



Emanuele Siotto Pintor¹⁻³, Davide Turco², Cosimo Belcastro², Giuseppe Vadalà³

¹ Arnas - Div. Oculistica Ospedale San Michele - Cagliari

² Asl To1 - S.C. Oculistica Ospedale Oftalmico - Torino

³ Asl To4 - S.S.D. Oculistica A.C. - Chivasso (To)

La chirurgia 3D in oftalmoplastica. Nostra esperienza e revisione della letteratura

ABSTRACT

Scopo: Valutazione delle possibilità di utilizzo e misura dell'utilità della chirurgia 3D in oftalmoplastica.

Metodi: Revisione della letteratura presente basata sulle esperienze chirurgiche sulla vitreoretina, segmento anteriore ed oftalmoplastica alla luce dell'esperienza personale. Sono stati utilizzati Pubmed, Medline, OVID e Google Scholar.

Risultati: L'uso di apparecchiature 3D ha dimostrato di possedere numerosi vantaggi in termini di insegnamento, visualizzazione migliorata e personalizzata, diagnostica intraoperatoria (tra cui visualizzazione in tempo reale di esami TC preoperatori) e soprattutto ergonomia del chirurgo, riducendo il rischio di lesioni cervicali e lombari.

Può essere inoltre utilizzata con buon successo la strumentazione 3D in modalità endoscopica nella chirurgia delle vie lacrimali, permettendo di fondere i vantaggi dei dispositivi 3D alle telecamere in dotazione agli endoscopisti.

Tuttavia, sono presenti alcuni limiti, in particolare la necessità di girare il collo in quanto il display non può essere sempre posizionato davanti al chirurgo. Inoltre, per la chirurgia oftalmoplastica, che non dipende come per altre branche chirurgiche oculistiche dall'uso di apparecchiature di visualizzazione innovative, gli alti costi potrebbero rappresentare dei limiti al suo utilizzo. La nostra esperienza, basata su una valutazione sui vantaggi e limiti sia a confronto con i sistemi tradizionali che con quanto rilevato da altri chirurghi che utilizzano abitualmente sistemi di visualizzazione 3D in altri ambiti della chirurgia oculare, è risultata in linea con quanto già riportato in letteratura.

Conclusioni: Nonostante i notevoli vantaggi riportati dalla letteratura e dalla nostra personale esperienza, a seconda del tipo di intervento da effettuare, l'uso di tali dispositivi è difficile che nell'immediato futuro possa rimpiazzare i sistemi tradizionali. È altresì più probabile si riveli più utile in alcuni ambiti dell'oftalmoplastica, come la chirurgia delle vie lacrimali, e per la didattica in tale ambito.

Keywords: oftalmoplastica, chirurgia 3D, endoscopia, vie lacrimali, orbita.

Introduzione

Nel 1840 Charles Wheatstone introduce per primo l'uso della stereoscopia: immagini fisse vengono visualizzate dall'osservatore in tre dimensioni grazie ad un effetto che viene prodotto collocando due immagini dello stesso soggetto

all'interno di una scatola di visualizzazione, detta stereoscopio, che utilizza lenti per far convergere le immagini l'una sull'altra e consentire l'illusione. L'idea è resa popolare da un'immagine in 3D della Regina Vittoria proposta e divenuta famosa alla Grande Esposizione del 1851 (Fig. 1).



Fig. 1

Con l'utilizzo della polarizzazione circolare, due immagini vengono invece proiettate sovrapposte sul medesimo schermo circolare attraverso filtri di polarizzazione opposta e lo spettatore indossa occhiali con una coppia di filtri polarizzatori circolari montati in senso inverso: la luce destinata al filtro polarizzatore circolare sinistro viene bloccata dal filtro polarizzatore circolare destro, e viceversa.

I film in 3D più vecchi venivano visti attraverso speciali occhiali rossi e blu o a volte rossi e verdi. Le immagini venivano proiettate in questi colori (rosso e blu) e gli occhiali assicuravano che ogni occhio ricevesse solo una delle immagini che, grazie all'elaborazione del cervello ed ai meccanismi di fusione, realizzavano l'effetto tridimensionale.

I film più recenti utilizzano invece occhiali polarizzati che sfruttano la possibilità che luce possa essere polarizzata, ovvero ricevere orientamenti diversi. I nuovi occhiali 3D con lenti

polarizzate non hanno bisogno di colori separati e possono offrire un'esperienza molto più realistica.

