

OFTALMOLOGIA DEI PESCI

ELLEN BJERKÅS DVM PhD, Dipl ECVO
 Professor Norwegian School of Veterinary Science
 Department of Companion Animal Clinical Sciences
 Oslo, Norway

CONTRIBUTI DELLE SOCIETÀ SPECIALISTICHE

In questo settore della rivista pubblichiamo testi selezionati da atti di congressi organizzati da società specialistiche affiliate alla SCIVAC che riteniamo di interesse per molti soci che non avrebbero altrimenti accesso a questo tipo di informazione.

Si tratta di contributi finalizzati alla stampa su "Proceedings books" che non rispondono a tutti i requisiti di impostazione di un articolo scientifico né sono vincolati al formato imposto da Veterinaria.

È un agile mezzo di aggiornamento i cui contenuti sono comunque garantiti dalla selezione e dal controllo dei nostri esperti di settore.

Dagli Atti del Congresso Internazionale di Oftalmologia Veterinaria organizzato dalla SOVI a Genova, 30 maggio - 3 giugno 2008, in collaborazione con il College Europeo degli Oftalmologi Veterinari (ECVO), la Società Europea di Oculistica Veterinaria (ESVO) e la Società Internazionale di Oculistica Veterinaria (ISVO).

L'oftalmologia dei pesci è stata considerata in passato un settore di minore importanza in oculistica veterinaria, benché gli acquari pubblici e privati siano numerosi e le specie ittiche sembrano essere particolarmente esposte alle malattie oculari. Tuttavia, con l'aumentare dell'importanza dell'acquacoltura, è stata sottolineata la rilevanza della funzione visiva nel comportamento alimentare normale. I pesci con un deficit funzionale mangiano meno e mostrano un incremento ponderale minore, il che provoca all'industria del settore una sostanziale perdita economica. Inoltre, non si devono sottovalutare gli aspetti legati al benessere animale.

ESAME DELL'OCCHIO

L'esame dell'occhio va eseguito in condizioni di bassa illuminazione, dopo aver sedato gli animali. Non è necessario impiegare un midriatico, dal momento che la maggior parte dei pesci presenta una pupilla di grandi dimensioni e non reattiva. La durata e l'ossigenazione del bagno anestetico influiscono sulla trasparenza corneale, per cui è importante ridurre al minimo il tempo di permanenza nel bagno stesso. Benché l'esame con una fonte luminosa focale ed una retroilluminazione possa fornire risultati accettabili in condizioni di campo, per la caratterizzazione clinica e la classificazione delle cataratte si è dimostrato utile l'uso di una lampada a fessura (biomicroscopio), che è applicabile in condizioni pratiche (Wegener *et al.*, 2001).

L'esame della retina può risultare difficile nelle specie animali con un fondo dell'occhio con pigmentazione scura, e meno complicato in quelle con uno strato argenteo o tapetale. Esiste una considerevole variabilità di specie nell'a-

spetto del fondo, correlata sia alla pigmentazione che alle caratteristiche del o dei dischi ottici ed alla distribuzione dei vasi.

RICHIAMI ANATOMICI

I pesci si sono adattati a vivere nelle acque dolci, salmastre e marine, colonizzando differenti profondità con notevoli variazioni di luce disponibile, pressione, prede e predatori. Di conseguenza, gli occhi delle specie ittiche si sono evoluti in forme differenti, hanno sviluppato diverse capacità di risposta alla luce (Koppang & Bjerkås 2006) e variano considerevolmente di dimensione in relazione alla massa corporea. Alcuni pesci, come quelli che vivono nelle grotte, non presentano affatto occhi funzionali. In questi animali si iniziano a formare occhi primordiali il cui sviluppo però ad un certo punto si arresta ed è successivamente seguito da degenerazione. La maggior parte dei teleostei presenta occhi diretti lateralmente, un dato che occorre tenere presente quando si utilizzano terminologie basate sull'orientamento dei mammiferi (ad es., il "polo anteriore" nella lente della maggior parte dei pesci in realtà è laterale ed il "polo posteriore" è più mediale).

Il globo oculare dei pesci è mantenuto nell'orbita dai muscoli extraoculari. La capacità di compiere movimenti volontari degli occhi varia da una specie all'altra ed alcune seguono gli oggetti principalmente modificando la propria posizione corporea. In molte specie ittiche, lungo la circonferenza della cornea la sclera contiene un anello di cartilagine, che può essere ossificato; in alcuni casi può essere importante per mantenere la forma del globo oculare al variare delle condizioni pressorie.

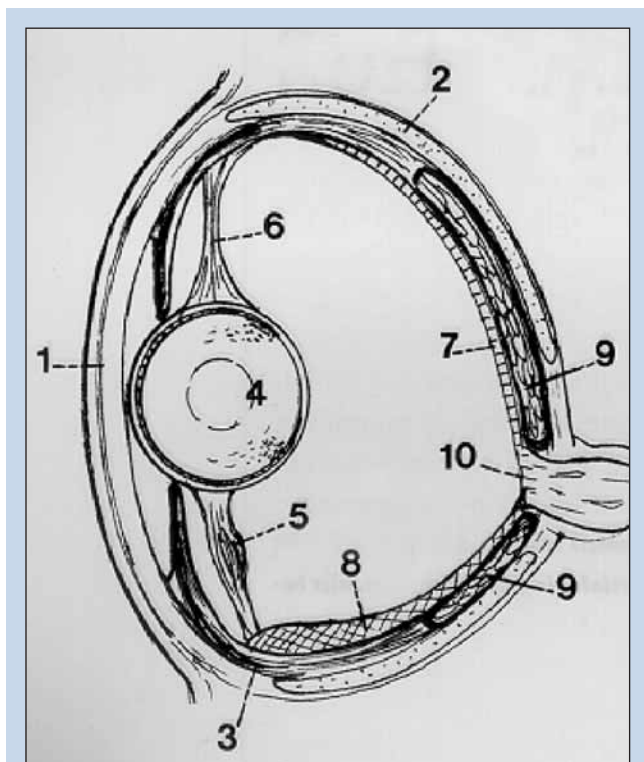


FIGURA 1 - L'occhio dei teleostei. 1: cornea, 2: cartilagine della sclera, 3: uvea, 4: lente, 5: m. retractor lentis, 6: legamento dorsale, 7: retina, 8: processus falciforme, 9: ghiandola coroide, 10: papilla ottica, testa del nervo ottico. (Da Bjerkås (1) con autorizzazione.)

