Huang SC, Lin SM. *Corneal endothelial damage after neodymium:YAG laser iridotomy*. *Ophthalmic Surg Lasers* 2000;31:411-16



- 58) Power WJ, Collum LM. *Electron microscopic appearances of human corneal endothelium following Nd:YAG laser iridotomy*. *Ophthalmic Surg* 1992;23:347-50
- 59) Ang LP, Higashihara H, Sotozono C, et al. *Argon laser iridotomy-induced bullous keratopathy a growing problem in Japan*. *Br J Ophthalmol* 2007;91:1613-15
- 60) Wang PX, Koh VT, Loon SC. *Laser iridotomy and the corneal endothelium: a systemic review*. *Acta Ophthalmol* 2014;92:604-16
- 61) Murphy PH, Trope GE. *Monocular blurring. A complication of YAG laser iridotomy*. *Ophthalmology* 1991;98:1539-42
- 62) Fresco BB, Trope GR. *Opaque contact lenses for YAG laser iridotomy occlusion*. *Optom Vis Sci* 1992;69:656-57
- 63) Weintraub J, Berke SJ. *Blurring after iridotomy*. *Ophthalmology* 1992;99:479-80
- 64) Spaeth GL, Idowu O, Seligsohn A, et al. *The effects of iridotomy size and position on symptoms following laser peripheral iridotomy*. *J Glaucoma* 2005;14:364-67
- 65) Vera V, Naqi A, Belovay GW, Varma DK, Ahmed, II. *Dysphotopsia after temporal versus superior laser peripheral iridotomy: a prospective randomized paired eye trial*. *Am J Ophthalmol* 2014;157:929-35
- 66) Khawam E, Nouredin B, Fahed D, Khatib L. *Abnormal binocular vision: monocular diplopia of physical origin: two case reports. Its relationship to the physiology and arrangement of the visual directions of the retinal areas; binocular triplopia*. *Binocul Vis Strabismus Q* 2010;25:231-7
- 67) Congdon N, Yan X, Friedman DS, et al. *Visual symptoms and retinal straylight after laser peripheral iridotomy: the Zhongshan Angle-Closure Prevention Trial*. *Ophthalmology* 2012;119:1375-82
- 68) Naveh N, Zborowsky-Gutman L, Blumenthal M. *Neodymium-YAG laser iridotomy in angle closure glaucoma: preliminary study*. *Br J Ophthalmol* 1987;71:257-61
- 69) Mansouri K, Burgener ND, Bagnoud M, Shaarawy T. *A prospective ultrasound biomicroscopy evaluation of changes in anterior segment morphology following laser iridotomy in European eyes*. *Eye (Lond)* 2009;23:2046-51
- 70) Dada T, Mohan S, Sihota R, Gupta R, Gupta V, Pandey RM. *Comparison of ultrasound biomicroscopic parameters after laser iridotomy in eyes with primary angle closure and primary angle closure glaucoma*. *Eye (Lond)* 2007;21:956-61
- 71) Li X, Wang Z, Cao Q, Hu L, Tian F, Dai H. *Pentacam could be a useful tool for evaluating and qualifying the anterior chamber morphology*. *Int J Clin Exp Med* 2014;7:1878-82
- 72) Vryonis N, Nikita E, Vergados I, Theodossiadis P, Filippopoulos T. *Anterior chamber morphology before and after laser peripheral iridotomy determined by Scheimpflug technology in white patients with narrow angles*. *J Glaucoma* 2013;22:679-83
- 73) Talajic JC, Lesk MR, Nantel-Battista M, Harasymowycz PJ. *Anterior segment changes after pilocarpine and laser iridotomy for primary angle-closure suspects with Scheimpflug photography*. *J Glaucoma* 2013;22:776-79
- 74) Jain R, Grewal D, Grewal SP. *Quantitative analysis of anterior chamber following peripheral laser iridotomy using Pentacam in eyes with primary angle closure*. *Eur J Ophthalmol* 2012;20
- 75) Li S, Wang H, Mu D, et al. *Prospective evaluation of changes in anterior segment morphology after laser iridotomy in Chinese eyes by rotating Scheimpflug camera imaging*. *Clin Experiment Ophthalmol* 2010;38:10-4
- 76) Antoniazzi E, Pezzotta S, Delfino A, Bianchi PE. *Anterior chamber measurements taken with Pentacam: an objective tool in laser iridotomy*. *Eur J Ophthalmol* 2010;20:517-22
- 77) Lee RY, Kasuga T, Cui QN, et al. *Association between baseline iris thickness and prophylactic laser peripheral iridotomy outcomes in primary angle-closure suspects*. *Ophthalmology* 2014;121:1194-202
- 78) Lee KS, Sung KR, Shon K, Sun JH, Lee JR. *Longitudinal changes in anterior segment parameters after laser peripheral iridotomy assessed by anterior segment optical coherence tomography*. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54:3166-70
- 79) Zheng C, Guzman CP, Cheung CY, et al. *Analysis of anterior segment dynamics using anterior segment optical coherence tomography before and after laser peripheral iridotomy*. *JAMA Ophthalmol* 2013;131:44-9
- 80) Huang G, Gonzalez E, Lee R, et al. *Anatomic predictors for anterior chamber angle opening after laser peripheral iridotomy in narrow angle eyes*. *Curr Eye Res* 2012;37:575-82
- 81) How AC, Baskaran M, Kumar RS, et al. *Changes in anterior segment morphology after laser peripheral iridotomy: an anterior segment optical coherence tomography study*. *Ophthalmology* 2012;119:1383-87