L'effetto tridimensionale viene creato filmando l'intero film con due telecamere. Il modo in cui l'essere umano giudica le distanze più ravvicinate e le differenze di distanza è dovuto a un effetto chiamato parallasse. Se mettete un dito davanti a voi e lo guardate con l'occhio destro e quello sinistro, uno alla volta, vedrete che lo sfondo sembra muoversi rispetto al vostro dito anche se siete completamente fermi. L'idea alla base della realizzazione di un film in 3D è che, se si utilizzano due telecamere montate l'una sull'altra - proprio come i nostri occhi - il film deve essere visto in modo tale che solo l'occhio destro possa vedere ciò che la telecamera destra ha ripreso e viceversa per l'occhio sinistro. In questo modo lo spettatore percepisce le informazioni di profondità che sono state originariamente riprese dalle telecamere.

Successivamente tali immagini vengono elaborate in tre dimensioni dal nostro cervello. La parte più difficile per i produttori di film in 3D è far sì che la telecamera faccia la stessa cosa, in modo da avere le immagini giuste da inviare ai nostri occhi attraverso lo schermo del film.



Fig. 2



Fig. 3

Il 3D nella chirurgia oculare ed in oculoplastica

Ci sono due sistemi disponibili al momento per la 3D heads-up surgery: NgenuityR 3D Visualization SystemR by Alcon (Alcon, Forth Worth, TX, USA) (Fig. 2) e l'Artevo 800 SystemR by Zeiss (Carl Zeiss Meditec, Inc, Jena, Germany) (Fig. 3).

I sistemi di visualizzazione chirurgica tridimensionale Heads-up permettono ai chirurghi oftalmici di sostituire gli oculari del microscopio chirurgico con telecamere stereoscopiche ad alta risoluzione che trasmettono un'immagine su uno schermo.

Una videocamera 3D High Dynamic Range unisce le immagini sovraesposte con le immagini sottoesposte dando un'ottima definizione dei dettagli ed un'immagine stereoscopica in 3D proiettata su uno schermo in 4K da 55" visibile da tutto il personale presente in sala operatoria. Dalla letteratura si evince maggiormente è che questi sistemi, che presentano indubbiamente dei vantaggi ma anche alcuni limiti, siano stati pensati e strutturati soprattutto per i chirurghi

vitreo-retinici.

Uno dei maggiori vantaggi descritti è senza dubbio l'ergonomia, ovvero il miglioramento della postura ed il comfort, riducendo le problematiche cervicali e lombari che rappresentano molto spesso motivo di disturbi per i chirurghi per una postura non ottimale oltre che spesso prolungata. Altri vantaggi sono rappresentati dal già citato miglioramento sulla visualizzazione sia dell'atto operatorio che nella valutazione diagnostica intraoperatoria.

Con l'ausilio di determinati moduli, sono inoltre possibili visualizzazioni

diagnostiche intraoperatorie sempre disponibili per tutta l'equipe e l'utilizzo di uno schermo fruibile per tutta la sala operatoria permette agli operatori presenti a vario titolo una visione più comprensibile della procedura, migliorando la curva di apprendimento e facilitando la comprensione degli step operatorii¹⁻⁶. La visualizzazione nel complesso viene migliorata e personalizzata e l'approccio con gli strumenti 3D aumenta il campo chirurgico, così come aumenta la percezione spaziale e di profondità.

La visualizzazione diagnostica intraoperatoria permette una migliore risoluzione in tempo reale, anche aumentando l'ingrandimento, la possibilità di ridurre significativamente la potenza dell'endoilluminazione, l'applicazione di filtri digitali, per evidenziare la visibilità di un certo tessuto o colorante, e la possibilità di visualizzazione diagnostica intraoperatoria di esami strumentali per poter approfondire il caso trattato⁶. Queste caratteristiche, i cui vantaggi in ambito vitreo-retinico sono già note, nella chirurgia oftalmoplastica hanno una potenziale utilità generale e potrebbero risultare maggiormente utili



Fig. 4

soprattutto nella chirurgia orbitaria⁵. Grazie alla tecnologia 3D in sala operatoria la procedura può essere seguita passo dopo passo dal personale presente dotato degli appositi occhiali, facilitando l'interazione con l'équipe e migliorando la didattica sul campo per specializzandi, fellows, studenti ecc.^{1,2}. Rimangono comunque alcuni problemi da risolvere, come la necessità di una rotazione seppur limitata del collo durante la chirurgia, considerando che, a causa della posizione del microscopio, il display non può essere posizionato esattamente davanti al chirurgo. La chirurgia oftalmoplastica non dipende eccessivamente dai dispositivi tecnologici se paragonata ad altri settori dell'oftalmologia⁵, ma il 3D può rivelarsi uno strumento interessante anche in quest'ambito grazie all'implementazione della dotazione che si ritrova sempre più negli ospedali, specie universitari. Rimane il limite degli alti costi rispetto al reale vantaggio in alcuni ambiti dell'oculoplastica stessa, e pertanto è difficile

pensare che possa riuscire a sostituire i sistemi tradizionali, quantomeno nelle procedure di chirurgia palpebrale⁵.