L'accomodazione si ottiene grazie al movimento della lente all'interno dell'occhio lungo l'asse ottico. A differenza di quanto avviene nei mammiferi, la lente dei pesci è caratterizzata da scarsa elasticità e, a causa della sua rigidità, non consente l'accomodazione modificando la propria forma. In molte specie di teleostei, i muscoli intraoculari vengono utilizzati per il movimento della lente, ad esempio nei salmonidi la parte ventrale del *processus falciforme* emana un *musculus retractor lentis* ben sviluppato, che è unito alla lente ventralmente ed anteriormente al piano equatoriale (Figura 1). I meccanismi dell'accomodazione nei pesci variano considerevolmente anche all'interno di specie dello stesso gruppo (Bone & Marshall, 1982). È stato descritto anche un sistema di messa a fuoco di derivazione extraoculare, come nelle lamprede. In questo caso, un muscolo circolare disposto intorno alla cornea spinge la lente verso la retina, appiattendola. Un'altra differenza fra gli occhi dei pesci e quelli di altri vertebrati è legata alla rifrazione della luce. Dal momento che l'indice di rifrazione della cornea e dell'umore acqueo è simile a quello dell'acqua, la lente è l'unico tessuto dell'occhio dei pesci capace di rifrangere la luce. L'indice di rifrazione della lente varia lungo il suo diametro e fa assumere ai raggi che la attraversano un percorso curvo, consentendo la formazione di immagini di forma particolare, libere da aberrazioni sferiche e cromatiche.

La cornea

Nei pesci, i vari piani non sono ben definiti, e l'anatomia è complicata dall'apparente mancanza di palpebre. Ciò non-

ostante, le strutture dermiche più esterne della cute coprono l'occhio. In alcune specie, come il merluzzo, questa copertura dermica trasparente non è unita alla cornea sottostante e si forma una fessura precorneale. Le cornee dei pesci acquatici sono permeabili all'acqua, benché in misura ridotta, ed impermeabili al sodio (Edelhauser 1968, Poliquen 1999). Quindi, una rapida modificazione della salinità dell'acqua influisce sull'osmolalità dell'umore acqueo e può causare una cataratta osmotica, spesso reversibile, nella lente anteriore.

Uvea

Il tratto uveale è la principale struttura che apporta sangue all'occhio ed è sede delle reazioni immunomediate. Può essere distinto in tre parti: coroide, rete coroidea ed iride. La coroide è costituita da tessuto connettivo lasso contenente un'abbondante quantità di leucociti e melanociti. In molte specie ittiche, la parte più esterna contiene anche cristalli di guanina, che le danno un aspetto argenteo (*argentea*); quando questa caratteristica si continua sullo stroma della parte anteriore dell'iride, contribuisce a determinare la comparsa del riflesso luminoso osservato nell'occhio di molte specie, in particolare quelle (come *Scorpanidae*, *Clinidae* e *Batrachioidea*) in cui il tappeto è assente e la melanina della coroide è scarsa. L'*argentea* può svolgere una certa funzione di mimetizzazione distraendo i predatori ed allontanando la loro attenzione dalla pupilla scura e può anche essere parte di un sistema di trasmissione di segnali comportamentali per alcune specie ittiche, oltre a riflettere la luce e proteggere la retina.

La coroide è suddivisa in tre sottostrati. La *suprachoroidea* è unita alla sclera e contiene melanociti. Al di sotto si trova la *lamina vasculosa*, con vasi più grandi, mentre ad intimo contatto della retina è situata la *lamina coriocalicaris*, al cui interno si trovano molteplici vasi di piccole dimensioni. Nei pesci, all'interno della coroide è situata una speciale struttura vascolare detta rete coroidea, corpo coroideo o ghiandola coroidea (*corpus choroidalis*) ed ha una forma simile ad un ferro di cavallo, con la parte curva diretta dorsalmente e l'apertura ventralmente. È costituita da un sistema di capillari controcorrente formato dall'arteria e dalla vena oftalmica. L'arteria oftalmica riceve il sangue dalla pseudobranchia, che si sviluppa a partire dal primo dei cinque archi branchiali. Le funzioni della pseudobranchia e della rete coroidea sembrano essere intimamente legate all'acidificazione enzimatica del sangue arterioso, attraverso l'azione dell'anidrasi carbonica, innalzando così la pressione arteriosa dell'ossigeno. Anche se la rete coroidea viene talvolta indicata col nome di ghiandola coroide, probabilmente non svolge alcuna funzione ghiandolare. Si ritiene che possieda capacità immunitarie, dato che filtra sia il sangue afferente che quello efferente e contiene cellule che sembrano essere in grado di captare gli antigeni. Dalla rete coroidea, il sangue arterioso passa nei vasi arteriosi che si ramificano attraverso la coroide. Ulteriori piccoli rami penetrano nello strato più interno, la *lamina choriocalicaris*, dove il sangue viene ad intimo contatto con la retina. A differenza di quanto avviene nei mammiferi, nella maggior parte dei pesci quest'ultima è avascolare e per ottenere concentrazioni funzionali di ossigeno a livello retinico è ne-

cessaria l'elevata pressione di ossigeno nel sangue arterioso nella *lamina choriocapillaris*. Nelle specie in cui la retina è vascolarizzata, come il pesce gatto e l'anguilla, mancano sia la pseudobranchia che la rete coroidea.

In confronto ai mammiferi, nei pesci il corpo ciliare è rudimentale ma sembra comunque in grado di produrre umore acqueo. Sulla base di studi istologici condotti nel salmone atlantico, Bjerkås & Griffiths (1999) hanno riscontrato che le cellule dell'epitelio ciliare che lo producono sono localizzate nel corpo ciliare, nonché, a differenza dei mammiferi, verso la parte centrale della superficie posteriore dell'iride. Questi autori hanno anche suggerito che il drenaggio dell'umore acqueo avvenga in un tessuto vascolare spongioso ed a parete sottile del corpo ciliare, localizzato nell'angolo iridocorneale ventrale. Nel salmone atlantico, non è stato riscontrato un plesso venoso sclerale (canale di Schlemm).

L'iride circonda la pupilla e la parte rostrale della lente. Viene nutrita da un ramo dell'arteria carotide esterna. Nei mammiferi, comprende i muscoli dilatatore e sfintere, che regolano le dimensioni della pupilla e, quindi, consentono il controllo dell'esposizione della retina alla luce. Nei pesci esiste un sistema analogo, ma rudimentale, in una certa misura dipendente dal loro habitat: ad esempio, non è sviluppato nei pesci delle acque profonde, dove i livelli di luce sono molto bassi. Nei mammiferi, all'interno del tratto uveale sono state descritte popolazioni di macrofagi, cellule finalizzate alla presentazione dell'antigene (elementi dendritici) e linfociti. Nei pesci, gli studi in proposito sono scarsi, ma l'immunoreattività nei confronti di un marcatore MHC di classe II suggerisce che le risposte immunogene del tratto uveale del salmone atlantico siano simili a quelle della equivalente controparte dei mammiferi (Koppang *et al.*, 2003).

L'uvea dei teleostei contiene un'altra struttura, il processo falciforme, una specie di propaggine che protrude dal piano della retina a livello della fessura coroidea e penetra nel corpo vitreo. È localizzato ventralmente nell'occhio e si estende dalla terminazione anteriore della rete coroidea alla parte posteriore della lente. Il processo falciforme è ben vascolarizzato e con tutta probabilità serve a nutrire la retina ed il corpo vitreo. Il muscolo *retractor lentis*, che è collegato a livello della sua estremità anteriore, riceve il sangue da un ramo dell'arteria retinica. Una vena ed un nervo motore diretti al muscolo passano attraverso il processo falciforme. La vena termina in parecchi piccoli rami situati ventralmente all'angolo iridocorneale ed è probabilmente coinvolta nel drenaggio dell'umore acqueo dalla camera anteriore.