La nostra esperienza con la chirurgia 3D in ambito oculoplastico, basata su dieci pazienti operati in due sale operatorie diverse con il sistema NgenuityR 3D Visualization SystemR (Alcon) (Fig. 4), ha di fatto confermato quanto già riportato nella limitata letteratura sull'argomento⁵.

Gli interventi sono stati eseguiti da 2 operatori che a fine procedura hanno compilato un breve questionario sui vantaggi e limiti confermando i tra i primi la maggiore ergonomia, la fruizione facilitata per tutta la sala operatoria e gli ottimi ingrandimenti dei tessuti più difficilmente raggiungibili e tra gli svantaggi gli alti costi dei dispositivi. Nel confronto con i sistemi tradizionali a parere dei due chirurghi del nostro gruppo il loro utilizzo non è particolarmente incisivo sulla buona riuscita dell'intervento, anche se il riscontro sui vantaggi riscontrati nella didattica e l'interazione con l'équipe ne hanno confermato l'utilità ed un uso mirato allo scopo nelle



Fig. 5 A, B - Stack endoscopico e schermo secondario wireless. B Immagine dello schermo secondario wireless.



Fig. 6

strutture in cui la tecnologia è disponibile. Oltre al sistema 3D da noi utilizzato, altri dispositivi con analoga tecnologia si sono rivelati maggiormente utili nel campo dell'oftalmoplastica. Tra questi va sicuramente citato il sistema VITOM® (Karl Storz Endoscopy GmbH, Tuttlingen, Germany) rappresentato da un mi-

croscopio video compatto ad alta definizione (HD) per la chirurgia a cielo aperto.

È stato descritto in letteratura come un efficace sostituto del microscopio operatorio tradizionale e delle lenti ingrandenti in neurochirurgia, chirurgia plastica e chirurgia pediatrica⁷⁻⁹.

È composto da un esoscopio con un diametro di 10 mm e lunghezza di 11 cm. La telecamera HD H3-Z è montata sull'estremità prossimale e l'illuminazione è fornita da una luce fredda Xenon-300W collegata da una fibra da 4,8 mm con cavo ottico collegato alla porta dello stack endoscopico. (Fig. 5A, 5B). L'estremità distale dell'esoscopio è montata infine su un braccio meccanico, collegato al lato del tavolo operatorio tramite un morsetto rotante con guida che ne consente un facile fissaggio (Fig. 6), mentre la telecamera è posizionata al di sopra e davanti alla testa del paziente a circa 25-60 cm dal campo chirurgico, in modo tale da non interferire con le manovre del chirurgo stesso o con il campo operatorio. L'intera preparazione della strumentazione richiede una

tempistica di circa 10 minuti.

La sterilità viene mantenuta con l'uso di un'apposita copertura sterile che ricopre il braccio meccanico, la videocamera ed il tubo luminoso. La manica sterile viene adattata ad ospitare la punta dell'esoscopio tagliando un piccolo foro in un angolo e fissandolo con un nastro adesivo sterile da 2,5 cm. Ciò consente al chirurgo la massima capacità di adattamento dell'esoscopio e della posizione della telecamera, ottenendo così il campo desiderabile per ogni procedura. Questo sistema permette di catturare filmati video altamente dettagliati dei passaggi chirurgici per un'ampia gamma di interventi sulle palpebre e sugli accessi orbitari anteriori.

Il suo uso non interferisce con l'accesso chirurgico o la sterilità dell'intervento, permettendo l'acquisizione e la modifica delle immagini in tempo reale e migliorando significativamente la visualizzazione dell'intervento chirurgico senza che venga compromessa la sterilità del campo operatorio e senza interferire o limitare una visione ottimale dell'assistente chirurgico.

Rispetto alle lenti chirurgiche, che tradizionalmente consentono una distanza di lavoro tra 30 e 40 cm, il sistema può consentire una maggiore distanza di lavoro.

Inoltre, permette la realizzazione di filmati altamente dettagliati sulle procedure di oftalmoplastica, che possono essere usate come ausilio didattico soprattutto per procedure poco frequenti.