La lente

La lente dei teleostei è sferica e protrude attraverso l'apertura pupillare; la sua parte anteriore tocca quasi la superficie posteriore della cornea. In questo modo, è possibile ottenere un campo visivo ad ampio angolo. La forma sferica compensa la mancanza quasi completa di rifrazione della luce da parte della cornea dovuta all'ambiente acquatico. Dorsalmente, la lente è unita al corpo ciliare rudimentale attraverso il robusto legamento sospensore. La parte centrale della lente, il nucleo, è circondata da quella

corticale. Col termine di corticale profonda si indica il perinucleo, che di solito può venire facilmente distinto nel pesce adulto. L'epitelio della lente è costituito da un singolo strato di cellule che si estendono lungo tutta la circonferenza della lente, tranne che in una piccola area del polo posteriore. I salmonidi presentano una linea di sutura verticale a livello del polo anteriore ed una orizzontale in quello posteriore.

L'attività metabolica nella lente dei pesci è molto elevata, il che la espone in modo particolare alle alterazioni metaboliche causate da malnutrizione o da carenze nell'assorbimento di principi nutritivi essenziali. Bjerkås *et al.* (2006) hanno fornito una rassegna completa delle cataratte legate a problemi nutrizionali nei pesci d'allevamento. I dati indicano che anche la trasformazione dei salmoni giovani dalla fase di vita nei fiumi a quella di discesa verso il mare (*parr-smolt*) (con conseguente modificazione dalla vita in acqua dolce all'adattamento a quella di mare) può rappresentare un periodo in cui la lente è sensibile allo stress catarattogeno endogeno ed esogeno (Breck & Sveier 2002). I periodi di discesa verso il mare (*smolt*) e quello successivo (*post-smolt*) sono generalmente considerati critici per la crescita ed il rendimento sanitario, a causa delle modificazioni osmotiche, nonché dei drastici cambiamenti ormonali e metabolici. Questi fattori possono anche determinare un impatto sulla fisiologia della lente che si può alterare. È stato anche dimostrato che la trasformazione *parr-smolt* è un periodo critico nella migrazione dei salmoni selvatici. Studi condotti negli ultimi anni hanno accertato che un numero sostanziale di questi animali provenienti dall'Europa settentrionale sviluppa alterazioni transitorie della lente quando entra nell'acqua di mare (Bjerkås *et al.*, 2006).

L'umore acqueo viene generalmente descritto come un ultrafiltrato del plasma. Nei mammiferi, la concentrazione di molti composti al suo interno è più bassa che nel plasma (ad es., proteine, glucosio e lipidi), mentre per altre sostanze (ad es., ascorbati e lattati) si verifica l'opposto. Gli studi condotti sul salmone atlantico hanno dimostrato la presenza di concentrazioni di glucosio più elevate nel plasma che nell'umore acqueo. (Waagbo *et al.* 2003), mentre erano più basse quelle dell'acido ascorbico. Nella maggior parte delle specie di mammiferi, gli aminoacidi si riscontrano in concentrazioni più elevate nell'acqueo che nel plasma, il che suggerisce un meccanismo di trasporto attivo. Gli studi condotti sul pescecane, *Squalus acanthias*, hanno rivelato analogie con i mammiferi per quanto riguarda il movimento di alcuni ioni dal plasma all'umore acqueo (Maren *et al.*, 1975). Nei teleostei, l'osmolalità dell'umore acqueo è generalmente più bassa di quella del plasma (Zadunaisky 1973). Per i salmonidi sono state descritte differenze simili sia nell'acqua dolce che in quella salata. In generale, in quest'ultima si riscontrano livelli di osmolalità più elevati (Iwata *et al.* 1987).

Generalmente, gli autori concordano nel ritenere che alti livelli di irradiazione di UV solari nell'ambiente aumentino il rischio di cataratta nell'uomo (Cruickshanks *et al.*, 1992). La componente più significativa per l'assorbimento degli UV nell'umore acqueo dei mammiferi e degli uccelli è rappresentata da ascorbati, urati ed alcuni aminoacidi, come il triptofano e la tirosina. Elevati livelli di ascorbati nell'umore acqueo riducono il danno indotto dagli UV-B

all'epitelio della lente (Reddy *et al.* 1998). Si sa poco sulla protezione della lente dei salmoni nei confronti degli UV. Dal momento che questi pesci sono adattati a nuotare nell'acqua di superficie, ci si aspetterebbe che la loro lente sia dotata di una protezione sufficiente nei confronti della radiazione UV in circostanze normali. Uno studio spettrofotometrico segnalato da Bjerås *et al.* (2000) ha dimostrato che l'assorbimento degli UV dell'umore acqueo nei salmoni selvatici era marcatamente più elevata di quella dei salmoni allevati, ma i fattori responsabili di questo meccanismo non sono ancora stati identificati.

Retina

I fotorecettori presentano i segmenti esterni affondati nell'epitelio pigmentato retinico (RPE). Differenti popolazioni di coni sono sensibili alle regioni del rosso, del verde e del blu dello spettro visibile. La retina dei salmoni, inoltre, possiede dei coni specializzati che risultano sensibili soprattutto alla luce ultravioletta. Il pesce anadromo (quello che si muove fra l'acqua dolce e quella salata) perde questa capacità al momento della migrazione nell'acqua marina, mentre i salmonidi che trascorrono la propria vita in quella dolce conservano la propria capacità di vedere nello spettro UV (Kunz *et al.* 1994). Questa variazione può valere anche per altri pesci. Alcune specie ittiche presentano coni binucleati o persino trinucleati, caratteristiche esclusive dei teleostei. Il rapporto di queste cellule fotorecetttrici varia considerevolmente da una specie all'altra, principalmente in accordo con il loro habitat. Ad esempio, la maggior parte dei pesci che vivono nelle acque marine profonde presenta retine costituite esclusivamente da bastoncelli e vi sono esempi di disposizioni multistratificate di queste cellule.

Il *tapetum lucidum* è localizzato al di sotto dei fotorecettori. Riflette la luce, facendo sì che il riflesso luminoso dell'occhio sia un fenomeno comune nei pesci. La posizione e la qualità del *tapetum* varia considerevolmente da una specie ittica all'altra. Alcune presentano un tappeto situato nella coroide, mentre in altre questo è associato all'epitelio pigmentato della retina; nei teleostei quest'ultima localizzazione è quella più comune. Il tappeto può riflettere la luce su un ampio spettro, a seconda della differente pigmentazione e composizione fisica, solitamente adattata all'habitat di una data specie. In genere, in molte specie si riscontra un tappeto con cristalli di guanina. Si possono quindi osservare riflessi oculari violetti, verdi, giallo-bruno, arancio o rossi a seconda della localizzazione e della composizione tappetale.

Le specie che vivono in acque con elevati livelli di luce, ma hanno bisogno di vedere anche in condizioni di scarsa illuminazione, hanno sviluppato meccanismi di protezione dei fotorecettori, come la possibilità di occultare il tappeto e la motilità dei fotorecettori. Nel primo di questi meccanismi, ai granuli riflettenti all'interno del citoplasma dell'epitelio pigmentato della retina (RPE) sono miscelati granuli di melanina che possono mascherarli o meno, a seconda dei livelli di illuminazione. Nel secondo meccanismo, i fotorecettori (solitamente bastoncelli, ma anche coni) scivolano nei recessi profondi all'interno dell'RPE proteggendosi così dalla luce intensa. A differenza della rapida risposta os-

servata nei mammiferi, dovuta alla contrazione dell'iride, nei pesci queste reazioni richiedono un po' di tempo, il che probabilmente riflette la normale temporizzazione dall'alba al tramonto.

A seconda delle specie, possono esistere significative differenze nella distribuzione dei fotorecettori retinici. La *fovea* rappresenta un'area con un'elevata concentrazione di queste cellule, costituite nella maggior parte dei casi da coni, ma alcune specie ittiche che vivono nelle acque marine profonde possono anche presentare fovee composte esclusivamente da bastoncelli. La fovea si può osservare come una pronunciata depressione nella retina, in genere nella parte temporale. Inoltre, in differenti aree retiniche si possono trovare altre zone caratterizzate da elevata densità di fotorecettori (fovee multiple). In alcune specie, come il salmone e la trota allo stadio di *parr* (pesce che vive nell'acqua dolce prima della prima migrazione in mare) la fovea è localizzata nella regione ventrotemporale, consentendo un'elevata acutezza visiva quando si avvicina ad una preda dal di sotto.

I pesci predatori altamente specializzati come i pescispada, i tonni e gli squali, sono dotati di una speciale disposizione vascolare per riscaldare gli occhi. Nel pescispada, questa particolare vascolarizzazione è localizzata in un muscolo extraoculare e il sangue riscaldato aumenta la temperatura della retina in modo da migliorare la risoluzione temporale.

Nell'embriogenesi, la retina si sviluppa a partire dall'encefalo, con il quale condivide parecchie caratteristiche. Come l'encefalo, la retina è una struttura privilegiata dal punto di vista immunitario. Le reazioni immunitarie ed in particolare le modificazioni infiammatorie intraretiniche possono portare ad un danno irreversibile, benché i pesci possiedano una capacità esclusiva di rigenerare il tessuto nervoso danneggiato, retina compresa. Nonostante questo status immunitario privilegiato, è stato dimostrato che la retina del salmone atlantico ospita cellule MHC classe II positive, il che indica la capacità di presentare antigeni esogeni. Tuttavia, bisogna stare attenti ad estrapolare questi risultati ad altre specie ittiche. Nei mammiferi, l'abbondanza della popolazione leucocitaria nella retina varia in misura sorprendente da una specie animale all'altra.

Visione dei colori

I pesci percepiscono i colori in situazioni come l'accoppiamento, l'alimentazione, l'aggressione, ecc...; quindi, la visione cromatica risulta importante per la loro comunicazione (Douglas & Djamgoz 1990). Gli studi condotti hanno dimostrato che i maschi di salmone *sockeye* preferiscono le femmine con un'intensa colorazione rossa (Foote *et al.* 2004). Salmoni di meno di un anno (stadio *fy*) alimentati con pellet di colori differenti preferiscono quelli rossi (Clarke & Sutterlin 1985), ma il comportamento alimentare risulta influenzato anche da altri fattori come le dimensioni del pellet stesso e la posizione dell'individuo nella gerarchia ittica. La giovane trota arcobaleno preferisce il pellet blu e rosso in condizioni di luce brillante e gli alimenti di colore giallo in condizioni di luce scarsa mentre il pesce rosso non risulta in grado di distinguere il rosso ed il verde all'alba e al tramonto. Anche le

variazioni stagionali della luce e della temperatura influiscono sulla sensibilità ai colori, come è stato dimostrato nella trota bruna. Inoltre, sulla percezione cromatica agiscono anche la variazione della luce e dell'adattamento alla luce o al buio, nonché il fatto di nuotare fra zone di differente intensità luminosa e fattori come le onde e la turbolenza dell'acqua.

MALATTIE OCULARI

Lesioni causate da traumi

In confronto alla maggior parte dei mammiferi, l'occhio dei pesci è di gran lunga più esposto al proprio ambiente. Infatti, è privo della protezione offerta dalle palpebre in termini di normale costruzione di queste strutture, nonché del film lacrimale, con le sue caratteristiche antimicrobiche. Il trauma può costituire una conseguenza di qualsiasi forma di insulto patologico, chimico, termico, tossico o atinico, ma nella maggior parte dei casi è dovuto ad eventi meccanici.

Lesioni causate da infezioni

Gli agenti infettivi possono penetrare nell'occhio dall'ambiente, tramite infezioni esogene, oppure per via ematica, come infezione endogena. Nei pesci che sono esposti a batteriemia e viremia, la maggior parte delle infezioni oculari ha carattere endogeno. Nella rete coroidea, che filtra sia il sangue afferente che quello efferente, si osserva frequentemente la presenza di colonie di batteri nei pesci infetti e sono stati descritti gravi alterazioni granulomatose nei pesci con infiammazione generalizzata.

MALATTIE CONGENITE

Esiste una considerevole variazione di specie nelle strutture oculari dei pesci e per evitare diagnosi errate è essenziale la conoscenza dell'anatomia normale di quella in esame. Alcune malformazioni esistono persino come caratteri specie-correlati e geneticamente selezionati, come ad esempio l'esoftalmia in certi pesci ornamentali.

Le più comuni malattie congenite sono la ciclopia e la microftalmia/anoftalmia.

La ciclopia si riscontra occasionalmente in tutte le specie ittiche, ma è stata descritta principalmente nel salmone atlantico (Bolker & Thomson 1992). La differenza nella velocità di sviluppo fra le strutture del proencefalo e l'organo nasale in confronto al resto della testa causa la malformazione, che si può osservare in concomitanza con un errato sviluppo delle mandibole e delle pinne. In alcuni casi è stato sospettato il coinvolgimento di fattori teratogeni causati da inquinazione ambientale. In certi ceppi di salmone atlantico è stata diagnosticata la microftalmia come problema potenzialmente ereditario, ma la condizione si può osservare in tutte le specie ittiche, come riscontro incidentale. L'anoftalmia si può riscontrare spontaneamente in qualsiasi pesce, e va distinta dalla ftisi oculare conseguente a trauma o infezione.

MALATTIE ACQUISITE

Esoftalmia/buftalmia

Le due condizioni possono essere difficili da distinguere clinicamente, dal momento che entrambe sono caratterizzate dalla presenza di una protrusione oculare. L'esoftalmia implica una protrusione di un occhio di dimensioni normali, mentre nella buftalmia il globo stesso è ingrossato. L'esoftalmia può essere causata da lesioni occupanti spazio retrobulbari o tumefazioni. La condizione è anche un segno comune di malattia generalizzata nei pesci e si può osservare sia in connessione con malattie infettive che con cardiopatie. La buftalmia nella maggior parte dei casi è causata dall'accumulo di gas a livello intraoculare, ma si può anche sviluppare secondariamente ad infezioni all'interno dell'occhio. È stato suggerito inoltre che la buftalmia sia una conseguenza secondaria di un'oculopatia generalizzata correlata a temperature dell'acqua inferiori allo 0 nel salmone atlantico (Ferguson *et al.* 2004).