Nel suo studio sull'uso del VITOM durante l'arco di cinque anni nell'ambito della chirurgia oftalmoplastica, Kadaba e coll.¹⁰ descrivono una grande varietà di chirurgie palpebrali (ptosi, entropion, ectropion, escissione di tumori, ricostruzioni palpebrali dopo trauma) e orbitarie (eviscerazione, enucleazione, chirurgia sulla ghiandola lacrimale, escissione di cisti dermoidi e biopsie orbitarie) eseguite con l'uso dell'esoscopio.

Oltre i notevoli vantaggi precedentemente descritti, tutto il team operatorio è stato in grado di visualizzare in modo dettagliato i vari passaggi chirurgici, facilitando gli interventi effettuati e mantenendo alta l'attenzione dell'équipe.

Il montaggio dell'esoscopio non ha avuto impatto sulla durata degli interventi chirurgici essendo stato effettuato in anticipo rispetto a questi ultimi.

Gli specializzandi non direttamente coinvolti come operatori o aiuti in sala operatoria hanno confermato che le immagini proiettate sul monitor wireless hanno migliorato significativamente la loro visualizzazione dell'intervento, sia nella comprensione dei vari step della tecnica chirurgica che nella chiara interpretazione delle strutture anatomiche coinvolte, il tutto senza che ci fosse un rischio nel compromettere la sterilità del campo operatorio.

Il sistema si è rivelato economico, in quanto si può utilizzare lo stack endoscopico standard, dovendo limitare l'acquisto al solo esoscopio ed il braccio meccanico. Lo stesso esoscopio può inoltre essere utilizzato per l'intera seduta operatoria, in quanto è sufficiente di volta in volta la sola sostituzione del telo sterile adatto alla copertura dello strumento. Tuttavia, il VITOM® si è rivelato limitato nella sua capacità di catturare immagini HD su piani più profondi (>2,5 cm) soprattutto quando si visualizza attraverso una piccola incisione, come ad esempio nella dacriocistorinostomia esterna o in procedure orbitarie molto profonde.

Ciò è probabilmente dovuto alla mancanza di illuminazione di sfondo delle strutture più profonde, necessarie per focalizzare l'esoscopio. Un'altra applicazione interessante della tecnologia 3D riguarda l'endoscopia.

La visualizzazione 3D è stata studiata sin dall'introduzione dell'endoscopio.

Sono state utilizzate varie tecnologie per otte-

nera la stereopsi, che includono video a doppia fotocamera, doppio chip sulla punta, meccanismo dell'otturatore, polarizzazione, e display stereoscopici¹¹.

Sebbene da quanto riportato in letteratura sia stata apprezzata la percezione della profondità migliorata con l'endoscopia 3D, sono stati riportati risultati contrastanti per quanto riguarda la velocità, il tasso di errore e l'apprendimento rispetto all'endoscopia convenzionale. La risoluzione inferiore, il macchinario ingombrante, l'aumento dei costi e gli effetti collaterali dell'utente sono alcuni dei motivi per cui la tecnologia stereoscopica non ha è stata ampiamente adottata¹¹.

Negli ultimi due decenni, la letteratura ha esaminato il ruolo della stereo-endoscopia in molte discipline chirurgiche¹²⁻¹⁷.

Sebbene non ci sia molta letteratura sull'uso dell'endoscopia in 3D in otorinolaringoiatria, la sua utilità è ampiamente studiata in alcuni studi riguardanti la chirurgia laparoscopica e la neurochirurgia.

Un meta-analisi¹⁸ sulla chirurgia laparoscopica 2D rispetto a 3D ha dimostrato simile efficacia tra le due procedure.

Fergo et al.¹⁹ nel suo lavoro ha studiato 13 studi clinici randomizzati sulla laparoscopia addominale in 3D contro quella eseguita in 2D.

Nel 69% (9/13) dei casi gli interventi eseguiti in 3D hanno mostrato superiorità in termini di riduzione dei tempi e nel 77% (10/13) una riduzione significativa degli errori.

Tabaee et al.²⁰ hanno pubblicato una serie retrospettiva di 13 pazienti sottoposti a chirurgia ipofisaria endoscopica 3D confrontandoli con un gruppo analogo trattato con un endoscopio 2D non notando alcuna differenza nel tempo operatorio, nella durata della degenza ospedaliera, nella estensione della resezione o nel tasso di complicanze²⁰. Una successiva serie più ampia di 90 pazienti ha concordato con i tali risultati

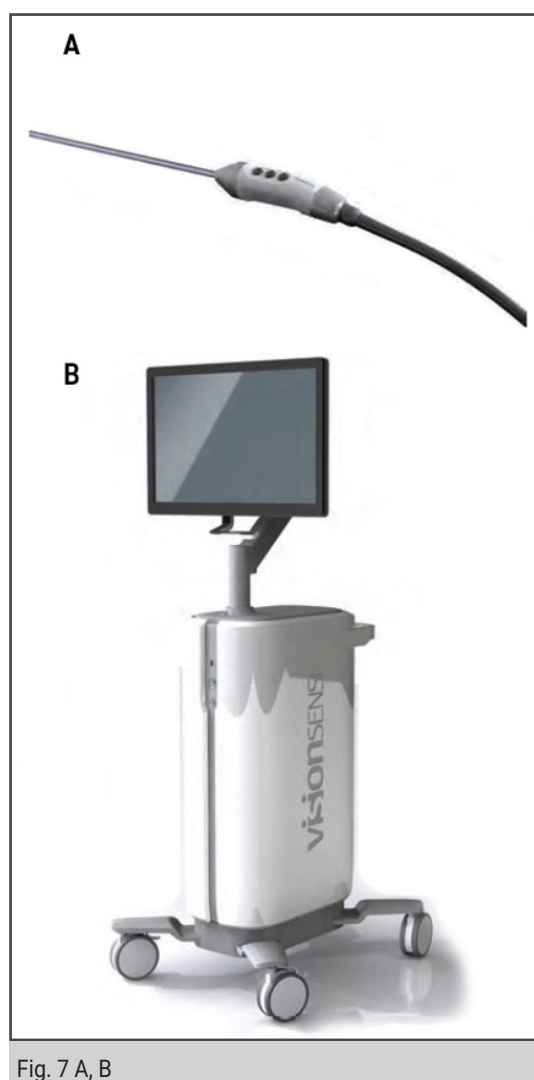


Fig. 7 A, B

e non ha inoltre dimostrato alcuna differenza nella perdita di sangue stimata o nel tasso di recidiva²¹.

Sebbene si siano verificati molti sviluppi recenti nella tecnologia 3D, il più significativo per l'otorinolaringoiatria è stata l'introduzione di un nuovo stereoendoscopio 3D (Fig. 7A)¹¹.

A differenza dei precedenti endoscopi 3D, questo endoscopio imita la vista degli artropodi (Fig. 7B).

Utilizzando una serie microscopica di lenti posizionate su un singolo chip video, questo endoscopio genera più immagini che vengono elaborate per ricostruire un'immagine 3D. La varianza nell'immagine formata dalla successione di lenti consente la stereopsi. I chirurghi visualizzano