Accumulo di gas (malattia da bolle di gas - "pop eye")

Le bolle di gas si possono formare all'interno dell'occhio o nella regione perioculare. L'accumulo intraoculare determina una buftalmia secondaria, oppure gli occhi possono diventare esoftalmici per la presenza di bolle di gas in sede retrobulbare. In entrambi i casi, gli occhi risultano maggiormente esposti a traumi secondari; inoltre, l'accumulo di gas intraoculare può causare alterazioni irreversibili di corioide, retina e disco ottico. Le bolle sono dovute ad un incremento della pressione dei gas disciolti, al di sopra della pressione aerea ambientale (sovrasaturazione) dell'azoto e dell'ossigeno (Speare 1990). La sovrasaturazione del gas può avvenire naturalmente ed in condizioni sia di acquario che di allevamento, come fenomeno acuto oppure cronico. La forma acuta determina la comparsa di segni clinici simili a quelli della malattia da decompressione osservata nei sommozzatori, mentre nelle forme subacute e croniche il pesce può andare incontro ad un lento deterioramento dovuto alla malattia secondaria. Questo può anche comprendere segni oculari secondari aspecifici come la cataratta e la panoftalmite e la panuveite suppurativa. La panoftalmite può essere causata da un danno corneale oppure da un'esposizione dell'occhio, oppure può insorgere in conseguenza di una lesione traumatica a carico delle strutture intraoculari.

Nell'halibut atlantico, la formazione di bolle di gas può essere causata dall'aumento dei livelli di biossido di carbonio senza che si verifichi necessariamente una precedente sovrasaturazione di gas (Williams & Brancker 2004, 2006). Con tutta probabilità, questo fenomeno è determinato dal livello dell'ossigeno, che è influenzato dall'attività del corpo corioideo e dell'anidrasi carbonica. L'ossigeno rimane in soluzione nelle acque profonde. Tuttavia, quando gli animali vengono allevati in cisterne poco profonde e durante i periodi di stress, l'ossigeno può uscire dalla soluzione e presentarsi sotto forma di bolle di gas. Si ritiene che la stessa condizione sia presente anche nel merluzzo allevato, un'altra specie che vive nel mare profondo e viene prodotta in acque superficiali. In un vecchio studio su merluzzi

che presentavano segni clinici simili, è stato dimostrato che l'iniezione intraperitoneale di inibitori dell'anidraasi carbonica aveva un effetto preventivo (Dehadrai 1966). L'accumulo di bolle di gas negli occhi viene diagnosticato con una certa frequenza nei moderni allevamenti di questi pesci. Le osservazioni indicano che la formazione di bolle di gas nei merluzzi e negli halibut allevati avviene in periodi caratterizzati da modificazioni della temperatura dell'acqua ed in occasione di episodi di stress.

INFEZIONI

Come nel caso dell'esoftalmo, l'infezione intraoculare si riscontra di solito nell'ambito di un quadro patologico sistemico, ma non è sempre così ed alcuni agenti mostrano una localizzazione preferenziale per l'occhio. Dai pesci con panoftalmite sono stati isolati parecchi agenti infettivi, quali *Vibrio* spp. nel salmone atlantico e nel merluzzo, *Renibacterium salmoniarum* nella trota arcobaleno, nella trota bruna e nel salmone coho, *Streptococcus* spp. nella trota arcobaleno e *Staphylococcus aureus* nella carpa argentata. La panoftalmite progressiva è stata descritta nel salmone chinook, associata a due differenti batteri Gram-positivi; *Mycobacterium neoaurum* e un non identificato *Rhodococcus* sp. Un microrganismo bastoncellare Gram-negativo è stato isolato dal salmone atlantico colpito dalla malattia *Varracalbmi* ("occhio emorragico") (Valheim 2000). I segni clinici delle malattie infettive oculari possono variare. Nei casi più gravi, l'infezione può diffondere rapidamente sino a colpire l'intero occhio, causando una rottura del globo e la distruzione completa delle strutture oculari. Nei casi meno gravi, si osserva frequentemente una cheratite. Nella lieve infezione cronica la cornea può apparire limpida, il che facilita l'esame delle strutture oculari più profonde. Le reazioni dell'uvea sono di solito lievi nei pesci, ma nell'infezione cronica di basso grado si può riscontrare una cataratta dovuta ad una modificazione della composizione dell'umore acqueo.

SCLERITE

La sclerite può essere associata ad una panoftalmite generalizzata. Tuttavia, nella trota arcobaleno e nel salmone atlantico è stata descritta una forma specifica di sclerite necrotica associata a *Flavobacterium psychrophilum* (Ostland *et al.* 1997). I segni clinici hanno una gravità variabile, dall'esoftalmia, attraverso le erosioni corneali e l'emorragia intraoculare, fino alla ftisi terminale dell'occhio. Un riscontro tipico è l'infiammazione piogranulomatosa e la necrosi dell'osso e della cartilagine in via di sviluppo della regione della testa nei pesci in crescita, compresa la cartilagine sclerale (nota con il termine colorito di "malattia di dissoluzione della testa" ["*dissolving head disease*"]). All'interno della cartilagine sclerale si possono anche incontrare diverse specie di *myxozoan*.

ULCERE CORNEALI

Le ulcere corneali si possono sviluppare a causa di un danno meccanico oppure nel quadro di un'infezione gene-

ralizzata. Il fatto che il pesce venga catturato in modo grossolano con le reti o con le mani può essere causa di piccole lesioni, che in condizioni ottimali possono guarire rapidamente. In presenza di situazioni ambientali scadenti, invece, l'ulcera può andare incontro ad un'infezione secondaria da batteri o miceti opportunisti (in particolare *Saprolegnia* spp.) e può progredire sino alla rottura corneale ed alla panoftalmite.

Una condizione ritenuta capace di determinare la distruzione dell'occhio, in particolare nell'halibut atlantico allevato, è la cosiddetta "*eye-snapping*". Le moderne condizioni di allevamento possono essere causa di aggressioni e morsi fra pesci e gli occhi sono stati considerati particolarmente esposti e, quindi, vulnerabili. Non è chiaro, tuttavia, se il pesce mostri un aumento di interesse per un occhio già colpito da un processo patologico (ad es., a causa della formazione di bolle di gas) o se la condizione sia dovuta all'attacco di occhi normali. La prima spiegazione potrebbe essere quella valida nei numerosi casi di ftisi oculare osservati in queste specie animali.

CHERATITE

Le cause nutrizionali della cheratite sono rappresentate dalla carenza di riboflavina e tiamina ed anche da quella di vitamina A. Quest'ultima è stata segnalata come responsabile di alterazioni iperplastiche dell'epitelio corneale e di aumento dello spessore dello stroma nelle trote dei vivai. Condizioni simili si osservano frequentemente nei rettili in cattività, dove si ha una concomitante tumefazione della congiuntiva e della ghiandola dell'orbita.