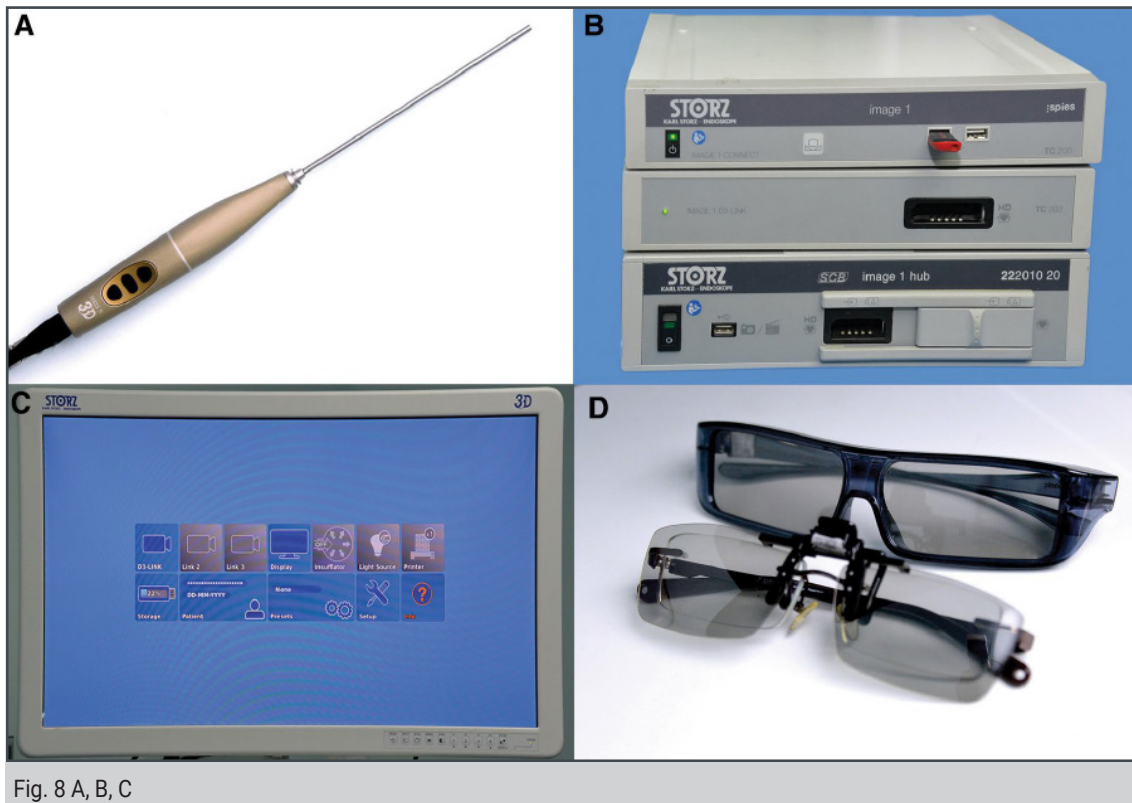


Fig. 8 A, B, C

l'immagine su un monitor stereoscopico con occhiali polarizzati (Fig. 2)²⁰⁻²⁵.

Un altro interessante strumento è la TIPCAMR 1S 3D ORL (Karl Storz, Tuttlingen, Germania) (Fig. 8) che è un telescopio specializzato Hopkins, rigido, con diametro di 4 mm, lunghezza 18 cm e disponibile con Angolazione 0° e 30°. (Fig. 8B). Il sistema endoscopico è costituito dalla piattaforma modulare Image 1S (Karl Storz, Tuttlingen, Germania) ed un monitor (Fig. 8C).

I vantaggi riscontrati sono stati: una maggiore percezione della profondità, una maggiore delimitazione delle strutture anatomiche e un miglioramento della coordinazione occhio-mano. Le manovre chirurgiche sono risultate precise e hanno evitato di creare ferite chirurgiche più ampie come in un intervento visualizzato in due dimensioni e la configurazione è stata semplice. Diversi studi hanno rilevato l'impatto significativo che la tecnologia stereoscopica 3D ha nella formazione degli utenti inesperti. Nel 1999, Taffinder¹² ha riportato che le difficoltà risultavano

maggiori nei chirurghi che utilizzavano abitualmente l'endoscopia 2D. Anche studi successivi hanno ulteriormente confermato che la stereoscopia ha migliorato la velocità e/o diminuito il tasso di errore soprattutto negli utenti inesperti²⁵⁻²⁸.

Molti studi hanno comunque notato un miglioramento delle prestazioni simile anche negli utenti più esperti^{12,17,29,30} ed uno studio ha evidenziato che i chirurghi esperti hanno beneficiato ancora più dei principianti utilizzando la visualizzazione 3D³¹.

Altri autori, tuttavia, grazie ad uno studio in cui sono state costruite mappe di profondità 3D basate sull'interpretazione dell'immagine 2D da parte di uno spettatore, hanno dimostrato che la competenza anatomica e l'esperienza giocano un ruolo maggiore nella percezione della profondità rispetto al metodo di visualizzazione utilizzato^{13,32}.

Un altro studio ha rilevato che i chirurghi laparoscopici inesperti che erano inizialmente addestrati in endoscopia 3D hanno svolto gli stessi compiti con maggiore velocità e minore tasso

di errore rispetto al 2D ($P < 0.05$) anche 3 mesi dopo l'addestramento¹⁴.

Diversi autori ritengono che l'uso dell'endoscopia 3D migliori la curva di apprendimento per i chirurghi novizi e possa aiutare quelli più esperti a svolgere compiti complessi con facilità. Inoltre, nessun chirurgo ha sperimentato effetti collaterali che hanno portato a ridurre l'entusiasmo per l'endoscopia 3D²².

Gli endoscopi 3D hanno comunque alcune limitazioni: in aree molto strette l'effetto 3D può occasionalmente essere perso e può essere necessari una pulitura di routine dell'obiettivo per la perdita improvvisa della risoluzione 3D. Inoltre, anche in questo caso, dovrebbero essere presi in considerazione i costi elevati del sistema ed i tempi necessari per la curva di apprendimento.

Conclusioni

Nonostante i notevoli vantaggi riportati dalla letteratura e dalla nostra personale esperienza, a seconda del tipo di chirurgia, l'uso dei dispositivi

tridimensionali è difficile che nell'immediato futuro possano rimpiazzare i sistemi tradizionali. Sviluppi futuri nella tecnologia potrebbero preannunciare l'uso di piattaforme di visualizzazione 3D che sostituirebbero le lenti chirurgiche fornendo un sistema di visualizzazione heads-up.

L'uso di questi dispositivi ha dimostrato la sua sicurezza e la sua capacità di insegnamento in tutte le branche oculistiche chirurgiche, con maggiore riguardo alla chirurgia della retina e della cataratta. Il Sistema VITOM® secondo quanto riportato in letteratura risulta di gran lunga superiore a qualsiasi altro imaging intraoperatorio disponibile al momento sul mercato, soprattutto per l'imaging nella chirurgia oculoplastica ed extraoculare in cui il microscopio operatorio spesso non è il dispositivo ideale.

L'esperienza dell'endoscopia 3D come ausilio alla chirurgia delle vie lacrimali sembra essere promettente, ma ulteriori studi sono necessari per comparare i suoi vantaggi rispetto ai consueti sistemi in 2D.

REFERENCES

1. Qian Z, Wang H, Fan H, Lin D, Li W. Three-dimensional digital visualization of phacoemulsification and intraocular lens implantation. *Indian J Ophthalmol*. 2019;67(3):341. doi:10.4103/ijo.IJO_1012_18
2. Kantor P, Matonti F, Varenne F, et al. Use of the heads-up NGENUITY 3D Visualization System for vitreoretinal surgery: a retrospective evaluation of outcomes in a French tertiary center. *Sci Rep*. 2021;11(1):10031. doi:10.1038/s41598-021-88993-z
3. Srinivasan S. Three-dimensional (3D) visualization for intraocular surgery: necessity or nicety. *J Cataract Refract Surg*. 2021;47(3):287-288. doi:10.1097/j.jcrs.0000000000000595
4. Wang K, Song F, Zhang L, et al. Three-Dimensional Heads-up Cataract Surgery Using Femtosecond Laser: Efficiency, Efficacy, Safety, and Medical Education—A Randomized Clinical Trial. *Transl Vis Sci Technol*. 2021;10(9):4. doi:10.1167/tvst.10.9.4
5. Garrido-Hermosilla AM. Three-Dimensional Surgery in Oculoplastics. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*. 2018;34(4):398-398. doi:10.1097/IOP.0000000000001163
6. Del Turco C, D'Amico Ricci G, Dal Vecchio M, et al. Heads-up 3D eye surgery: Safety outcomes and technological review after 2 years of day-to-day use. *Eur J Ophthalmol*. 2022;32(2):1129-1135. doi:10.1177/11206721211012856
7. De Virgilio A, Mercante G, Gaino F, et al. Preliminary clinical experience with the 4K3-dimensional microvideoscope (VITOM 3D) system for free flap head and neck reconstruction. *Head Neck*. 2020;42(1):138-140. doi:10.1002/hed.25979
8. Ricciardi L, Chaichana KL, Cardia A, et al. The Exoscope in Neurosurgery: An Innovative "Point of View". A Systematic Review of the Technical, Surgical, and Educational Aspects. *World Neurosurg*. 2019;124:136-144. doi:10.1016/j.wneu.2018.12.202
9. Frykman PK, Duel BP, Gangi A, Williams JA, Berci G, Freedman AL. Evaluation of a Video Telescopic Operating Microscope (VITOM) for Pediatric Surgery and Urology: A Preliminary Report. *J Laparoendosc Adv Surg Tech*. 2013;23(7):639-643. doi:10.1089/lap.2013.0125