Nella maggior parte dei casi, la cheratite infettiva è segno di un'infezione generalizzata e può essere causata da batteri (*Aeromonas*, *Staphylococcus* spp., *Pseudomonas* spp. ed altri), virus (*Lymphocystis*) e protozoi parassiti (*Ichthyophthirius*). L'infezione da *Lymphocystis* provoca principalmente una malattia cutanea in una vasta gamma di teleostei, ma è stata descritta una forma oculare della malattia in cui risultano infettati la coroide, l'iride ed il nervo ottico (Duke & Lawler 1975). *Ichthyophthirius* causa una malattia comunemente indicata come "*white spot*" (macchia bianca), che colpisce la cute, le branchie e gli occhi. Negli ambienti naturali il parassita si trova in molte specie ittiche differenti, ma risulta particolarmente grave nelle condizioni di confinamento ed elevata densità di popolazione (stagni da acquacoltura, acquari, ecc.).

Benché nella maggior parte dei casi colpiscano altre parti del corpo, anche i trematodi monogenetici possono causare un danno perforando la cornea e penetrando al suo interno. In corrispondenza dei punti di penetrazione si sviluppano delle bolle, che sono associate ad opacità corneale. Contemporaneamente, si possono avere edema e corrosione della congiuntiva bulbare, nonché uveite. Negli squali dormienti del Pacifico sono stati descritti dei copepodi che attaccano in modo particolare gli occhi, causando ulcerazione corneale, cheratite eterofila, congiuntivite ulcerativa accompagnata da iperplasia epiteliale ed alterazioni del segmento anteriore (Benz *et al.* 2002). Lesioni simili sono state descritte nella platessa (*arrowtooth flounder*) del Pacifico, e con tutta probabilità questa infestazione da copepodi con una preferenza oculare può avvenire anche in altre specie.

UVEITE

Molte malattie dell'occhio, così come quelle sistemiche, possono causare infiammazione dell'uvea. I processi patologici che colpiscono la corioide sono rappresentati da malattia delle bolle di gas, setticemia ed infezioni specifiche (ad es., *Flexibacter*, *Pseudomonas*, *Mycobacterium*) (Lönnström *et al.* 1994). Anche le tossine veicolate dall'acqua possono essere causa di infiammazione. L'uveite indotta dalla lente viene diagnosticata frequentemente in connessione con il rapido sviluppo di cataratte nei pesci, come nei mammiferi, in cui l'uveite viene causata dalla fuoriuscita di proteine (alterate) della lente attraverso la capsula della lente stessa. L'uveite colpisce una parte o l'intera uvea e può essere coinvolto anche il processo falciforme. La miopia osservata nei mammiferi con uveite acuta è molto meno pronunciata nei teleostei, perché i muscoli dell'iride sono rudimentali, benché sia presente in misura lieve nello stadio acuto.

CATARATTA

Le cataratte possono essere distinte in *primitive* o *secondarie*. Nelle cataratte primitive, l'opacità della lente è l'unico segno di malattia a livello dell'occhio, mentre in quelle secondarie le modificazioni della lente avvengono come conseguenza di un'altra malattia intraoculare. Questa può essere rappresentata da un'infezione (come descritto più sopra) oppure si può avere un'alterazione della composizione dell'umore acqueo dovuta a processi degenerativi dell'occhio. La cataratta primaria è una causa comune di riduzione della vista o di cecità nei pesci allevati e la malattia è stata ampiamente studiata nel salmone atlantico. In confronto ad altre specie che utilizzano principalmente l'olfatto, i salmoni dipendono dalla funzione visiva per il normale consumo di cibo e la presenza di una cataratta influisce sul tasso di crescita. Oltre all'impatto economico della riduzione dell'accrescimento, si hanno anche i problemi connessi al benessere animale. I fattori catarattogeni possono essere presenti in modo permanente oppure soltanto per un dato periodo di tempo. Se l'agente eziologico viene rimosso, oppure se scompare spontaneamente, le nuove fibre corticali che crescono alla periferia della lente si possono sviluppare in modo normale. Gradualmente, si ha la formazione di un anello periferico di tessuto normale intorno alle alterazioni catarattose, che vengono compresse verso la parte media della lente.

Nei pesci allevati è stata descritta un'ampia varietà di fattori di rischio per le cataratte primarie. Bjerkås *et al.* (2006) hanno presentato una rassegna sulle cataratte indotte dalla nutrizione sui pesci allevati. Altre cause di cataratta sono rappresentate da crescita rapida, variazione della temperatura dell'acqua, esposizione alla luce ultravioletta, sovrassaturazione di gas, modificazioni della salinità dell'acqua, suscettibilità genetica, tossine ambientali, effetti collaterali tossici dei trattamenti farmacologici ed infestazioni parassitarie (ad es., distomi). Indipendentemente dalla causa iniziale, tuttavia, la lente mostra principalmente le stesse alterazioni catarattose. Le anomalie corticali anteriori sono spesso associate a concomitante proliferazione dell'epitelio della lente, benché si possa occasionalmente avere una per-

ditata. La proliferazione si può osservare con un biomicroscopio (lampada a fessura) sotto forma di opacità sottocapsulari ben definite a livello del polo anteriore della lente, che si trova appena dietro la cornea. Durante la cataratta in rapido sviluppo, la lente si imbibisce di acqua, portando alla conseguente tumefazione del tessuto all'interno del sacco capsulare, che si può rompere nella regione posteriore con estrusione del nucleo della lente nella parte posteriore dell'occhio. Contemporaneamente si verifica un'uveite fa-coindotta, che però è meno grave che nei mammiferi. I segni dell'uveite si possono comunque osservare nei pesci con cataratte in rapido sviluppo, con neovascolarizzazione dell'iride, rottura dei vasi sulla superficie dell'iride, ifema, modificazioni del colore dell'iride che diviene più scura e lieve miopia. Si riscontrano frequentemente delle cataratte che si sviluppano più lentamente, con alterazioni meno evidenti, ma che possono anch'esse portare alla completa opacizzazione della lente. La maggior parte delle cataratte è bilaterale, benché le alterazioni iniziali si possano osservare in un solo occhio.

Si può verificare una cataratta transitoria correlata allo squilibrio osmotico, in particolare nei pesci anadromi, e non è rara poco dopo il passaggio dall'acqua dolce a quella salata. L'esposizione all'acqua salata dei pesci nello stadio di *parr* prima della trasformazione in quello di *smolt* conduce alla cataratta osmotica; le alterazioni si presentano sotto forma di tumefazioni delle fibre della lente intorno al polo anteriore della stessa (Bjerkås & Sveier 2004). L'effetto osmotico sulla lente può essere reversibile, ma gravi o ripetuti stress osmotici portano ad un danno permanente. Sono anche state descritte delle cataratte osmotiche nei pesci *post-smolt* selvatici migratori provenienti dall'Europa settentrionale. La causa di questo fenomeno resta da chiarire, ma la riduzione della visione può rappresentare una delle ragioni che contribuiscono al mancato ritorno dei salmoni selvatici ai fiumi, dal momento che i pesci con una compromissione della vista possono costituire un facile bersaglio per i predatori marini (Bjerkås *et al.* 2003).

L'occhio può essere colpito da un'ampia gamma di parassiti. Uno dei più comuni, tuttavia, è l'invasione da parte di trematodi digenetici (distomi oculari, sottoclasse Digenea), (principalmente *Diplostomum* spp.), che sono causa di cataratta sia nei pesci selvatici catturati che in quelli allevati e rappresentano un problema in molti allevamenti ittici (Karvonen *et al.* 2004). Se i distomi sono in numero limitato non provocano una grave opacità della lente. In presenza di attacchi massivi, invece, i trematodi possono causare la lussazione, nonché la rottura della sua capsula con conseguente uveite, a volte complicata da distacco secondario della retina. Le metacercarie evolvono nelle chiocciole e, una volta rilasciate da queste ultime, penetrano attraverso la cute dei pesci vicini. Dopo essere penetrati, i distomi immaturi migrano rapidamente attraverso il corpo degli animali e, se il numero dei parassiti è molto alto, possono persino causare la morte del pesce ospite. La sede d'elezione per i distomi è l'occhio, una volta che vi sono penetrati attraversano la capsula posteriore della lente e migrano nella corteccia dove possono facilmente essere osservati nel pesce vivo. Occasionalmente si riscontrano distomi anche nel vitreo. L'ingestione di pesci infestati da parte degli uccelli (l'occhio è un bersaglio comune) completa il ciclo vitale dei distomi.

MALATTIE RETINICHE

Data la grande variazione dell'anatomia normale della retina, può essere difficile formulare una diagnosi di degenerazione di questa struttura, benché ne siano state descritte parecchie cause. Le più comuni sono le infezioni, che spesso colpiscono contemporaneamente la corioide e la retina, ma anche le reazioni tossiche possono causare un danno retinico. Nel salmone atlantico è stato descritto un caso di possibile degenerazione retinica ereditaria (Grahn *et al.* 1993).

Anche gli squilibri nutrizionali possono esitare nella degenerazione retinica e sono state segnalate sia carenze di vitamina A che di vitamina C; quest'ultima non può essere sintetizzata da molte specie ittiche che la devono assumere con l'alimentazione. La carenza di vitamina C provoca principalmente delle alterazioni a livello delle ossa e della cute. Tuttavia, si osservano anche delle alterazioni retiniche, che si presentano inizialmente sotto forma di degenerazione centrale della retina ed in seguito progrediscono sino a colpirla tutta (Collins *et al.* 1993). Altri segni possono essere rappresentati da emorragia intraoculare e sviluppo di cataratta secondaria. Nelle specie ittiche come il pesce rosso (*Carassius auratus*) è nota la comparsa di degenerazioni retiniche ad insorgenza spontanea, che si verifica concomitantemente alla protrusione ed all'ingrossamento del globo. Il pesce zebra è stato ampiamente utilizzato nella ricerca come modello per la degenerazione retinica causata da differenti fattori. C'è motivo di credere che la condizione in forma spontanea si verifichi anche in altre specie ittiche, sia a causa di fattori ereditari che ambientali, come la cattiva qualità dell'acqua. Nel pesce rosso e nel menhaden atlantico (*Brevoortia tyrannus*) in cattività sono state descritte degenerazioni retiniche indotte dalla luce e lentamente progressive, conseguenti rispettivamente all'esposizione alla luce continua o ad illuminazione fluorescente. Nella carpa (*Cyprinus carpio*) si riscontra una retinopatia diabetica spontanea, con i vasi che diventano tortuosi e dilatati prima di finire per rompersi. La retinopatia indotta dalla luce si osserva comunemente nelle specie che vivono normalmente in acque con una bassa intensità luminosa, ma che vengono improvvisamente esposte ad elevati livelli di illuminazione in situazioni di acquario, per farli vedere dai visitatori. Alterazioni simili si riscontrano anche nelle condizioni di allevamento, ed il recente entusiasmo per i regimi di illuminazione continua deve essere moderato, occorre una certa cautela.

I nodavirus dei pesci sono gli agenti eziologici di una malattia, l'encefalopatia e retinopatia virale (VER) (Grotmol *et al.* 1999, Johansen *et al.* 2002). I segni clinici della VER acuta sono rappresentati da anoressia, modificazioni della pigmentazione cutanea e segni neurologici. Si ha un elevato tasso di mortalità, che può arrivare al 100%. La VER è stata segnalata in molte specie ittiche marine in tutte le parti del mondo, eccetto l'Africa. Nell'Europa settentrionale, le infezioni da nodavirus sono state descritte per la prima volta nel rombo chiodato ed in seguito nell'halibut atlantico e nella sogliola. Sia in Scozia che in Canada, sono state segnalate epizootie di VER nel merluzzo. Studi sperimentali hanno dimostrato che anche il pescelupo maculato è suscettibile ai nodavirus, ma sinora non è stata segnalata alcuna epizootia naturale di VER in questa specie.

Il principale organo bersaglio dei nodavirus è il sistema nervoso centrale, compreso l'encefalo, il midollo spinale e la retina, benché talvolta quest'ultima mostri le più tipiche alterazioni istopatologiche. Le lesioni caratteristiche della VER nell'halibut atlantico sono rappresentate da necrosi e vacuolizzazione lipidica dell'encefalo e di tutti gli strati della retina. Le alterazioni degenerative possono essere accompagnate da infiammazione. I pesci che sopravvivono alle epizootie acute di VER possono non mostrare alterazioni del SNC dopo un po' di tempo. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che i teleostei hanno la capacità di produrre nuovi neuroni e rigenerare il tessuto retinico anche da adulti, il che porta alla continua rigenerazione e crescita del SNC senza limiti di età. È possibile che l'infezione da nodavirus persista per tutta la vita del pesce.