10. Kadaba V, Shafi F, Ahluwalia HS. The VITOM® exoscope in oculoplastic surgery: the 5 year Coventry experience. *Eye*. 2021;35(11):3137-3140. doi:10.1038/s41433-020-01355-3
11. Singh A, Saraiya R. Three-dimensional endoscopy in sinus surgery. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*. 2013;21(1):3-10. doi:10.1097/MOO.0b013e32835bf58c
12. Taffinder N, Smith SGT, Huber J, Russell RCG, Darzi A. The effect of a second-generation 3D endoscope on the laparoscopic precision of novices and experienced surgeons. *Surg Endosc*. 1999;13(11):1087-1092. doi:10.1007/s004649901179
13. Jones DB, Brewer JD, Soper NJ. The influence of three-dimensional video systems on laparoscopic task performance. *Surg Laparosc Endosc*. 1996;6(3):191-197. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8743361>
14. Votanopoulos K, Brunnicardi FC, Thornby J, Bellows CF. Impact of Three-Dimensional Vision in Laparoscopic Training. *World J Surg*. 2008;32(1):110-118. doi:10.1007/s00268-007-9253-6
15. Becker H, Melzer A, Schurr MO, Buess G. 3-D video techniques in endoscopic surgery. *Endosc Surg Allied Technol*. 1993;1(1):40-46. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8050009>
16. Hanna GB, Shimi SM, Cuschieri A. Randomised study of influence of two-dimensional versus three-dimensional imaging on performance of laparoscopic cholecystectomy. *Lancet (London, England)*. 1998;351(9098):248-251. doi:10.1016/S0140-6736(97)08005-7
17. Storz P, Buess GF, Kunert W, Kirschniak A. 3D HD versus 2D HD: surgical task efficiency in standardised phantom tasks. *Surg Endosc*. 2012;26(5):1454-1460. doi:10.1007/s00464-011-2055-9
18. Dion Y-M, Gaillard F. Visual integration of data and basic motor skills under laparoscopy. *Surg Endosc*. 1997;11(10):995-1000. doi:10.1007/s004649900510
19. Fergo C, Burcharth J, Pommergaard H-C, Kildebro N, Rosenberg J. Three-dimensional laparoscopy vs 2-dimensional laparoscopy with high-definition technology for abdominal surgery: a systematic review. *Am J Surg*. 2017;213(1):159-170. doi:10.1016/j.amjsurg.2016.07.030
20. Tabae A, Anand VK, Fraser JF, Brown SM, Singh A, Schwartz TH. Three-dimensional endoscopic pituitary surgery. *Neurosurgery*. 2009;64(5 Suppl 2):288-293; discussion 294-5. doi:10.1227/01.NEU.0000338069.51023.3C
21. Kari E, Oyesiku NM, Dadashev V, Wise SK. Comparison of traditional 2-dimensional endoscopic pituitary surgery with new 3-dimensional endoscopic technology: intraoperative and early postoperative factors. *Int Forum Allergy Rhinol*. 2012;2(1):2-8. doi:10.1002/alr.20036
22. Kaufman Y, Sharon A, Klein O, Spiegel D, Auslander R, Lissak A. The three-dimensional "insect eye" laparoscopic imaging system-a prospective randomized study. *Gynecol Surg*. 2007;4(1):31-34. doi:10.1007/s10397-006-0245-6
23. Manes RP, Barnett S, Batra PS. Utility of novel 3-dimensional stereoscopic vision system for endoscopic sinonasal and skull-base surgery. *Int Forum Allergy Rhinol*. 2011;1(3):191-197. doi:10.1002/alr.20012
24. Brown SM, Tabae A, Singh A, Schwartz TH, Anand VK. Three-dimensional endoscopic sinus surgery: feasibility and technical aspects. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2008;138(3):400-402. doi:10.1016/j.otohns.2007.12.007
25. Shah RN, Leight WD, Patel MR, et al. A Controlled Laboratory and Clinical Evaluation of a Three-dimensional Endoscope for Endonasal Sinus and Skull Base Surgery. *Am J Rhinol Allergy*. 2011;25(3):141-144. doi:10.2500/ajra.2011.25.3593
26. Kong S-H, Oh B-M, Yoon H, et al. Comparison of two- and three-dimensional camera systems in laparoscopic performance: a novel 3D system with one camera. *Surg Endosc*. 2010;24(5):1132-1143. doi:10.1007/s00464-009-0740-8
27. Smith R, Day A, Rockall T, Ballard K, Bailey M, Jourdan I. Advanced stereoscopic projection technology significantly improves novice performance of minimally invasive surgical skills. *Surg Endosc*. 2012;26(6):1522-1527. doi:10.1007/s00464-011-2080-8
28. Blavier A, Gaudissart Q, Cadière G-B, Nyssen A-S. Comparison of learning curves and skill transfer between classical and robotic laparoscopy according to the viewing conditions: implications for training. *Am J Surg*. 2007;194(1):115-121. doi:10.1016/j.amjsurg.2006.10.014
29. Byrn JC, Schluender S, Divino CM, et al. Three-dimensional imaging improves surgical performance for both novice and experienced operators using the da Vinci Robot System. *Am J Surg*. 2007;193(4):519-522. doi:10.1016/j.amjsurg.2006.06.042
30. Fraser JF, Allen B, Anand VK, Schwartz TH. Three-dimensional neurostereoscopy: subjective and objective comparison to 2D. *Minim Invasive Neurosurg*. 2009;52(1):25-31. doi:10.1055/s-0028-1104567
31. Radermacher K, Pichler CV, Fisher S. No Title. *Vis surgery Helmholtz-Institute Aachen*; 1998.
32. Sidhu RS, Tompa D, Jang R, et al. Interpretation of three-dimensional structure from two-dimensional endovascular images: implications for educators in vascular surgery. *J Vasc Surg*. 2004;39(6):1305-1311. doi:10.1016/j.jvs.2004.02.024