Bibliografia

1. Benz, G.W., Borucinska, J.D., Lowry, L.F., Whiteley, H.E. (2002) Ocular lesions associated with attachment of the copepod *Ommatokoita elongata* (Lernaeopodidae: Siphonostomatoida) to corneas of Pacific sleeper sharks *Somniosus pacificus* captured off Alaska in Prince William Sound. *J Parasitol* 88: 474-481.
2. Bjerkås, E., Holst, J.C., Bjerkås, I. (2003) Osmotic cataract causes reduced vision in wild Atlantic salmon postsmolts. *Dis Aquat Org* 55: 151-159.
3. Bjerkås, E., Holst, J.C., Bjerkås, I. (2003) Osmotic cataract causes reduced vision in wild Atlantic salmon postsmolts. *Dis Aquat Org* 55: 151-159.
4. Bjerkås, E., Sveier, H. (2004) The influence of environmental and nutritional factors on osmoregulation and cataract in Atlantic salmon (*Salmo salar* L). *Aquaculture* 235: 101-122.
5. Bjerkås, E., Breck O., Waagbø R. (2006) The role of nutrition in cataract formation in farmed fish. *CAB Reviews. Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 1, NO. 033.
6. Bjerkås, E., Breck, O., Holst, J.C., Finstad, B. (2006) Osmotisk katarakt hos utvandrende postsmolt (Osmotic cataract in migrating post-smolts) Programkonferansen HAVBRUK 2006, pp 43.
7. Bjerkås, I. & Griffiths, D. J. (1999) Eye structures involved in aqueous humour production and drainage in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). 9th International Conference on Diseases of Fish and Shellfish, 19-24th September 1999, Rhodes, Greece.
8. Bolker, J.A., Thomson, K.S. (1992) Abnormal craniofacial development in cyclopic salmonid fishes. *J Morphol* 211: 23-29.
9. Bone, Q. & Marshall, N. B. (1982) *Biology of Fishes*. Blackie & Son Limited.
10. Breck, O., Sveier, H. (2001) Growth and cataract development in two groups of Atlantic salmon (*Salmo salar* L) post smolts transferred to sea with a four-week interval. *Bull Eur Ass Fish Pathol* 21: 91-103.
11. Clarke, L.A. Sutterlin, M. (1985) Associative learning, short-term memory, and colour preference during first feeding by juvenile Atlantic salmon. *Can J Zool* 63: 9-14.
12. Collins, B.K., Collier, L.L., Collins, J.S. (1993) Retina and lenticular lesions in vitamin-C-deficient juvenile red drum, *Sciaenops-Ocellatus* (L). *J Fish Dis* 16: 229-237.
13. Cruickshanks, K.J., Klein, B.E., Klein, R. (1992) Ultraviolet light exposure and lens opacities: The Beaver Dam Eye Study. *Am J Publ Health* 82: 1658-1662.
14. Dehadrai, P.V. (1966) Mechanism of gaseous exophthalmia in the Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *J Fish Res Board Can* 23: 909-914.
15. Douglas, R.H. The visual system of fish. Eds. Douglas RH & Djamgoz, MBA. Chapman and Hall, London 1990.
16. Dukes, T.W., Lawler, A.R. (1975) The ocular lesions of naturally occurring lymphocystis in fish. *Can J Comp Med* 39: 406-410.
17. Edelhauser, H.F. (1968) Sodium and water permeability of salt-water fish corneas. *Comp Biochem Physiol* 24, 665-667.
18. Ferguson, H.W., Hawkins, L., MacPhee, D.D., Bouchard, D. (2004) Chorioiditis and cataracts in Atlantic salmon (*Salmo salar* L) recovering from subzero water temperatures. *Vet Rec* 155: 333-334.
19. Foote, C.J., Brown, G.S., Hawryshyn, C.W. (2004) Female colour and male choice in sockeye salmon: Implications for the phenotypic convergence of anadromous and nonanadromous morphs. *Anim Behav* 67: 69-83.
20. Grahn, B.H., Wilcock, B.P., Ferguson, H.W., Sheppard, M. (1993) Retinal degeneration in chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Proc Am Coll Vet Ophthalmol* pp 41-42.

21. Grotmol, S., Bergh, O., Totland, G.K. (1999) Transmission of viral encephalopathy and retinopathy (VER) to yolk-sac larvae of the Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus*: occurrence of nodavirus in various organs and possible route of infection. *Dis Aquat Org* 36: 95-106.
22. Iwata, M., Komatsu, S., Collie, N. L., Nishioka, R. S., Bern, H. A. (1987) Ocular cataract and sea water adaptation in salmonids. *Aquaculture* 66: 315-327.
23. Johansen, R., Ranheim, T., Hansen, M.K., Taksdal, T., Totland, G.K. (2002) Pathological changes in juvenile Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* persistently infected with nodavirus. *Dis Aquat Org* 50: 161-169.
24. Karvonen, A., Seppälä O., Valtonen, E.T. (2004) Eye fluke-induced cataract in fish: Quantitative analysis using an ophthalmological microscope. *Parasitology* 179: 473-478.
25. Koppang, E.O., Bjerkås, E., Bjerkås, I., Sveier, H., Hordvik I. (2003) Vaccine-induced major histocompatibility complex class II expression in the Atlantic salmon eye. *Scand J Immunol* 58: 9-14.
26. Koppang, E.O., Bjerkås, E. (2006) The Eye. In: Ferguson H (Ed) Systemic pathology of fish. Scotian Press London, UK. pp 245-263.
27. Kunz, Y.W., Wildenburg, G., Goodrich, L., Callaghan, E. (1994) The fate of ultraviolet receptors in the retina of the Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Vis Res* 34: 1375-1383.
28. Lönnström, L., Wiklund, T., Bylund, G. (1994) *Pseudomonas anguilliseptica* isolated from Baltic herring *Clupea harengus* membras with eye lesions. *Dis Aquat Org* 18: 143-147.
29. Maren, T. H., Wistrand, P., Swenson, E. R. & Talalay, B. C. (1975) The rates of ion movement from plasma to aqueous humor in the dogfish, *Squalus acanthias*. *Invest Ophthalmol* 14: 662-673.
30. Ostland, V.E., McGrogan, D.G., Ferguson, H.W. (1997) Cephalic osteochondritis and necrotic scleritis in intensively reared salmonids associated with *Flexibacter psychrophilus*. *J Fish Dis* 20: 443-451.
31. Poliquen, Y. (1999). Corneal transparency in human beings and animals. The Magrane lecture. Proc. ECVO/ESVO/ISVO pp. 8-12.
32. Reddy, V.N., Giblin, F.J., Lin, L-R., Chakrapani, B. (1998) The effect of aqueous humor ascorbate on Ultraviolet-B-induced DNA damage in lens epithelium. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 39: 344-350.
33. Speare, D.J. (1990) Histopathology and ultrastructure of ocular lesions associated with gas bubble disease in salmonids. *J Comp Path* 103: 421-432.
34. Valheim, M. (2000) Varracalbmi: a new bacterial panophthalmitis in farmed Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J Fish Dis* 23: 61-70.
35. Waagbø, R., Bjerkås, E., Hamre, K., Berge, R., Wathne, E., Lie, Ø. Tørstensen, B. (2003) Cataract formation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. smolt relative to dietary pro- and antioxydants and lipid level. *J. Fish Dis* 26: 213-229.
36. Wegener, A., Laser, H., Ahrend, M.H.J., Breck, O., Bjerkås, E., Glöckner, C., Midtlyng, P.J., Breipohl, W. (2001) Light scattering in normal and cataractous lenses of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*): A slit lamp and scheimpflug photographic study. *Ophthalm Res* 33: 264-270.
37. Williams, D.L., Brancker, W.M. (2004) Intraocular oxygen tension in normal and diseased eyes of farmed halibut. *Vet J* 167: 81-86.
38. Williams, D.L., Brancker, W.M. (2005) Aggravating factors in the development of ocular abnormalities in farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) *Vet J* 172: 501-505.
39. Zadunaisky, J. A. (1973) The Hypotonic Aqueous Humor of Teleost Fishes. *Exp Eye Res* 16: 397-410.